

Aus der Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und
Kinderzahnmedizin
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Anwendbarkeit und Anpassung der Demirjian-Methode zur
Zahnalterbestimmung für norddeutsche Kinder**

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Nadiajda Khdairi
aus Amman, Jordanien

Datum der Promotion: 17.09.2021

Inhaltsverzeichnis

1. ZUSAMMENFASSUNGEN	3
1.1 <i>ZUSAMMENFASSUNG</i>	3
1.2 <i>ABSTRACT</i>	4
2. EINLEITUNG	5
3. MATERIALIEN UND METHODEN	7
3.1 <i>STUDIENSTICHPROBEN</i>	7
3.2 <i>EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN DER STUDIE</i>	8
3.3 <i>STUDIENDESIGN</i>	8
3.4 <i>METHODISCHE VORGEHENSWEISE</i>	8
3.5 <i>KALIBRIERUNG UND ZUVERLÄSSIGKEIT</i>	9
3.6 <i>STATISTISCHE ANALYSE</i>	9
3.6.1 <i>NEUE GEWICHTETE REIFEGRADE</i>	9
3.6.2 <i>TESTEN DER NEUEN METHODE</i>	10
3.6.3 <i>PERZENTILKURVEN</i>	10
4. ERGEBNISSE	10
5. DISKUSSION	12
6. SCHLUSSFOLGERUNGEN	15
7. TABELLEN	16
8. ABBILDUNGEN	24
9. LITERATURVERZEICHNIS	27
10. ANHANG	33

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	2
10.1 <i>EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG</i>	33
10.2 <i>AUSFÜHRLICHE ANTEILSERKLÄRUNG</i>	34
10.3 <i>JOURNAL SUMMARY LIST</i>	35
10.4 <i>AUSGEWÄHLTE PUBLIKATION</i>	36
11. LEBENS LAUF	45
12. PUBLIKATIONS LISTE	52
13. DANKSAGUNG	53

1. Zusammenfassungen

1.1 Zusammenfassung

Ziel: Das Ziel dieser Studie war, die Genauigkeit der Methode von Demirjian et al. zur Einschätzung des Zahnalters an norddeutschen Kindern zu testen, die angewandte Methode im Falle von Ungenauigkeit an diese Stichprobe anzupassen und Perzentilenkurven der Zahnreife für diese Bevölkerungsgruppe zu berechnen.

Material und Methoden: Panoramaschichtaufnahmen (PSA) von 1260 norddeutschen Kindern (566 männlich und 694 weiblich) im Alter von 5-17 Jahren aus Patientenakten der Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin wurden ausgewertet. Demirjians Zahnreifeskala für die sieben Zähne des linken Unterkiefers wurde für die erste Stichprobe verwendet (951 PSA), um das Zahnalter zu schätzen und es mit dem chronologischen Alter jedes Kindes zu vergleichen.

Für die Anpassung von Demirjians Methode an diese Stichprobe von Röntgenaufnahmen wurden mittels linearer Regression neue gewichtete Reifegrade errechnet und polynomiale Perzentilenkurven der gesamten Zahnreife im Vergleich zum chronologischen Alter bestimmt. Die zweite Stichprobe (309 PSA) wurde genutzt, um die neu angepasste Methode zu evaluieren und sie mit Demirjians Methode zu vergleichen.

Ergebnisse: Demirjians Methode überschätzte das mittlere chronologische Alter der Jungen um $0,46 \pm 0,86$ Jahre (durchschnittliche Differenz \pm Standardabweichung) und der Mädchen um $0,55 \pm 0,95$ Jahre. Die Formel auf Basis der neu gewichteten Reifegrade schätzte das chronologische Alter der Jungen ($0,07 \pm 0,82$ Jahre) und der Mädchen ($-0,04 \pm 0,82$ Jahre) genauer. Die neu angepasste Methode zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen Zahnalter und chronologischem Alter. Die Methode von Demirjian et al., angewandt bei norddeutschen Kindern, überschätzte die meisten Alterskohorten für beide Geschlechter signifikant.

Schlussfolgerung: Die für norddeutsche Kinder neu gewichteten Reifegrade und Perzentilenkurven zeigten eine deutliche Verbesserung der Altersschätzung und waren zuverlässiger im Vergleich zu der Originalen Demirjians Methode.

1.2 Abstract

Aim: The aim of this study was to test the accuracy of Demirjian's method for dental age estimation on north German children, to adapt the method used in case of inaccuracy in this sample and to construct dental maturity percentile curves for this population.

Materials and Method: Panoramic radiographs of 1260 north German children (566 males and 694 females) aged 5-17 years were collected from patients' records of the Department of Orthodontics, Dentofacial Orthopedics and Pedodontics, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany. Demirjian's dental maturity scale for the seven left mandibular teeth was applied to the first sample (951 panoramic radiographs) to estimate the dental age and compare it to the chronological age of each child. For the adaptation of Demirjian's method on this sample of radiographs, new weighted maturity scores were created by the use of linear regression. Polynomial percentile curves of the total dental maturity in comparison to the chronological age are presented. The second sample (309 panoramic radiographs) was used to evaluate the adapted method and compare it to Demirjian's method.

Results: Demirjian's method overestimated the mean chronological age of boys by 0.46 ± 0.86 years (mean difference \pm standard deviation) and of girls by 0.55 ± 0.95 years. The new adapted weighted scores estimated the chronological age of boys (0.07 ± 0.82 years) and girls (-0.04 ± 0.82 years) more accurately. The adapted method showed no significant difference between dental age and chronological age.

Conclusion: The method by Demirjian et al., when applied to north German children, significantly overestimated most age cohorts for both sexes. The north German weighted scores and percentile curves showed a notable improvement in age estimation and were more reliable for chronological age estimation and dental age assessment.

2. Einleitung

Terminierung und Verlauf somatischen Wachstums und der Zahnentwicklung werden im Vergleich zu Altersstandards bewertet. Altersstandards sind leistungsstarke Screening-Instrumente, die helfen, im Falle einer Fehlentwicklung eine medizinische Intervention zu planen, den Entwicklungsstatus einer Bevölkerungsgruppe und den Reifegrad eines Individuums zu bewerten (1).

Die Migration nach Europa sowie zwischen europäischen Ländern infolge von Bürgerkrieg, ökonomischen Bedingungen oder Katastrophen hat zu einer gestiegenen Zahl von Menschen geführt, die keinen urkundlichen Beleg für ihr Geburtsdatum vorlegen können (2). Dieses Fehlen von Urkunden, oder in manchen Fällen Falschinformation, hat die Forderung nach einer zuverlässigen Altersschätzmethode erzeugt, die bis zu einem gewissen Grade die Notwendigkeit des Altersnachweises durch Dokumentierung umgehen würde.

Laut der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin sind in der Forensik für jede untersuchte Person Panorama-Aufnahmen des Kiefers zur Bewertung der Zahnentwicklung erforderlich, um größtmögliche Genauigkeit bei der Altersschätzung zu erreichen (3). Um die Zahnentwicklung bei Kindern zu prognostizieren, ist es notwendig, die Zahnreife quantitativ zu bestimmen und die Faktoren abzuschätzen, die die Entwicklung der Zähne und das Wachstum des Kiefers beeinflussen (4).

Das Zahnalter (ZA) eines Individuums ist von besonderem Interesse für den Kieferorthopäden zur Planung einer Behandlung im Verhältnis zum maxillofazialen Wachstum. Die Zahnentwicklung kann beschleunigt sein bei Patienten mit beschleunigter Skellettwachstumsrate und sie kann in Verbindung stehen mit dem Skelettwachstumsmuster des Kindes (5).

Mehrere Faktoren können bei der Schätzung des Zahnalters eine Rolle spielen, so zum Beispiel die statistischen Verzerrungen (Bias) der angewandten Methode (6), die Rolle der ethnischen Zugehörigkeit, ökologische und genetische Faktoren beim Schätzen des Zahnalters wird in der wissenschaftlichen Literatur kontrovers diskutiert (7). Die statistischen Verzerrungen (Bias) jeglicher repräsentativer Stichproben können die Effizienz der Methode zur Altersschätzung verringern (6). Die Verzerrung kann gemessen werden anhand der Differenz zwischen Zahnalter und chronologischem Alter. Die Zuverlässigkeit des

geschätzten Alters kann gemessen werden mittels der Standardabweichung (SD) der mittleren Differenz zwischen Zahnalter und chronologischem Alter (6). Die statistischen Verzerrungen sind unvermeidlich bei Nutzung relativen Standards und Normen zur Altersschätzung (8) wie zum Beispiel Verwendung von linearen Regressionsmodells zur Zahnaltersschätzung (9). Darüber hinaus können auch Voreingenommenheit des Betrachters und Altersmimikry die Schätzung des Zahnalters beeinflussen. Altersmimikry und die Tendenz zur Überschätzung können erheblich reduziert werden durch Zurückstellen der biologischen Merkmale gegenüber dem Alter und durch gleiche Verteilung der Stichprobengröße für eine ausreichende Anzahl von Altersgruppen (8). Das Vorhandensein von statistischen Verzerrungen kann es erschweren, die Zahnreife verschiedener Bevölkerungsgruppen zu vergleichen (6).

