

Aus dem Institut für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Medizinischen
Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin
Abteilung für Kieferorthopädie und Orthodontie

DISSERTATION

Angulations- und Positionsänderungen sowie Durchbruchsprognose der dritten Molaren bei kieferorthopädisch behandelten Patient:innen nach Extraktionstherapie der ersten Molaren.

Angulation and positional changes and prediction of third molar eruption in orthodontically treated patients with first permanent molar extraction.

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Lisa Josefine Langer

Datum der Promotion: 30.11.2023

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	ii
Abbildungsverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
Zusammenfassung	1
Abstract.....	2
1. Einleitung.....	3
1.1 Molar-Inzisivus-Hypomineralisation	3
1.2 Die Extraktion der ersten Molaren.....	4
1.3 Die dritten Molaren.....	4
1.4 Fragestellung	5
2. Methodik	6
3. Ergebnisse.....	11
4. Diskussion	20
4.1 Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse	20
4.2 Interpretation der Ergebnisse.....	20
4.3 Einbettung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand	22
4.4 Stärken und Schwächen der Studie.....	23
4.5 Implikationen für Praxis und zukünftige Forschung.....	26
5. Schlussfolgerungen	28
Literaturverzeichnis.....	29
Eidesstattliche Versicherung.....	35
Anteilerklärung an der erfolgten Publikation.....	36
Druckexemplar der Publikation	37
Lebenslauf	50
Komplette Publikationsliste	51
Danksagung.....	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verteilung der Patient:innen innerhalb der Extraktions- und Kontrollgruppe	11
Tabelle 2: Winkelmessungen der Kontroll- und Extraktionsgruppe im Oberkiefer zu T1 und T2	12
Tabelle 3: Winkelmessungen der Kontroll- und Extraktionsgruppe im Unterkiefer zu T1 und T2	13
Tabelle 4: 95 %-Konfidenzintervall (95 % CI) und p -Werte für die Winkelveränderungen zu T2 in Abhängigkeit von T1	14
Tabelle 5: Inter-Rater-Reliabilität (Beobachterübereinstimmung) für die Winkelmessung M2/IOP	15
Tabelle 6: Inter-Rater-Reliabilität (Beobachterübereinstimmung) für die Winkelmessung M2/PP	15
Tabelle 7: Inter-Rater-Reliabilität (Beobachterübereinstimmung) für die Winkelmessung M3/IOP	15
Tabelle 8: Inter-Rater-Reliabilität (Beobachterübereinstimmung) für die Winkelmessung M2/PP	16
Tabelle 9: Ordinale Regressionsanalyse mit zufälligen Effekten für die angewandten Klassifikationen (Archer, Winter, Pell & Gregory) zur Bestimmung der Durchbruchsprognose der M3	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Durchzeichnung einer Panoramaschichtaufnahme (PSA) und der Winkelmessungen	7
Abbildung 2: Horizontale Klassifikation nach Archer	8
Abbildung 3: Vertikale Klassifikation nach Archer	9
Abbildung 4: Klassifikation nach Winter	9
Abbildung 5: Klassifikation nach Pell & Gregory	10
Abbildung 6: Einschätzung der Durchbruchprognose der M3 vor kieferorthopädischer Behandlung (T1) und nach kieferorthopädischem Lückenschluss (T2) für die Extraktionsgruppe und Kontrollgruppe	17

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
95 % CI	95 %-Konfidenzintervall
<i>df</i> ₁	Freiheitsgrade im Zähler (n_1-1)
<i>df</i> ₂	Freiheitsgrade im Nenner (n_2-1)
FRS	Ferröntgenseitenbild
ICC	Intraklassenkorrelationskoeffizient
IOP	Infraorbitalebene
IQR	Interquartilbereich
MIH	Molar-Inzisivus-Hypomineralisation
M1	1. Molaren
M2	2. Molaren
M3	3. Molaren
M2/IOP	Winkel zwischen Längsachse der M2 und IOP
M3/IOP	Winkel zwischen Längsachse der M3 und IOP
M2/PP	Winkel zwischen Längsachse der M2 und PP
M3/PP	Winkel zwischen Längsachse der M3 und PP
OK	Oberkiefer
PGH	horizontale Klassifikation nach Pell & Gregory
PGV	vertikale Klassifikation nach Pell & Gregory

PP	Planum palatinum
PSA/OPG	Panoramaschichtaufnahme/Orthopantomogramm
SD	Standardabweichung
Sig.	Signifikanz, <i>p</i> -Wert
T1	vor kieferorthopädischer Behandlung
T2	nach kieferorthopädischem Lückenschluss/nach kieferorthopädischer Behandlung
UK	Unterkiefer
Zeit	untersuchter Zeitraum

Zusammenfassung

Ziel: Ziel dieser Studie war es zu analysieren, welche Auswirkungen der kieferorthopädische Lückenschluss nach Extraktion der 1. Molaren (M1) auf die Position und Angulation der 2. (M2) und 3. Molaren (M3) sowie auf die Durchbruchprognose der M3 hat.