Die Rolle der ethnischen Zugehörigkeit beim Schätzen des Zahnalters wird in der wissenschaftlichen Literatur kontrovers diskutiert; einige Autoren haben Auswirkungen der ethnischen Zugehörigkeit auf die Zahnreife nachgewiesen (10-12), andere haben keinen signifikanten Einfluss gefunden (7,13). Einige Schätzmethoden des Zahnalters sind genauer, wenn die ethnische Zugehörigkeit bekannt ist (14), während andere ermöglichen das Zahnaltersschätzung auch wenn die ethnische Zugehörigkeit nicht bekannt ist (15). Im Gegensatz dazu glaubt Baghdadi, dass solche Aspekte wie ethnische Zugehörigkeit und Umfeld allein die Unterschiede bei der Zahnreife, gesehen in verschiedenen Bevölkerungsgruppen, nicht eindeutig aufzeigen, was zu widersprüchlichen Resultaten führen kann (7). Zugegebenermaßen wird in der Literatur die Zahnreife als ein Instrument zur Altersschätzung weithin als verlässlicher Indikator dokumentiert. Sie wird weniger durch Umweltfaktoren beeinflusst und ist somit der geeignetste Indikator für das Lebensalter Jugendlicher (16). Es gibt zahlreiche Methoden zur Schätzung des Zahnalters, basierend auf der Entwicklung der Zähne, die verbreitet genutzt werden (17-23).

Eine der jüngsten benutzten Methoden ist die europäische Formel nach Cameriere et al., die auf der Befundung offener Apices beruht (23). Diese Methode wurde an unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen getestet und erwies sich als akkurat und zuverlässig (24-26).

Die am meisten genutzte Methode ist die von Demirjian et al. (17, 27). Sie basiert auf den Entwicklungsstadien der Kronen und Wurzeln der bleibenden Zähne einer französisch-kanadischen Stichprobe. Die Methode ist an verschiedenen Bevölkerungsgruppen getestet worden und ergab Unterschiede in Zahnreife Terminierung und Zahnalterstandards (28-30),

der eigentliche Grund für die Unterschiede zwischen diesen Gruppen oder Individuen wird nicht erklärt (10). Jayaraman et al. (31) ermittelten, dass der französisch-kanadische Datensatz das chronologische Alter der männlichen und weiblichen Probanden in anderen Bevölkerungsgruppen um durchschnittlich 6 Monate überschätzt. Um die Genauigkeit zu verbessern, schlugen viele Autoren eine Bearbeitung von Demirjians Methode durch Kalkulation der Zahnreife-Standards für spezielle Bevölkerungsgruppen vor (14, 32, 33). Einige der bearbeiteten Methoden, wie zum Beispiel die Modifikationen von Willems et al. sowie Chaillet et al. (14, 15, 32), sind von verschiedenen Autoren getestet worden (34-39). Zum Beispiel war die Methode von Willems et al. die geeignetste für Kinder aus Bangladesch und britische Weiße (37) sowie für eine brasilianische Bevölkerungsgruppe (38). Jedoch demonstrierten Chaillets Reifestandards eine höhere Genauigkeit an einer Stichprobe aus Bosnien-Herzegowina als Demirjians Methode (39). Aufgrund der großen Variabilität wird empfohlen, anstatt neuer Universalstandards mehr regionsspezifische Bewertungsziffern und Altersschätzmethoden zu entwickeln (34). Das Ziel dieser Studie war es, die Genauigkeit der Methode von Demirjian et al. zur Beurteilung des Zahnalters und Schätzung des chronologischen Alters an norddeutschen Kindern zu testen, zu optimieren und Perzentilenkurven der Zahnreife für diese Bevölkerungsgruppe zu konstruieren.

3. Materialien und Methoden

3.1 Studienstichproben

Für diese Studie wurden 1260 Panoramaschichtaufnahmen (PSA) norddeutscher Kinder (Altersspektrum von 5-17 Jahre) aus dem Archiv der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin, ausgewählt. Nach Maßgabe der deutschen Röntgenverordnung erfordert der Einsatz von Röntgenstrahlen an Menschen entweder eine medizinische Indikation oder eine Rechtsgrundlage für die Genehmigung (2). Die in dieser Studie verwendeten Panoramaschichtaufnahmen wurden auf der Basis medizinischer Indikationen in der Zeit zwischen 1990-2019 aufgenommen. Sie wurden meistens für die kieferorthopädische Behandlungsplanung angefertigt, zur Einschätzung von Weisheitszähnen und nach Verletzungen angefertigt. Die Auswertung erfolgte mit Genehmigung der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin (Aktenzeichen: EA2/049/16).

3.2 Ein- und Ausschlusskriterien der Studie

Probanden mit deutsch-kaukasischem Hintergrund wurden einbezogen. Ausschlusskriterien waren: angeborene oder genetische Anomalien, Allgemeinerkrankungen, beidseitig fehlende Zähne des Unterkiefers mit Ausnahme der Weisheitszähne oder minderwertige Panoramaschichtaufnahmen (PSA), wo die Wurzeln der linken unteren bleibenden Zähne undeutlich waren. Die PSA wurden dem chronologischen Alter entsprechend in 12 Altersgruppen eingeteilt (Tabelle 1, Seite 17).

3.3 Studiendesign

Die Panoramaschichtaufnahmen (PSA) wurden zufällig in zwei Stichproben aufgeteilt. Für die erste Stichprobe wurden 951 PSA (420 männliche und 531 weibliche) und für die zweite Stichprobe wurden 309 PSA (146 männliche und 163 weibliche) ausgewählt. Die erste Stichprobe wurde zur Einschätzung des Zahnalters genutzt, wobei Demirjians Methode angewandt wurde, um Zahnalter und chronologisches Alter zu vergleichen, um ihre Eignung zu analysieren und die Methode an diese deutsche Stichprobe anzupassen. Die zweite Stichprobe wurde verwendet, um die neue angepasste Methode zu überprüfen und sie mit Demirjians Methode zu vergleichen.

3.4 Methodische Vorgehensweise

Das chronologische Alter wurde durch Subtraktion der Altersdaten der PSA von den Geburtsdaten bestimmt und danach in Dezimaljahre konvertiert. Die Mineralisierungsstufen der sieben linken Unterkieferzähne wurden für jeden Probanden bewertet und eingestuft, wobei Demirjians Skala benutzt wurde A - H (27). Entsprechend wurde ein Gesamt maturitätsscore für jeden Probanden nach Demirjians Maturitätsscore-Tabellen errechnet (17). Das Zahnalter für die erste Stichprobe wurde bestimmt nach Demirjians Umrechnungstabellen und Perzentilenkurven. Die erste Stichprobe wurde verwendet, um Demirjians Methode an die norddeutsche Stichprobe anzupassen und neue reifegewichtete Werte für diese Bevölkerungsgruppe zu erstellen. Für die zweite Stichprobe wurde das Zahnalter errechnet, indem beide Methoden angewendet wurden – unsere neu angepasste Methode für die norddeutsche Bevölkerungsgruppe und Demirjians Maturitätsscore-Tabellen.

Die Gesamtprobe (1260 PSA) wurde verwendet, um Perzentilkurven der Zahnreife im Vergleich zum chronologischen Alter zu erstellen, die für die norddeutsche Bevölkerung spezifisch ist. Diese können zur Beurteilung der Zahnreife eines Kindes, zur Bestimmung seiner Perzentilposition und zum Vergleich verschiedener Populationen verwendet werden.

3.5 Kalibrierung und Zuverlässigkeit

Alle Panoramaschichtaufnahmen (PSA) wurden durch die Autorin (NK) bewertet und eingestuft. Zuvor erfolgten Schulung und Kalibrierung auf der Basis von 50 Röntgenbildern. Nach 4 Wochen wurden 110 PSA neu bewertet um Intra- und Interrater-Übereinstimmung des geschätzten Zahnalters zu beurteilen.

3.6 Statistische Analyse

Die statistische Analyse wurde mit der Software Stata/SE™ (Version 11.1) durchgeführt. Für die Datenverwaltung wurde Microsoft Excel® 2016 genutzt. Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test wurde angewendet, um statistische Differenzen zu analysieren, weil manche Altersgruppen einen geringen Stichprobenumfang hatten und der Annahme der Normalverteilung nicht hinreichend entsprachen. P-Werte unter 0,05 wurden als statistisch signifikant angesehen. Alle Analysen wurden für jede Alterskohorte und jedes Geschlecht separat ausgeführt. Der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) wurde verwendet, um die Intra- und Interrater-Übereinstimmung zu überprüfen.

3.6.1 Neue gewichtete Reifegrade

Die Zahnreifegrade wurden nach Demirjians Methode bestimmt. Dementsprechend wurde eine multiple Regressionsanalyse ausgeführt, um die Zusammenhänge zwischen chronologischen Alter und den Reifegraden der verschiedenen Zähne zu bestimmen. Um mathematische Modelle zu konstruieren, wurde Demirjians 8-Stufen-Skala A–H in eine numerische Skala 1–8 umgewandelt. Für jede Phase der 7 linken bleibenden Unterkieferzähne wurde speziell für deutsche Mädchen und Jungen ein biologisch gewichteter Wert kalkuliert. Diese Werte wurden so konstruiert, dass die Summe der gewichteten Werte direkt das Zahnalter in Jahren ergibt. So werden keine Tabellen benötigt, um die Zahnreifepunktzahlen in das Zahnalter zu überführen.

3.6.2 Testen der neuen Methode

Das Zahnalter der Probanden aus der zweiten Stichprobe wurde zuerst mittels Demirjians Maturitätsscores bestimmt und zum Zweiten unter Verwendung unserer neu entwickelten gewichteten Werte der deutschen Bevölkerungsgruppe. Das erlangte Zahnalter wurde mit dem chronologischen Alter verglichen und unter Verwendung des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests auf statistische Differenzen untersucht.

3.6.3 Perzentilkurven

Das 10., 50. und 90. Perzentil der Gesamtreife, die unter Verwendung der Demirjian-Score-Tabellen (17) erhalten wurden, wurde gegen das chronologische Alter aufgetragen, um die Reifekurven zu erhalten (Abbildungen 1 und 2, Seiten 24 und 25). Eine Polynominterpolation vierten Grades, die für die Gesamtstichprobe (694 Frauen, 566 Männer) bestimmt wurde, wurde implementiert, um die Reifestandards zu konstruieren. Diese Kurven wurden für jedes Geschlecht separat berechnet.