Material und Methode: Diese retrospektive Fall-Kontroll-Studie bestand aus 76 kieferorthopädisch behandelten Patient:innen, von denen 39 mit Extraktion der M1 und 37 ohne Extraktion behandelt wurden. Insgesamt wurden 152 Panoramaschichtaufnahmen vor kieferorthopädischer Behandlung (T1) und nach kieferorthopädischem Lückenschluss (T2) vermessen, um die Winkel- und Positionsveränderungen der M2 und M3 zu beurteilen. Die Winkel gebildet aus den Längsachsen beider Molaren zur Infraorbitalebene (IOP) und zum Planum palatinum (PP) als Referenzebenen wurden gemessen und verglichen. Folgende Winkel wurden ausgewertet: M2/IOP, M2/PP, M3/IOP, M3/PP. Zusätzlich wurde die Durchbruchprognose der M3 anhand der Klassifikationen nach Archer (horizontal und vertikal) im Oberkiefer und der Klassifikationen nach Winter sowie Pell & Gregory (horizontal (PGH) und vertikal (PGV)) im Unterkiefer bewertet.

Ergebnisse: Die gemessenen Winkel sowie die Inklination der M3 zu M2 (Archer horizontal) veränderten sich im Oberkiefer im Vergleich der Gruppen zu T2 signifikant ($p < 0,05$). Trotz der aufrechteren Position der Unterkiefer M2 und M3 zu T1 in der Kontrollgruppe, ließ sich eine stärkere Aufrichtung in der Extraktionsgruppe erkennen. Der Unterschied war allerdings nicht signifikant ($p > 0,05$). Die Position der M3 im Unterkiefer verbesserte sich lediglich in der Horizontalebene (PGH) signifikant. Es konnte keine signifikante Veränderung in der vertikalen Positionsveränderung der M3 beobachtet werden weder im Oberkiefer (Archer vertikal) noch im Unterkiefer (PGV).

Schlussfolgerung: Die Extraktion der M1 zeigte einen positiven Effekt auf die Position der M3 in beiden Kiefern in der Horizontalebene. Dies kann ein Hinweis auf einen größeren verfügbaren Eruptionsraum für M3 sein und folglich für deren Durchbruchprognose. Die Extraktionstherapie der M1 hat eine positive Auswirkung auf die Angulation der M2 und M3. Dennoch gab es auch in der Kontrollgruppe eine Verbesserung der Angulationen der M3 zu T2. Diese waren im Gruppenvergleich nur im Oberkiefer signifikant unterschiedlich.

Abstract

Aim: To analyze the effects of orthodontic space closure after extraction of the first permanent molars (M1) on the position and angulation of the second (M2) and third molars (M3) and consequently on the eruption prognosis of M3.

Material and Method: This retrospective case-control study consisted of 76 orthodontically treated patients, of whom 39 were treated with extraction of M1 and 37 without extraction. A total of 152 panoramic radiographs (OPG) were measured before orthodontic treatment (T1) and after orthodontic space closure (T2) to assess the changes in angle and position of M2 and M3. The angles formed from the longitudinal axes of both molars to the infraorbital (IOP) and the palatal plane (PP) as reference planes were measured and compared. The following angles were evaluated: M2/IOP, M2/PP, M3/IOP, M3/PP. In addition, the eruption prognosis of M3 was evaluated using the Archer classifications (horizontal and vertical) in the maxilla and the Winter and Pell & Gregory classifications (horizontal (PGH) and vertical (PGV)) in the mandible.

Results: The measured angles and the inclination of M3 to M2 (Archer horizontal) changed significantly in the maxilla comparing the groups at T2 ($p < 0.05$). Despite the more upright position of the mandibular M2 and M3 at T1 in the control group, there was a greater improvement in the molar angulation of the extraction group. However, the difference was not significant ($p > 0.05$). The position of M3 in the mandible only improved significantly in the horizontal plane (PGH). No significant change in the vertical position of M3 could be observed either in the maxilla (Archer vertical) or in the mandible (PGV).

Conclusion: The extraction of M1 showed a positive effect on the position of M3 in both jaws in the horizontal plane and thus may improve the eruption space and prognosis. The extraction therapy of M1 positively affects the angulation of M2 and M3. Nevertheless, there was an improvement in the angulation at T2 in the control group, too. This was significantly different in group wise comparison only in the maxilla.

1. Einleitung

Karies ist die häufigste Krankheit weltweit (1, 2) und die ersten Molaren (M1) sind die am häufigsten betroffenen bleibenden Zähne (3, 4). In Deutschland zeigt sich eine abnehmende Kariesprävalenz über die letzten Jahre (5), wohingegen die weltweite Prävalenz der Molar-Inzisivus-Hypomineralisation (MIH) bei 6- bis 14-jährigen Patient:innen auf bis zu 40 % angestiegen ist (6, 7). Der Umgang mit kompromittierten M1 kann sowohl für Patient:innen als auch die behandelnden (Fach-)Zahnärzt:innen zu einer Herausforderung im Praxisalltag werden. Eine frühe Diagnose der MIH ist ausschlaggebend, um eine adäquate Versorgung dieser Zähne sicherzustellen (8, 9). Eine spät erfolgte Diagnose der MIH sowie Kältesensitivität oder der gehäufte Verlust von Restaurationen können zu der Notwendigkeit invasiver Versorgungen bis hin zur Extraktion der betroffenen Zähne führen.

1.1 Molar-Inzisivus-Hypomineralisation

Der Begriff MIH wurde erstmal im Jahre 2001 beschrieben und ist definiert als klinisch erkennbare, abgegrenzte Opazität, die mindestens einen M1 in Verbindung mit oder ohne Beteiligung der Inzisivi betrifft (10). Umgangssprachlich werden diese Zähne auch als Kreidezähne bezeichnet. Verschiedene Klassifikationen zur Beurteilung des Schweregrades und Behandlungskonzepte wurden entwickelt (11-14). Die klinischen Charakteristika können sehr unterschiedlich sein (15, 16). Betroffene Zähne weisen weißliche bis gelblich-braune Opazitäten mit oder ohne Substanzdefekte auf. Das kann mit oder ohne eine Hypersensibilität einhergehen. Auch atypische Restaurationen der M1 können ein Hinweis auf MIH sein (16). Histologisch imponieren poröse Areale in unterschiedlich starker Ausprägung und klarer Abgrenzung zu normaler Zahnhartsubstanz (17). Der betroffene Zahnschmelz ist durch einen geringeren Kalzium- und Phosphatgehalt bei zugleich erhöhtem Protein-, Kohlenstoff- und Karbonatgehalt gekennzeichnet (18, 19). Differenzialdiagnostisch ist die MIH unter anderem von Schmelzhypoplasien, Verfärbungen durch Tetrazyklingabe, der Amelogenesis imperfecta oder der Fluorose zu unterscheiden (20). Die MIH ist eine qualitative Strukturveränderung (Hypomineralisation) des Zahnschmelzes, die während der Mineralisationsphase im Zeitraum vom achten Schwangerschaftsmonat bis zum vierten Lebensjahr entsteht (21). Die Pathogenese ist aufgrund der

häufig asymmetrischen Ausprägung der MIH nicht abschließend geklärt. Ein multifaktorielles Geschehen mit einer möglichen genetischen Komponente gilt als wahrscheinlich (8, 22, 23). Diskutiert werden pränatale Faktoren, wie bestimmte Krankheiten der Mutter. Als perinatale Faktoren werden die Frühgeburt, Sectio caesarea und andere Geburtskomplikationen, die mit einer Hypoxie einhergehen können, genannt. Postnatale Einflüsse wie die Exposition gegenüber Dioxinen und Bisphenolen, verschiedene Infektionserkrankungen, Masern, Bronchitis, Asthma und Pneumonien, die auch mit der Gabe von Antibiotika in Verbindung stehen können, gelten als mögliche Ursachen (22-25).