3. Ergebnisse

Das Testen der Intra- und Interrater-Übereinstimmung beim Zahnalter zeigte keine statistisch signifikanten Differenzen zwischen den beiden Auswertungen mit einem Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) von 0,997 (untere Grenze des 95% Konfidenzintervales 0,996, obere Grenze 0,998) für Intrarater-Übereinstimmung und 0,996 (untere Grenze des 95% Konfidenzintervales 0,994, obere Grenze 0,997) für Interrater-Übereinstimmung.

Die Tabellen 2 und 3, Seiten 18 und 19, zeigen für Demirjians Methode bei der ersten Stichprobe, dass das Zahnalter erheblich überschätzt wurde, im Vergleich zum chronologischen Alter. Die Gesamt-Mittelwertdifferenz Zahnalter - chronologisches Alter (ZACA) (\pm SD) der männlichen Probanden betrug $0,46 \pm 0,86$ Jahre und die der weiblichen Probanden $0,55 \pm 0,95$ Jahre.

Demirjians Methode überschätzte das Zahnalter im Vergleich zum chronologischen Alter auch in beinahe allen separaten Altersgruppen für beide Geschlechter, die Differenzen waren höchst signifikant. Die größte Überschätzung gab es in den Altersgruppen 14 Jahre bei

Jungen und 12 Jahre bei Mädchen. Die Altersgruppe 16 Jahre bei Jungen war der einzige Datenpunkt, der eine Unterschätzung des mittleren Zahnalters im Vergleich zum chronologischen Alter zeigte. Die Altersgruppen 15 und 16 Jahre zeigten beide eine Unterschätzung des Alters der Mädchen.

Basierend auf den von Demirjians Reifestadien abgeleiteten mathematischen Modellen, wurden neue Werte für jedes Stadium der sieben linken mandibulären Zähne berechnet. Diese Werte sind spezifisch für die norddeutsche Bevölkerungsgruppe (Tabelle 4, Seite 20) und sie wurden separat für Jungen und Mädchen ermittelt. Um das Zahnalter direkt in Jahren vorherzusagen, werden alle Werte entsprechend ihrem Entwicklungsstadium für die sieben linken unteren Zähne addiert. Diese neu bestimmten Werte demonstrieren, dass männliche Probanden ihre komplette Zahnreife im Alter von etwa 14,6 Jahren erreichen und weibliche mit etwa 14,5 Jahren.

Die angepasste Methode wurde getestet und mit Demirjians Methode verglichen; dazu wurde die zweite Stichprobe genutzt. Die Altersgruppen 15 und 16 Jahre wurden ausgenommen, weil die Wurzelentwicklung durchschnittlich im Alter von 14,5 bei weiblichen und 14,6 bei männlichen Probanden abgeschlossen ist. Das mittlere Zahnalter der zweiten Stichprobe zeigte beinahe keinen Unterschied zum mittleren chronologischen Alter ($0,07 \pm 0,82$ Jahre), ($-0,04 \pm 0,82$ Jahre) bei männlichen bzw. weiblichen Probanden (Tabellen 5 und 6, Seiten 21 und 22). Dagegen zeigten Demirjians Reifegrade eine statistisch signifikante Überschätzung des mittleren Zahnalters, verglichen mit dem chronologischen Alter bei männlichen ($0,27 \pm 0,87$ Jahre) und bei weiblichen Probanden ($0,41 \pm 0,84$ Jahre) (Tabellen 7 und 8, Seiten 22 und 23). Beim Testen der Anwendbarkeit auf jede Alterskohorte separat zeigte die neue angepasste Methode keine signifikanten Differenzen zwischen Zahnalter und chronologischem Alter in allen Altersgruppen - außer bei der weiblichen Altersgruppe 14 Jahre. Wohingegen Demirjians Methode statistisch deutliche Differenzen in den Altersgruppen 5, 6 und 7 Jahre der männlichen und in den Altersgruppen 6, 11, 12 und 13 Jahre der weiblichen Probanden zeigte.

Perzentilenkurven speziell für die norddeutsche Bevölkerungsgruppe (im Alter 6-15 Jahre) sind in den Abbildungen 1 und 2, Seiten 24 und 25 dargestellt und zeigen Demirjians Gesamtreife-Score als eine Funktion des chronologischen Alters. Mädchen hatten einen geringfügig höheren Reifescore als Jungen bei fast jeder Altersgruppe, aber beide erreichten

die komplette Zahnreihe mit etwa 14,5 Jahren. Der Unterschied der Zahnreihe zwischen Jungen und Mädchen war ausgeprägter in jüngerem Alter zwischen 5 und 9 Jahren und weniger offensichtlich in höherem Alter zwischen 14 und 16 Jahren (Abbildung 3, Seite 24).

4. Diskussion

Demirjian et al. entwickelten ihre Methode als universelles Instrument, um die Zahnreihe zu beurteilen und das Zahnalter bei Kindern zu prognostizieren (17, 27). Es wird empfohlen, dass die Reifescor-Tabellen von Demirjian et al. ausnahmslos in allen ethnischen Gruppen benutzt werden (27), allerdings hängen die Zahnalter-Umrechnungstabellen und Perzentilen stark von der betrachteten Bevölkerungsgruppe ab (40). Die Resultate unserer Studie haben offenbart, dass Demirjians Umrechnungstabellen und Perzentilen kein präziser Prädiktor des Zahnalters bei norddeutschen Kindern sind. Wie auf Basis der vorhandenen Literatur (6, 41-42) erwartet, überschätzte Demirjians Methode das Zahnalter im Vergleich zum chronologischen Alter in den meisten Gruppen. Die Unterschätzungen können darauf hindeuten, dass in dieser Kindergruppe die Vollendung der Wurzeln bei Mädchen vor dem Alter von 15 Jahren und bei Jungen vor dem Alter von 16 Jahren erfolgte.

Altersprognose auf Basis der Zahnreihe wird in den forensischen Wissenschaften bei der Identifizierung von sterblichen Überresten, Schutzalter oder Schuldfähigkeit vielfach verwendet. Für die Alterseinschätzung an lebenden Personen ist Demirjians Stadienbestimmung die geeignetste Methode zur Bewertung der Zahnmineralisierung, da es auf die Ausprägung des Zahns ankommt und nicht auf die Länge (3, 27, 43). Allerdings gibt Demirjians Methode einen Reifescor als eine Funktion des Alters an; also ist sie für Zahnärzte geeignet, die bereits das biologische Alter kennen und die Abweichung von der Norm bewerten wollen (40). Für forensische Wissenschaften ist diese Methode jedoch statistisch unzweckmäßig, weil das reale Alter bestimmt werden muss (40). Verschiedene Autoren haben versucht, dieses Problem zu bewältigen, indem sie entweder Formeln erstellten, die das Alter als eine Funktion des Reifescors für spezielle Bevölkerungsgruppen angeben (40, 44-49) oder durch genaue Reifescor-Tabellen, die das Alter direkt in Jahren angeben, wie bei Willems Methode (14). Frucht et al. (46) wandten Demirjians Methode auf eine südwestdeutsche Bevölkerungsgruppe an, indem sie logistische Kurvenfunktionen nutzten, um geschlechtsspezifische Gleichungen des Zahnalters als Funktion des

Reifescorcs aufzustellen. Jedoch war die Adaptation von Frucht et al. für unsere norddeutsche Stichproben ungenau. Aus diesen Gründen wurde Demirjians Methode in dieser Studie wieder aufgegriffen, indem neue gewichtete Scores, basierend auf Demirjians Stadien A-H für eine norddeutsche Bevölkerungsgruppe festgelegt wurden. Wenn die Scores entsprechend jedem Entwicklungsstadium für die sieben linken Unterkieferzähne summiert werden, ergeben sie das Zahnalter direkt in Jahren, analog zu den Tabellen von Willems et al. (14).

Die Daten, die durch die vorliegende Studie erlangt wurden, offenbarten, dass die norddeutschen männlichen Probanden die komplette Zahnreife (außer bei Weisheitszähnen) im Durchschnitt im Alter von 14,6 Jahren erreichen und die weiblichen mit etwa 14,5 Jahren. Das lässt erkennen, dass die angepasste Methode Demirjians in Norddeutschland nur auf Kinder unter 15 Jahren anwendbar ist. Aufgrund dieser Tatsache wurden die Altersgruppen 15 und 16 Jahre von der zweiten Stichprobe ausgeschlossen. Weitere Forschung mit einer größeren Stichprobe im Alter von 14, 15 und 16 Jahren könnte hilfreich sein, um diese Resultate zu bestätigen. Wie durch das Testen der angepassten Methode demonstriert, war die Differenz mittlere Zahnalter - chronologisches Alter bei männlichen ($0,07 \pm 0,82$ Jahre) bzw. ($-0,04 \pm 0,82$ Jahre) bei weiblichen Probanden nahezu null und statistisch nicht relevant. Andererseits zeigten Demirjians Reifescorcs, wie erwartet, deutliche Überschätzungen. Die hier präsentierten Tabellen für norddeutsche Kinder schätzen das Alter zuverlässig ein und können potenziell auf forensischem und juristischem Fachgebiet angewendet werden.

Die ungleichmäßige Verteilung neben dem Kalibrierungsproblem und Alter-mimikry-Bias sind Phänomene, die die Altersschätzung beeinflussen können (50). Nicht zufällige Selektion und Stichprobengröße sind weitere Aspekte, die die Interpretation von Befunden und Vergleiche der Zahnbildung und -reife erschweren könnten (51-54). Jedoch war unsere Stichprobe zufällig ausgewählt mit fast gleicher Geschlechterverteilung, aber ungleichmäßiger Altersverteilung. Wenn das Durchschnittsalter einer Stichprobe mit geringer Anzahl berechnet wird, kann es verzerrt werden (6). Um den Effekt der Verzerrung aufgrund ungleicher Stichprobenverteilung herabzusetzen, wurde unsere Stichprobe in 12 separate Altersgruppen aufgeteilt. Das ermöglichte den statistischen Vergleich der Resultate jeder Altersgruppe separat, mit einer ausreichend großen Stichprobe in jeder Gruppe.

Nach deutschem Recht ist es nicht erlaubt, eine Panoramaschichtaufnahme bei Kindern mit

einem gesunden Gebiss aufzunehmen, es sei denn, es liegt eine medizinische oder gerichtliche Indikation vor. Diese Restriktion begrenzte unsere Stichprobengröße für jüngere Altersgruppen. Um der Überschätzung oder Unterschätzung der extremen Altersgruppen zu widerstehen, wird eine gleichmäßige Altersverteilung aller Altersgruppen der Stichprobe empfohlen (6, 51). Das maximale Alter der Stichprobe ist wichtig, da Kinder als zahreife betrachtet werden, wenn die distale Wurzel des zweiten Molaren geschlossen ist, vorausgesetzt, dass die dritten Molaren nicht in diesen Formeln bewertet werden. Das Alter von zahreife Kindern einzuschätzen, ist nicht möglich, weder durch eine Zahreifeskala noch dadurch, dass sich bleibende Zähne entwickeln, außer wenn die dritten Molaren eingeschätzt werden (6).

Die Zahnreife eines Kindes kann ein wichtiger Indikator für die Planung der Behandlung in verschiedenen medizinischen und zahnärztlichen Disziplinen sein, zum Beispiel spielt in der Kieferorthopädie die Zahnreife eine Rolle bei der zeitlichen Planung der Behandlung unterschiedlicher Dysgnathien. Celikoglu et al. (55) und Lauc et al. (5) schlussfolgerten in ihren Studien, dass Patienten mit erhöhten sagittalen Deviationen des Kiefers ein fortgeschrittenes Zahnalter hatten im Vergleich zu Patienten ohne sagittale Skelettdiskrepanz. Durka-Zajac et al. (56) vermerkten, dass Patienten mit Angle-Klasse II ein retardiertes Zahnalter hatten, im Vergleich zu Patienten der Klassen I und III.

Perzentilenkurven der Zahnreife für norddeutsche Jungen und Mädchen, die in dieser Studie konstruiert wurden, können nützlich sein, um die Entwicklung eines Kindes im Verhältnis zu anderen Kindern desselben Geschlechts und ähnlichen Alters zu ermitteln und herauszufinden, ob die Zahnreife eines Probanden fortgeschritten oder verzögert ist (57). Die Reifekurven bestätigen das Ergebnis aus unseren angepassten Reifecores, dass sowohl Jungen als auch Mädchen ihre vollständige Zahnreife (außer bei Weisheitszähnen) im Alter zwischen 14 und 15 Jahren erreichen. Die Kurven bekräftigen den in der Literatur dokumentierten Geschlechtsdimorphismus (56-61). Der Unterschied zwischen männlicher und weiblicher Reife war deutlicher ausgeprägt in den jüngeren Altersstufen unserer Stichprobe (5 – 9 Jahre).

Dies ist die 2. Untersuchung, neben der Studie von Frucht et al.(46), die an einer deutschen Bevölkerung durchgeführt wurde, indem Demirjians Zahnalter-Schätzverfahren angepasst wurde. Frucht et al. fanden, dass südwestdeutsche Mädchen den Jungen bezüglich des

Zahnalters voraus sind, wohingegen die Studie von Wolf et al. (41), die eine Vergleichsstudie an 479 Röntgenbildern deutscher Kinder ohne Anpassung war, aussagte, dass keine signifikanten Geschlechtsunterschiede festgestellt werden konnten.

5. Schlussfolgerungen

Es kann gefolgert werden, dass Demirjians Umrechnungstabellen von Reifecores zu Zahnalter, basierend auf der französisch-kanadischen Stichprobe, nicht für die Zahnalter-Schätzung und die Vorhersage des chronologischen Alters von norddeutschen Kindern anwendbar sind. Die angepassten norddeutschen Tabellen erweisen sich als ein genaues und verlässliches Instrument für die Einschätzung des chronologischen Alters für diese Bevölkerung. Folglich kann es in Betracht gezogen werden für eine Anwendung auf dem Gebiet der Forensik. Die konstruierten norddeutschen Perzentilenkurven der Zahnreife für die Altersgruppen 6-15 Jahre können nützlich sein für die klinische Behandlungsplanung, die Beurteilung der Zahnreife eines Probanden und für den Vergleich unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen. Weitere Forschung mit einer größeren Stichprobe von Kindern, speziell unter 6 Jahren, ist an einer norddeutschen Stichprobe erforderlich für den Ausbau der Reifekurven und die zusätzliche Bewertung der Anwendbarkeit der angepassten Tabellen auf diverse Bevölkerungsgruppen.

6. Tabellen

Tabelle 1: Geschlecht und Altersverteilung der Stichprobe

Alter Gruppe	Alterskohorte (Jahre)	Mädchen n	Jungen n	Summe n
5	5-5,9	22	23	45
6	6-6,9	43	31	74
7	7-7,9	55	38	93
8	8-8,9	71	59	130
9	9-9,9	79	57	136
10	10-10,9	84	70	154
11	11-11,9	82	67	149
12	12-12,9	87	74	161
13	13-13,9	71	54	125
14	14-14,9	51	61	112
15	15-15,9	31	26	57
16	16-16,9	18	6	24
Summe		694	566	1260

n: Anzahl der ausgewerteten Röntgenbilder

Tabelle 2: Durchschnittliches chronologisches Alter (CA) und Zahnalter (ZA) der ersten Stichprobe berechnet mit Demirjians Methode sowie der Unterschied zwischen chronologischem Alter und Zahnalter für alle Alterskohorten bei Jungen

Alterskohorte	n	CA (SD)	ZA (SD)	ZA-CA (SD)	MOE	95 % CI	P-Wert
5-5,99	11	5,38 (0,27)	5,88 (0,54)	0,50 (0,44)	0,30	0,20 – 0,80	0,00 ^a
6-6,99	16	6,50 (0,31)	6,91 (0,34)	0,41 (0,41)	0,22	0,19 – 0,62	0,00 ^a
7-7,99	23	7,58 (0,29)	8,04 (0,56)	0,47 (0,46)	0,20	0,26 – 0,67	0,00 ^a
8-8,99	45	8,45 (0,28)	8,81 (0,94)	0,36 (0,88)	0,26	0,10 – 0,63	0,04 ^a
9-9,99	43	9,45 (0,25)	10,20 (0,92)	0,75 (0,87)	0,27	0,48 – 1,02	0,00 ^a
10-10,99	55	10,49 (0,29)	11,25 (0,91)	0,75 (0,86)	0,23	0,52 – 0,99	0,00 ^a
11-11,99	52	11,45 (0,26)	11,92 (0,70)	0,47 (0,66)	0,18	0,28 – 0,65	0,00 ^a
12-12,99	59	12,46 (0,28)	12,66 (0,89)	0,20 (0,88)	0,23	-0,03 – 0,43	0,13
13-13,99	39	13,47 (0,25)	13,68 (1,18)	0,21 (1,17)	0,38	-0,17 – 0,59	0,77
14-14,99	46	14,48 (0,25)	15,28 (0,74)	0,80 (0,73)	0,22	0,59 – 1,02	0,00 ^a
15-15,99	25	15,33 (0,27)	15,41 (0,74)	0,08 (0,77)	0,32	-0,24 – 0,40	0,27
16-16,99	6	16,20 (0,19)	15,43 (0,57)	-0,77 (0,48)	0,50	-1,27 – -0,27	0,03 ^a
Summe	420	11,20 (2,64)	11,67 (2,70)	0,46 (0,86)	0,08	0,37 – 0,54	0,00 ^a

n: Anzahl der ausgewerteten Röntgenbilder

CA: chronologisches Alter

ZA: Zahnalter

SD: Standardabweichung

MOE: Margin of error (Fehlerquote)

CI: Konfidenzintervall

P-Wert: kalkuliert mit Wilcoxon-Vorzeichen-Test

^a: signifikanter Unterschied (P-Werte unter 0,05)

Tabelle 3: Durchschnittliches chronologisches Alter (CA) und Zahnalter (ZA) der ersten Stichprobe berechnet mit Demirjian's methode sowie der Unterschied zwischen chronologischem Alter und Zahnalter für alle Alterskohorten bei Mädchen

Alterskohorte	n	CA (SD)	ZA (SD)	ZA-CA (SD)	MOE	95 % CI	P-Wert
5-5,99	11	5,45 (0,21)	6,06 (0,32)	0,62 (0,21)	0,14	0,47– 0,76	0,01 ^a
6-6,99	26	6,59 (0,26)	7,09 (0,47)	0,50 (0,39)	0,16	0,34 – 0,65	0,00 ^a
7-7,99	38	7,54 (0,31)	7,94 (0,58)	0,41 (0,56)	0,19	0,22 – 0,59	0,00 ^a
8-8,99	55	8,40 (0,26)	8,79 (0,87)	0,39 (0,79)	0,21	0,18 – 0,61	0,00 ^a
9-9,99	62	9,47 (0,31)	10,21 (1,11)	0,74 (1,10)	0,28	0,46 – 1,02	0,00 ^a
10-10,99	67	10,39 (0,26)	11,08 (0,84)	0,68 (0,84)	0,21	0,48 – 0,89	0,00 ^a
11-11,99	65	11,45 (0,27)	12,13 (1,01)	0,68 (1,02)	0,25	0,43 – 0,94	0,00 ^a
12-12,99	70	12,47 (0,30)	13,33 (1,01)	0,87 (0,95)	0,23	0,64 – 1,09	0,00 ^a
13-13,99	54	13,39 (0,29)	14,08 (1,31)	0,69 (1,26)	0,35	0,34 – 1,03	0,00 ^a
14-14,99	36	14,48 (0,28)	15,03 (0,68)	0,55 (0,69)	0,23	0,32 – 0,78	0,00 ^a
15-15,99	30	15,45 (0,30)	15,45 (0,20)	-0,01 (0,35)	0,13	-0,14 – 0,13	0,85
16-16,99	17	16,51 (0,36)	15,41 (0,27)	-1,11 (0,49)	0,25	-1,36 – -0,86	0,00 ^a
Summe	531	11,05 (2,71)	11,60 (2,76)	0,55 (0,95)	0,08	0,47 – 0,63	0,00 ^a

n: Anzahl der ausgewerteten Röntgenbilder

CA: chronologisches Alter

ZA: Zahnalter

SD: Standardabweichung

MOE: Margin of error (Fehlerquote)