1.2 Die Extraktion der ersten Molaren

Die Entscheidung zur Extraktion der M1 sollte bedacht und interdisziplinär getroffen werden. Wesentliche Faktoren können das Ausmaß der Destruktion, die Anzahl der betroffenen Zähne, Kälteempfindlichkeit, kieferorthopädischer Platzbedarf sowie die röntgenologisch erkennbare Anlage der dritten Molaren (M3) sein. Die Extraktion der M1 ist nicht generell kosteneffektiver als eine Restauration (26, 27), jedoch stellt sich gerade bei jungen Patient:innen die Frage nach der Langzeitprognose dieser Zähne. Ein frühzeitiger Verlust der M1 hat eine beschleunigende Wirkung auf die Entwicklung und den Durchbruchzeitpunkt der zweiten (M2) und dritten Molaren (M3) (28-30). Jedoch kann eine Extraktion zu einem sehr frühen Zeitpunkt zu dentalen und skelettalen Asymmetrien führen (31) sowie zur Kippung der benachbarten Zähne (32). Der Zeitpunkt der Extraktion sollte umsichtig gewählt werden. Ein optimaler Zeitpunkt der M1 vor Durchbruch der M2 kann zu einem spontanen Lückenschluss führen (33), wobei die Prognose im Oberkiefer günstiger ist als im Unterkiefer (34-37). Die Extraktion von tief zerstörten M1 in Kombination mit einem kieferorthopädischen Lückenschluss kann einen Einfluss auf die Position und Durchbruchprognose der M3 haben. Frühere Studien haben einen größeren Einfluss auf die M3 im Oberkiefer festgestellt (29, 38).

1.3 Die dritten Molaren

Die M3 weisen eine hohe Varianz in Größe, Form, Lage, Konfiguration der Wurzeln, ihrem Entwicklungszeitpunkt und Durchbruchweg auf (39). Auch der Zeitpunkt des Durchbruchs in die Mundhöhle variiert stark (40). Die M3 sind die am häufigsten impaktierten Zähne (41, 42) mit einer weltweiten Prävalenz zwischen 3 % und 57 %, abhängig von der

Untersuchungsmethode und untersuchten Population (43). Die Impaktionsrate ist im Unterkiefer höher als im Oberkiefer (43). Risiken, die im Zusammenhang mit (teil)impaktierten M3 stehen, sind Parodontitis und andere entzündliche Vorgänge, follikuläre Zysten, gutartige neoplastische Gebilde und die Resorption der Wurzeln der M2 oder des benachbarten Knochens (41, 44). Die prophylaktische Entfernung asymptomatischer M3 wird aufgrund des Risikos des chirurgischen Eingriffs und der Kosteneffizienz (45, 46), jedoch nicht generell empfohlen. Andere Faktoren wie ein geringes retromolares Platzangebot (38), fehlanguliert angelegte M3 (47), Konfiguration des Unterkieferwinkels (48, 49) sowie ein vertikales Wachstumsmuster (50, 51) können Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer Impaktion der M3 haben.

1.4 Fragestellung

Die langfristige Durchbruchprognose der M3 nach Extraktion der M1 ist relevant für die kieferorthopädische Behandlungsplanung und für die Aufklärung von Eltern und Patient:innen. Ziel dieser Studie war es, den Einfluss des kieferorthopädischen Lückenschlusses nach Extraktion der M1 auf die Angulation und Position der M2 und M3 in Ober- und Unterkiefer sowie auf die Durchbruchprognose der M3 zu untersuchen.

2. Methodik

Die vorliegende Untersuchung wurde gemäß den Richtlinien der Deklaration von Helsinki durchgeführt und von der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin genehmigt (EA2/231/18).

Das Patient:innenkollektiv dieser retrospektiven Fall-Kontroll-Studie wurde aus der Abteilung für Kieferorthopädie und Orthodontie, Charité – Universitätsmedizin Berlin und zwei niedergelassenen kieferorthopädischen Fachzahnarztpraxen in Berlin zusammengestellt. Es wurden 152 Panoramaschichtaufnahmen vor der kieferorthopädischen Behandlung (T1) und nach kieferorthopädischem Lückenschluss beziehungsweise nach kieferorthopädischer Behandlung (T2) von 76 Patient:innen untersucht. 39 dieser Patient:innen (24 weiblich, 15 männlich, Durchschnittsalter 13,5 Jahre) wurden mittels Extraktion mindestens eines M1 behandelt. Im Oberkiefer wurden bei 17 dieser Patient:innen beide M1 (n = 34) und bei 12 jeweils nur ein M1 (n = 12) entfernt. Im Unterkiefer wurde bei 19 Patient:innen die Extraktion beider M1 (n = 38) und bei 12 Patient:innen eines M1 (n = 12) durchgeführt. Insgesamt wurden 46 obere und 50 untere M1 extrahiert. 37 kieferorthopädisch behandelte Patient:innen (23 weiblich, 14 männlich, Durchschnittsalter 14,5 Jahre), bei denen keine Extraktion bleibender Zähne durchgeführt wurde, bildeten die Kontrollgruppe. Der Zeitpunkt T2 wurde in der Extraktionsgruppe auf nach kieferorthopädischem Lückenschluss und in der Kontrollgruppe auf nach kieferorthopädischer Behandlung festgelegt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im Weiteren auf das gleichzeitige Verwenden der Begriffe verzichtet.