CI: Konfidenzintervall

P-Wert: kalkuliert mit Wilcoxon-Vorzeichen-Test

^a: signifikanter Unterschied (P-Werte unter 0,05)

Tabelle 4: Spezifisch gewichtete Reifegrade für die sieben linken Unterkiefer-Zähne norddeutscher Jungen und Mädchen zur Berechnung des Zahnalters (Jahre)

Jungen								
Zahn	Reifegrad							
	A	B	C	D	E	F	G	H
mittlerer Schneidezahn	-0,43	-0,87	-1,30	-1,74	-2,17	-2,61	-3,04	-3,47
seitlicher Schneidezahn	0,08	0,17	0,25	0,33	0,41	0,50	0,58	0,66
Eckzahn	0,59	1,18	1,77	2,36	2,95	3,55	4,14	4,73
erster Prämolare	0,42	0,84	1,27	1,69	2,11	2,53	2,96	3,38
zweiter Prämolare	0,31	0,63	0,94	1,26	1,57	1,88	2,2	2,51
erster Molar	0,31	0,62	0,92	1,23	1,54	1,85	2,15	2,46
zweiter Molar	0,54	1,09	1,63	2,17	2,72	3,26	3,8	4,35
Mädchen								
mittlerer Schneidezahn	-0,14	-0,29	-0,43	-0,57	-0,72	-0,86	-1,01	-1,15
seitlicher Schneidezahn	0,17	0,33	0,50	0,66	0,83	0,99	1,16	1,32
Eckzahn	0,42	0,85	1,27	1,70	2,12	2,55	2,97	3,40
erster Prämolare	0,31	0,61	0,92	1,23	1,53	1,84	2,15	2,45
zweiter Prämolare	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45	2,94	3,43	3,92
erster Molar	-0,20	-0,40	-0,60	-0,80	-1,00	-1,20	-1,40	-1,59
zweiter Molar	0,77	1,53	2,30	3,06	3,83	4,59	5,36	6,12

A-H: Demirjians Reifegrad-Skala [27].

Tabelle 5: Durchschnittliches chronologisches Alter (CA) und Zahnalter (ZA) der zweiten Stichprobe berechnet mit den neu gewichteten Reifegraden sowie der Unterschied zwischen chronologischem Alter und Zahnalter für alle Alterskohorten bei Jungen

Alterskohorte	n	CA (SD)	ZA (SD)	ZA-CA (SD)	MOE	95 % CI	P-Wert
5-5,99	12	5,41 (0,32)	5,74(0,81)	0,33 (0,61)	0,39	-0,05 – 0,72	0,07
6-6,99	15	6,47 (0,32)	6,69 (0,58)	0,22 (0,49)	0,27	-0,05 – 0,50	0,11
7-7,99	15	7,32 (0,23)	7,34 (0,67)	0,02 (0,75)	0,41	-0,40 – 0,43	0,43
8-8,99	14	8,51 (0,29)	8,66 (0,77)	0,15 (0,77)	0,44	-0,30 – 0,59	0,55
9-9,99	14	9,40 (1,12)	9,31 (1,12)	-0,09 (1,04)	0,60	-0,69 – 0,51	0,73
10-10,99	15	10,45 (0,26)	10,42 (1,05)	-0,04(1,12)	0,62	-0,66 – 0,58	0,99
11-11,99	15	11,43 (0,32)	11,08 (0,81)	-0,35 (0,83)	0,46	-0,81 – 0,12	0,08
12-12,99	15	12,37 (0,26)	11,98 (0,90)	-0,39 (0,86)	0,48	-0,87 – 0,09	0,13
13-13,99	15	13,51 (0,27)	13,38(0,84)	-0,12 (0,79)	0,44	-0,56 – 0,31	0,65
14-14,99	15	14,27 (0,24)	13,95 (0,54)	-0,32 (0,58)	0,32	-0,64- 0,00	0,06
Summe	145	10,02 (2,85)	9,95 (2,76)	0,07 (0,82)	0,13	-0,20 – 0,07	0,39

n: Anzahl der ausgewerteten Röntgenbilder

CA: chronologisches Alter

ZA: Zahnalter

SD: Standardabweichung

MOE: Margin of error (Fehlerquote)

CI: Konfidenzintervall

P-Wert: kalkuliert mit Wilcoxon-Vorzeichen-Test

^a: signifikanter Unterschied (*P*-Werte unter 0,05)

Tabelle 6: Durchschnittliches chronologisches Alter (CA) und Zahnalter (ZA) der zweiten Stichprobe berechnet mit den neu gewichteten Reifegraden sowie der Unterschied zwischen chronologischem Alter und Zahnalter für alle Alterskohorten bei Mädchen

Alterskohorte	n	CA (SD)	ZA (SD)	ZA-CA (SD)	MOE	95 % CI	P-Wert
5-5,99	11	5,47 (0,31)	5,24 (0,64)	-0,23 (0,51)	0,35	-0,58 – 0,11	0,25
6-6,99	17	6,46 (0,28)	6,65 (0,65)	0,19 (0,63)	0,32	-0,14 – 0,51	0,28
7-7,99	17	7,45 (0,32)	7,47 (0,64)	0,02 (0,44)	0,23	-0,21 – 0,25	0,72
8-8,99	16	8,53 (0,32)	8,55 (0,88)	0,01 (0,74)	0,39	-0,38 – 0,41	0,72
9-9,99	17	9,40(0,26)	9,61 (0,99)	0,21 (1,05)	0,54	-0,33 – 0,76	0,62
10-10,99	17	10,42 (0,31)	10,16 (0,90)	-0,27 (0,88)	0,45	-0,72 – 0,19	0,21
11-11,99	17	11,38 (0,23)	11,60 (1,09)	0,22 (0,98)	0,50	-0,28 – 0,72	0,31
12-12,99	17	12,41 (0,30)	12,79 (0,87)	0,38 (0,75)	0,39	-0,01 – 0,77	0,06
13-13,99	17	13,42 (0,26)	13,24 (0,90)	-0,18 (0,84)	0,43	-0,62 – 0,25	0,59
14-14,99	15	14,39 (0,27)	13,51 (0,45)	-0,88 (0,42)	0,23	-1,11 – -0,64	0,00 ^a
Summe	161	10,05 (2,76)	10,02 (2,77)	-0,04 (0,82)	0,13	-0,16 – 0,09	0,56

n: Anzahl der ausgewerteten Röntgenbilder

CA: chronologisches Alter

ZA: Zahnalter

SD: Standardabweichung

MOE: Margin of error (Fehlerquote)

CI: Konfidenzintervall

P-Wert: kalkuliert mit Wilcoxon-Vorzeichen-Test

^a: signifikanter Unterschied (P-Werte unter 0,05)

Tabelle 7: Durchschnittliches chronologisches Alter (CA) und Zahnalter (ZA) der zweiten Stichprobe berechnet für jede Altersgruppe der Jungen unter Verwendung die Demirjian Methode

Alterskohorte	n	CA (SD)	ZA (SD)	ZA-CA (SD)	MOE	95 % CI	P-Wert
5-5,99	12	5,41 (0,32)	5,94 (0,87)	0,53 (0,66)	0,42	0,12 – 0,95	0,03 ^a
6-6,99	15	6,47 (0,32)	6,99 (0,56)	0,51 (0,44)	0,24	0,27 – 0,76	0,00 ^a
7-7,99	15	7,32 (0,23)	7,69 (0,37)	0,37 (0,48)	0,27	0,10 – 0,63	0,02 ^a
8-8,99	14	8,51 (0,29)	8,73 (0,84)	0,11 (0,81)	0,47	-0,35 – 0,58	0,59
9-9,99	14	9,40 (1,12)	9,67 (1,38)	0,27 (1,30)	0,75	-0,48 – 1,02	0,53
10-10,99	15	10,45 (0,26)	10,75 (1,20)	0,30 (1,29)	0,71	-0,41 – 1,01	0,38
11-11,99	15	11,43 (0,32)	11,64 (0,60)	0,21 (0,68)	0,38	-0,17 – 0,59	0,33
12-12,99	15	12,37 (0,26)	12,35 (0,75)	-0,02 (0,73)	0,40	-0,42 – 0,38	0,89
13-13,99	15	13,51 (0,27)	13,78 (1,05)	0,27(1,02)	0,56	-0,29 – 0,84	0,26
14-14,99	15	14,27 (0,24)	14,49 (0,94)	0,22 (0,96)	0,53	-0,31 – 0,75	0,44
Summe	145	10,02 (2,85)	10,30 (2,87)	0,27 (0,87)	0,14	0,13 – 0,42	0,00 ^a

n: Anzahl der ausgewerteten Röntgenbilder

CA: chronologisches Alter

ZA: Zahnalter

SD: Standardabweichung

MOE: Margin of error (Fehlerquote)

CI: Konfidenzintervall

P-Wert: kalkuliert mit Wilcoxon-Vorzeichen-Test

^a: signifikanter Unterschied (P-Werte unter 0,05)

Tabelle 8: Durchschnittliches chronologisches Alter (CA) und Zahnalter (ZA) der zweiten Stichprobe berechnet für jede Altersgruppe der Mädchen unter Verwendung der Demirjan Methode

Alterskohorte	n	CA (SD)	ZA (SD)	ZA-CA (SD)	MOE	95 % CI	P-Wert
5-5,99	11	5,47 (0,31)	5,50 (0,70)	0,03 (0,66)	0,44	-0,42 – 0,47	0,89
6-6,99	17	6,46 (0,28)	6,88 (0,57)	0,41 (0,51)	0,26	0,15 – 0,67	0,01 ^a
7-7,99	17	7,45 (0,32)	7,61 (0,52)	0,16 (0,35)	0,18	-0,02 – 0,35	0,06
8-8,99	16	8,53 (0,32)	8,62(0,84)	0,09 (0,67)	0,36	-0,27 – 0,44	0,76
9-9,99	17	9,40(0,26)	9,94 (0,98)	0,54 (1,00)	0,51	0,03 – 1,05	0,06
10-10,99	17	10,42 (0,31)	10,71 (0,76)	0,29 (0,78)	0,40	-0,11 – 0,69	0,11
11-11,99	17	11,38 (0,23)	12,18 (1,09)	0,80 (0,99)	0,51	0,29 – 1,31	0,01 ^a
12-12,99	17	12,41 (0,30)	13,46 (1,09)	1,05 (0,96)	0,49	0,56 – 1,55	0,00 ^a
13-13,99	17	13,42 (0,26)	14,06 (1,05)	0,64 (0,99)	0,51	-0,13 – 1,14	0,03 ^a
14-14,99	15	14,39 (0,27)	14,30(0,69)	-0,09 (0,62)	0,34	-0,43 – 0,25	0,75
Summe	161	10,05 (2,76)	10,47 (3,00)	0,41 (0,84)	0,13	0,8 – 0,54	0,00 ^a

n: Anzahl der ausgewerteten Röntgenbilder

CA: chronologisches Alter

ZA: Zahnalter

SD: Standardabweichung

MOE: Margin of error (Fehlerquote)

CI: Konfidenzintervall

P-Wert: kalkuliert mit Wilcoxon-Vorzeichen-Test

^a: signifikanter Unterschied (P-Werte unter 0,05)

8. Abbildungen

Abbildung 1:

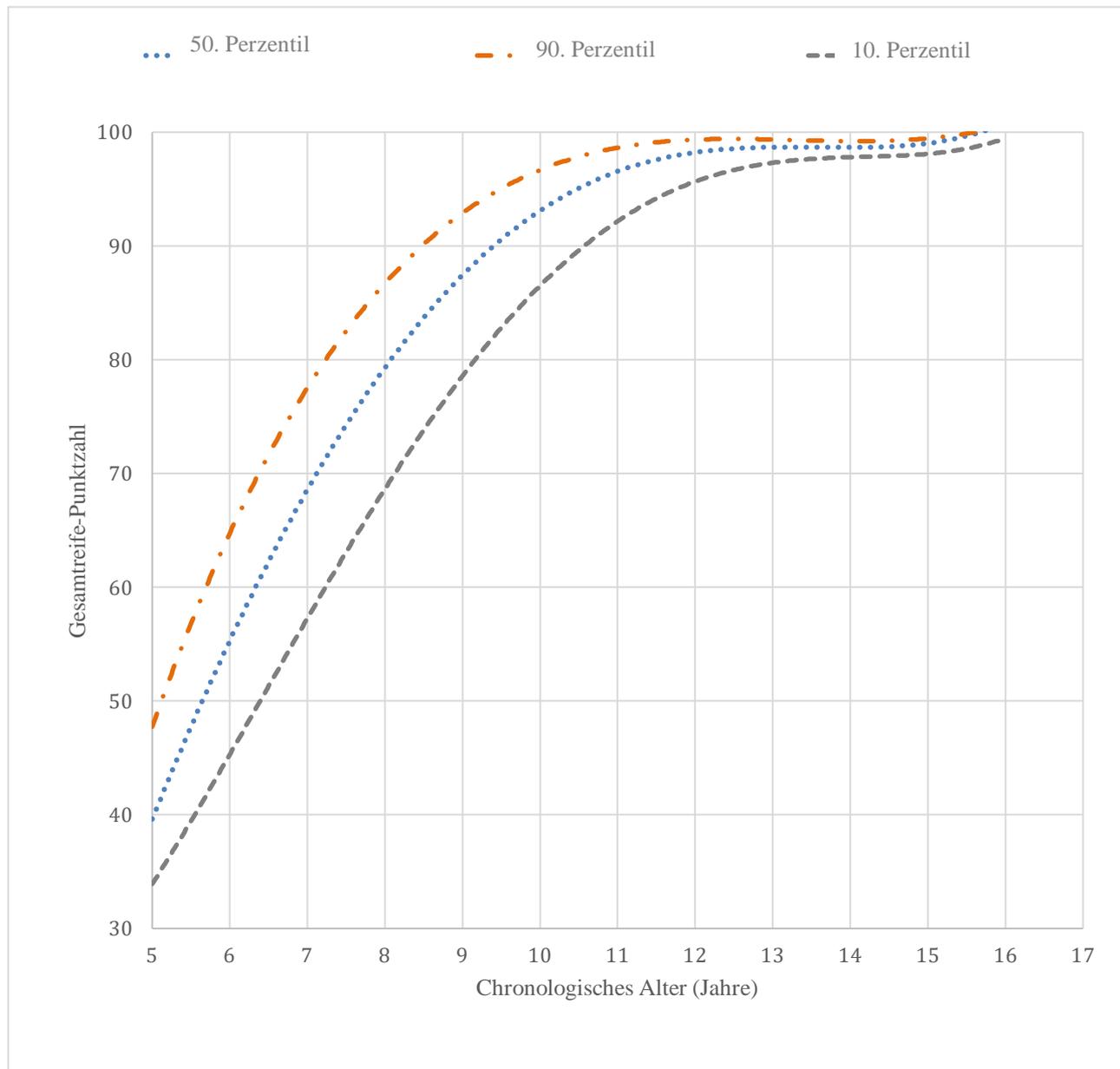


Abbildung 1: Perzentilkurven der Zahnreife norddeutscher Jungen

Abbildung 2:

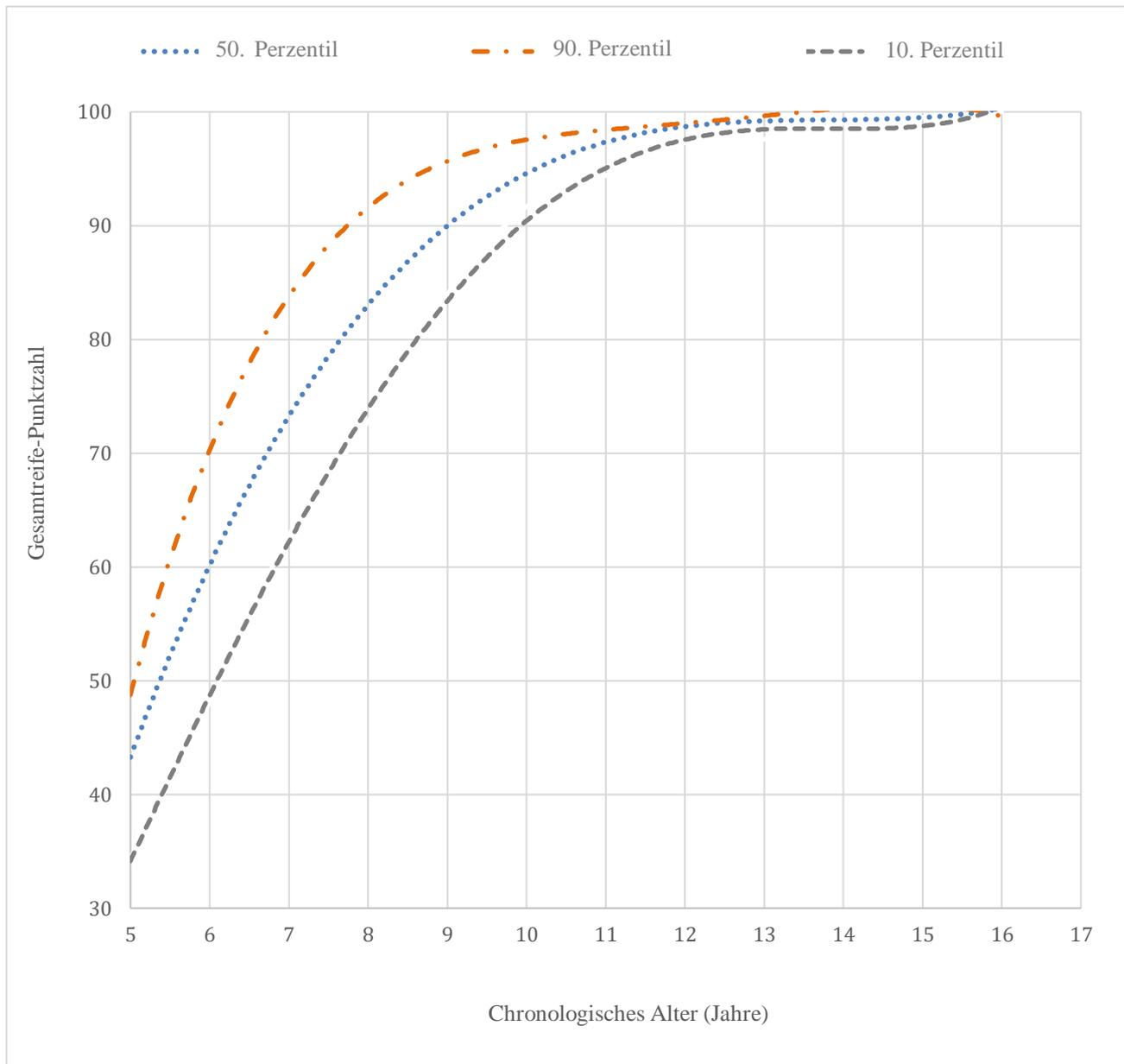


Abbildung 2: Perzentilkurven der Zahnreife norddeutscher Mädchen

Abbildung 3:

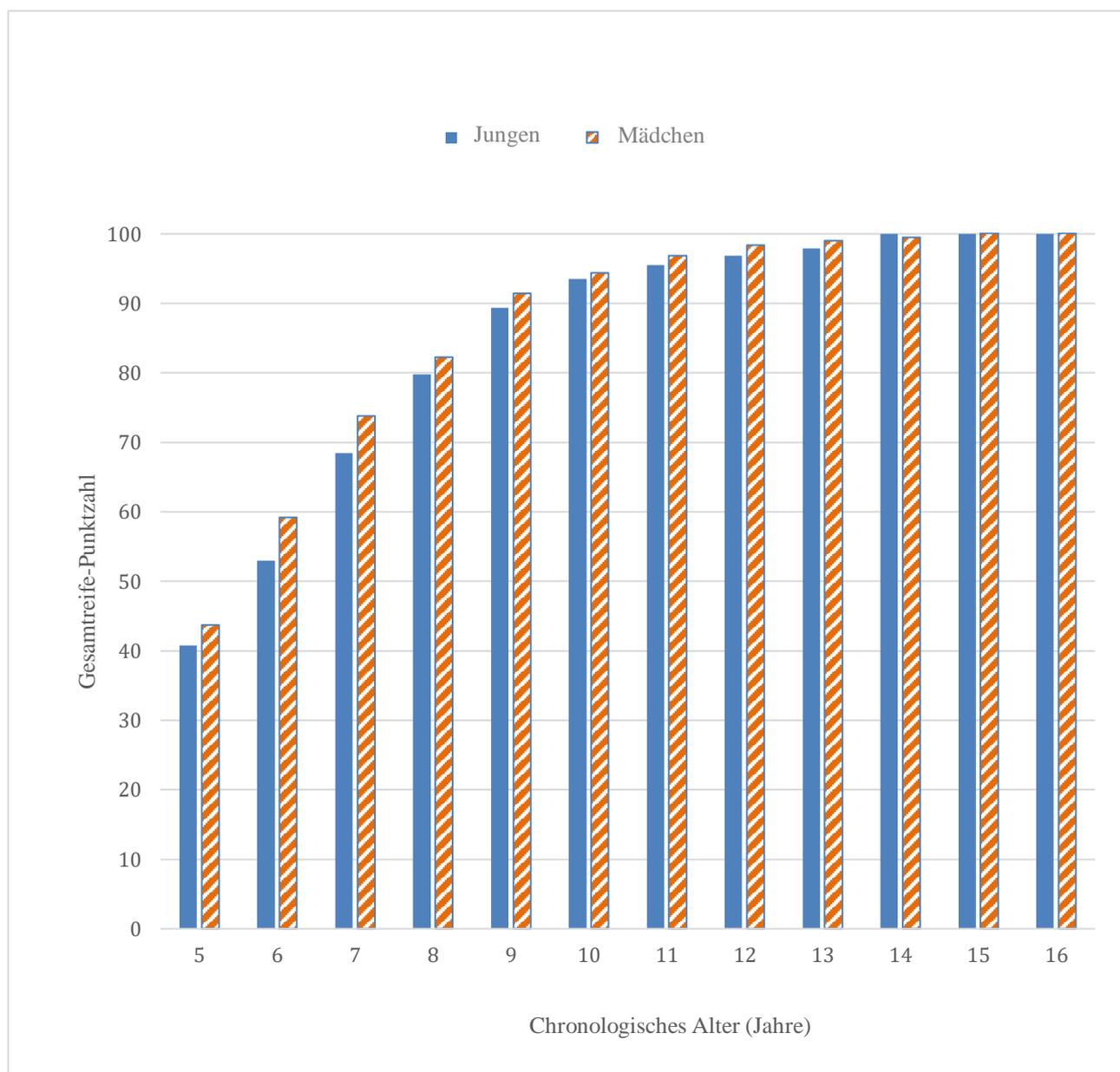


Abbildung 3: Mittlere Gesamtreife-Punktzahl für Jungen und Mädchen für jede Alterskohorte

9. Literaturverzeichnis

1. Liversidge HM, Herdeg B, Rösing FW. Dental age estimation of non-adults. A review of methods and principles. In: Alt KW, Rösing FW, Teschler-Nicola M, editors. Dental anthropology. Vienna: Springer; 1998. p. 419-42.
2. Schmeling A, Dettmeyer R, Rudolf E, Vieth V, Geserick G. Forensic age estimation: methods, certainty, and the law. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2016;113(4):44-50.
3. Schmeling A, Grundmann C, Fuhrmann A, Kaatsch HJ, Knell B, Ramsthaler F, Reisinger W, Riepert T, Ritz-Timme S, Rösing FW, Röttscher K, Geserick G. Criteria for age estimation in living individuals. *International journal of legal medicine*. 2008;122(6):457-60.
4. Liversidge HM. The assessment and interpretation of Demirjian, Goldstein and Tanner's dental maturity. *Annals of human biology*. 2012;39(5):412-31.
5. Lauc T, Nakaš E, Latić-Dautović M, Džemidžić V, Tiro A, Rupić I, Kostić M, Galić I. Dental Age in Orthodontic Patients with Different Skeletal Patterns. *Biomedical research international*. 2017;2017:e8976284.
6. Liversidge HM, Smith BH, Maber M. Bias and accuracy of age estimation using developing teeth in 946 children. *American journal of physical anthropology*. 2010;143(4):545-54.
7. Baghdadi ZD. Dental maturity of Saudi children: Role of ethnicity in age determination. *Imaging science in dentistry*. 2013;43(4):267-72.
8. Aykroyd RG, Lucy D, Pollard AM, Solheim T. Regression analysis in adult age estimation. *American journal of physical anthropology*. 1997;104(2):259-65.
9. Thevissen PW, Fieuws S, Willems G. Human dental age estimation using third molar developmental stages: does a Bayesian approach outperform regression models to discriminate between juveniles and adults?. *International journal of legal medicine*. 2010;124(1):35-42.
10. Te Moananui R, Kieser JA, Herbison P, Liversidge HM. Advanced dental maturation in New Zealand Maori and Pacific Island children. *American journal of human biology*. 2008;20(1):43-50.
11. Stefanac-Papić J, Alkadri K, Legović M, Galić N. Comparison of dental maturity between two ethnic groups. *Collegium antropologicum*. 1998;22:123-6.

12. Olze A, Van Niekerk P, Ishikawa T, Zhu B, Schulz R, Maeda H, Schmeling A. Comparative study on the effect of ethnicity on wisdom tooth eruption. *International journal of legal medicine*. 2007;121(6):445-8.
13. Liversidge HM. Similarity in dental maturation in two ethnic groups of London children. *Annals of human biology*. 2011;38(6):702-15.
14. Willems G, Van Olmen A, Spiessens B, Carels C. Dental age estimation in Belgian children: Demirjian's technique revisited. *Journal of forensic science*. 2001;46(4):893-5.
15. Chaillet N, Nyström M, Demirjian A. Comparison of dental maturity in children of different ethnic origins: international maturity curves for clinicians. *Journal of forensic science*. 2005;50(5):1164-74.
16. Liversidge HM. Dentition. In: Cunningham C, Scheuer L, Black S, editors. *Developmental juvenile osteology*. 2nd ed. Academic press; 2016. p. 149-76.
17. Demirjian A, Goldstein H. New systems for dental maturity based on seven and four teeth. *Annals of human biology*. 1976;3(5):411-21.
18. 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.
19. 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.
20. Moorrees CF, Fanning EA, Hunt EE. Formation and resorption of three deciduous teeth in children. *American journal of physical anthropology*. 1963;21(2):205-13.
21. Smith BH. *Standards of human tooth formation and dental age assessment*. Advances in dental anthropology: Wiley-Liss Inc., New York; 1991. p. 143-68.
22. Nolla CM. *The development of permanent teeth*. Doctoral dissertation. University of Michigan; 1952.
23. 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.
24. Cameriere R, Brkic H, Ermenc B, Ferrante L, Ovsenik M, Cingolani M. The measurement of open apices of teeth to test chronological age of over 14-year olds in living subjects. *Forensic science*

international. 2008;174(2-3):217-21.

25. 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.

26. Fernandes MM, Tinoco RL, de Braganca DP, de Lima SH, Francesquini Junior L, Daruge Junior E. Age estimation by measurements of developing teeth: accuracy of Cameriere's method on a Brazilian sample. *Journal of forensic sciences*. 2011;56(6):1616-9.

27. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Human biology*. 1973;45(2):211-27.

28. Koshy S, Tandon S. Dental age assessment: the applicability of Demirjian's method in south Indian children. *Forensic science international*. 1998;94(1-2):73-85.

29. Chen J, Guo J, Zhou J, Liu R, Chen T, Zou S. Assessment of dental maturity of western Chinese children using Demirjian's method. *Forensic science international*. 2010;197(1-3):119. e1-4.

30. Saade A, Baron P, Noujeim Z, Azar D. Dental and skeletal age estimations in Lebanese children: A retrospective cross-sectional study. *Journal of international society of preventive & community dentistry*. 2017;7(3):90-7.

31. 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.

32. 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. *Journal of forensic odontostomatology*. 2004;22(2):18-27.

33. Tunc ES, Koyuturk AE. Dental age assessment using Demirjian's method on northern Turkish children. *Forensic science international*. 2008;175(1):23-6.

34. Esan TA, Yengopal V, Schepartz LA. The Demirjian versus the Willems method for dental age estimation in different populations: A meta-analysis of published studies. *Public library of science one*. 2017;12(11):e0186682.

35. Apaydin BK, Yasar F. Accuracy of the demirjian, willems and cameriere methods of estimating

- dental age on turkish children. *Nigerian journal of clinical practice*. 2018;21(3):257-63.
36. Urzel V, Bruzek J. Dental age assessment in children: a comparison of four methods in a recent French population. *Journal of forensic sciences*. 2013;58(5):1341-7.
37. Maber M, Liversidge HM, Hector MP. Accuracy of age estimation of radiographic methods using developing teeth. *Forensic science international*. 2006;159(S):S68-73.
38. 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.
39. Galic I, Vodanovic M, Jankovic S, Mihanovic F, Nakas E, Prohic S, Galic E, Brkic 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;20(1):40-5.
40. Chaillet N, Nystrom 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):1324-31.
41. Wolf TG, Briseno-Marroquin B, Callaway A, Patyna M, Muller VT, Willershausen I, Ehlers V, Willershausen B. Dental age assessment in 6- to 14-year old German children: comparison of Cameriere and Demirjian methods. *BMC Oral Health*. 2016;16(1):120-7.
42. Ambarkova V, Galic I, Vodanovic M, Biocina-Lukenda D, Brkic H. Dental age estimation using Demirjian and Willems methods: cross sectional study on children from the Former Yugoslav Republic of Macedonia. *Forensic science international*. 2014;234:187.e1-7.
43. Olze A, Bilang D, Schmidt S, Wernecke K-D, Geserick G, Schmeling A. Validation of common classification systems for assessing the mineralization of third molars. *International journal of legal medicine*. 2005;119(1):22-6.
44. Chaillet N, Demirjian A. Dental maturity in South France: A comparison between Demirjian's method and polynomial functions. *Journal of forensic science*. 2004;49(5):1059-66.
45. Qudeimat MA, Behbehani F. Dental age assessment for Kuwaiti children using Demirjian's method. *Annals of human biology*. 2009;36(6):695-704.
46. Frucht S, Schnegelsberg C, Schulte-Monting J, Rose E, Jonas I. Dental age in southwest Germany. A radiographic study. *Journal of orofacial orthopedics*. 2000;61(5):318-29.

47. Baghdadi ZD. Dental maturity in Saudi children using the Demirjian method: a comparative study and new prediction models. *International scholarly research Notices*. 2013;2013:e390314.
48. Teivens A, Mörnstad H. A modification of the Demirjian method for age estimation in children. *Journal of forensic odonto-stomatology*. 2001;19(2):26-30.
49. Acharya AB. Age Estimation in Indians Using Demirjian's 8-teeth Method. *Journal of forensic sciences*. 2011;56(1):124-7.
50. Langley NR, Gooding AF, Tersigni-Tarrant MA. Age estimation methods. In: Langley NR, Tersigni-Tarrant MA, editors. *Forensic Anthropology: A comprehensive introduction*. New York: CRC press; 2017. p. 175-95.
51. Liversidge H. Dental Age revisited. In: Irish JD, Nelson GC, editors. *Technique and application in dental anthropology*. Cambridge: Cambridge university press; 2008. p. 234-65.
52. Konigsberg LW, Frankenberg SR. Estimation of age structure in anthropological demography. *American journal of physical anthropology*. 1992;89(2):235-56.
53. 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.
54. Halilah T, Khdairi N, Jost-Brinkmann P-G, Bartzela T. Age estimation in 5–16-year-old children by measurement of open apices: North German formula. *Forensic science international*. 2018;293:103. e1- 8.
55. Celikoglu M, Erdem A, Dane A, Demirci T. Dental age assessment in orthodontic patients with and without skeletal malocclusions. *Orthodontics and craniofacial research*. 2011;14(2):58-62.
56. Durka-Zajac M, Derwich M, Mituś-Kenig M, Łoboda M, Pawłowska E. Analysis of dental maturation in relation to sagittal jaw relationships. *Polish journal of radiology*. 2017;82:32-7.
57. Nyström M, Haataja J, Kataja M, Evalahti M, Peck L, Kleemola-Kujala E. Dental maturity in Finnish children, estimated from the development of seven permanent mandibular teeth. *Acta odontologica Scandinavica*. 1986;44(4):193-8.
58. Janson I. Eine Untersuchung zur mittleren Durchbruchzeit der bleibenden Zähne des Menschen. *Journal of orofacial orthopedics*. 1971;32(3):387-97.
59. Demirjian A, Levesque G-Y. Sexual differences in dental development and prediction of

emergence. Journal of dental research. 1980;59(7):1110-22.

60. Garn SM, Lewis AB, Koski K, Polacheck DL. The sex difference in tooth calcification. Journal of dental research. 1958;37(3):561-7.

61. Schopf PM. Wurzelmineralisation und Zahndurchbruch im Wechselgebiß Eine Studie an Panorama-Röntgenbildern. Fortschritte der Kieferorthopädie. 1970;31(1):39-56.

10. Anhang

10.1 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Nadiajda Khdairi, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: **„Anwendbarkeit und Anpassung der Demirjian-Methode zur Zahnalterbestimmung für norddeutsche Kinder“** 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

10.2 Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation als Top-Journal

Publikation: N. Khdairi, T. Halilah, M. Khandakji, P.-G. Jost-Brinkmann, T. Bartzela, The adaptation of Demirjian's dental age estimation method on north German children, Forensic Science International, 2019.

Beitrag der Promovendin im Einzelnen:

Die Promovendin hat die Archive, die Systeme und Programme durchsucht, um die Ein- und Ausschlusskriterien festzulegen.

Die Promovendin hat 1260 Panoramaschichtaufnahmen selbst befundet. Dafür wurden in jeder Panoramaschichtaufnahme 7 Zähne bewertet und eingestuft. Das heißt, 8820 Zähne wurden befundet und statistisch bearbeitet. In den Tabellen 2, 3, 5, 6, 7 und 8 hat die Promovendin die Analyse selbst durchgeführt, in den restlichen Tabellen und Perzentilkurven hat der Zweit- und Dritter Autor mitgeholfen und den größten Teil bearbeitet.

Der Entwurf des Studiendesigns und des Manuskripts (Einleitung, Methodik, Beschreibung und Interpretation der Ergebnisse, Diskussion und Schlussfolgerungen) erfolgte durch die Promovendin.

Die Promovendin hat ihre Arbeit komplett übersetzt, um die Promotion nicht in englischer, sondern in deutscher Sprache einreichen zu können.

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers

Unterschrift der Doktorandin

10.3 Journal summary list

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2016** Selected Editions: SCIE,SSCI
 Selected Categories: **"MEDICINE, LEGAL"** Selected Category Scheme: WoS
Gesamtanzahl: 15 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	Forensic Science International-Genetics	3,366	3.911	0.006420
2	INTERNATIONAL JOURNAL OF LEGAL MEDICINE	3,501	2.382	0.006460
3	REGULATORY TOXICOLOGY AND PHARMACOLOGY	4,765	2.221	0.006030
4	SCIENCE & JUSTICE	924	1.992	0.002110
5	FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL	12,323	1.989	0.016940
6	Forensic Science Medicine and Pathology	777	1.842	0.002230
7	Legal Medicine	1,195	1.276	0.001960
8	JOURNAL OF LAW MEDICINE & ETHICS	1,496	1.223	0.003390
9	Journal of Forensic and Legal Medicine	1,178	1.135	0.003460
10	JOURNAL OF FORENSIC SCIENCES	7,707	1.127	0.009360
11	Australian Journal of Forensic Sciences	192	0.778	0.000570
12	MEDICINE SCIENCE AND THE LAW	568	0.689	0.000600
13	AMERICAN JOURNAL OF FORENSIC MEDICINE AND PATHOLOGY	1,553	0.648	0.001570
14	Rechtsmedizin	245	0.530	0.000230
15	Romanian Journal of Legal Medicine	77	0.108	0.000170

Copyright © 2017 Thomson Reuters

10.4 Ausgewählte Publikation

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

The Adaptation of Demirjian's Dental Age Estimation Method on North German Children.

<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.109927>

11. Lebenslauf

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

12. Publikationsliste

- Khdairi N, Halilah T, Jost-Brinkmann P-G, Bartzela T, The adaptation of Demirjian's dental age estimation method on north German children. *Forensic science international*. 2019; 303:109927. Impact Factor: 2,2
- Halilah T, Khdairi N, Jost-Brinkmann P, Bartzela T, Age estimation in 5–16-year-old children by measurement of open apices: north German formula. *Forensic science international*. 2018; 293:103.e1-e8. Impact Factor: 2,2
- Dar-Odeh NS, Al-Abdalla M, **Khdairi NO**, Al-Abedalla KB, Abu-Hammad OA, Narghile (water pipe) smoking among university staff; prevalence, attitudes and beliefs. *Pelagia research library advances in applied science research*. 2013; 4:330-36. Impact Factor: 0,48
- Dar-Odeh NS, Abu-Hammad OA, Al-Abdalla M, Shakhathreh FM, Al-Abedalla KB, **Khdairi NO**, Prime S, Narghile smoking among Jordanian educated working women: attitudes and beliefs. *British purnal of medicine and medical research*. 2013; 3:483-90.
- AbuKaraky AE, Abu Afifeh K, Khatib A, **Khdairi NO**, Habarneh H, Ahmad W, Hamdan A, Sawair F, Antibiotics prescribing practices in oral implantology among Jordanian dentists. A cross sectional, observational study. *BMC Research Notes*. 2011; 4:266-70. Impact Factor: 1,8

13. 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 Omar, meiner Mutter Elonna, meinen Bruder Sami, meine Schwester Sabina, und meinem geliebten Mann, Talal Halilah, für ihre Liebe und bedingungslose Unterstützung in meinem ganzen Leben. Mein Mann hat mir als Zweitautor 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.