Alle Patient:innen wurden mit einer festsitzenden kieferorthopädischen Apparatur behandelt. Entsprechend dem Alter der Patient:innen zu T1, waren die M2 in die Mundhöhle durchgebrochen. Untersucht wurden Patient:innen kaukasischen Ursprungs. Ausgeschlossen wurden Patient:innen mit kraniofazialen Anomalien, Syndromen, röntgenologisch oder klinisch erkennbaren Asymmetrien, verlagerten Zähnen, Aplasie anderer bleibender Zähne und Patient:innen, die mit Verankerungsmechaniken zum Bewegen von Zähnen nach distal behandelt wurden.

Anhand der diagnostischen Unterlagen (Modelle, Fotos) und der Fernröntgenseitenbilder (FRS) zu T1 wurden die kieferorthopädischen Befunde dokumentiert. Es mussten qualitativ hochwertige, digitale Panoramaschichtaufnahmen zu beiden Untersuchungszeitpunkten (T1, T2) vorhanden sein. Zur Beurteilung der Längsachse der M3 mussten diese zu T1 eine röntgenologisch abgeschlossene Kronenformation (Stufe 4, Klassifikation

nach Demirjian (52)) aufweisen. Alle relevanten anatomischen Strukturen, Referenzebenen und Winkel wurden mit der Sidexis XG Software (Version 2.63, Dentsply Sirona, Deutschland) gezeichnet und gemessen. Die Infraorbitalebene (IOP) und das Planum palatinum (PP) dienten als Referenzebenen. Die IOP ist eine Gerade durch die untersten Punkte der linken und rechten knöchernen Orbita (53, 54). Das PP bildet eine Tangente durch den kranialsten Punkt der Krümmung des knöchernen Gaumens (55, 56). Folgende Winkel, gebildet aus den Längsachsen der M2 und M3 und diesen Ebenen (IOP, PP), wurden zu T1 und T2 gemessen und verglichen: M2/IOP, M2/PP, M3/IOP und M3/PP (Abb. 1).

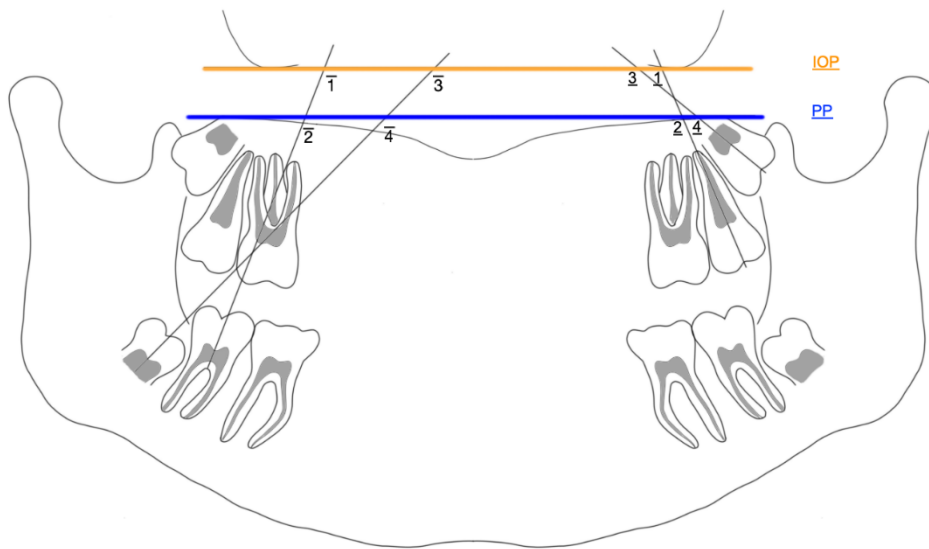


Abbildung 1: Durchzeichnung einer Panoramaschichtaufnahme (PSA) und der Winkelmessungen, 1 Winkel zwischen Oberkiefer (OK) 2. Molar (M2) zur Infraorbitalebene (IOP); 1̄ Winkel zwischen Unterkiefer (UK) M2 zur IOP; 2 Winkel zwischen OK M2 zum Planum palatinum (PP); 2̄ Winkel zwischen UK M2 zum PP; 3 Winkel zwischen OK 3. Molar (M3) zur IOP; 3̄ Winkel zwischen UK M3 zur IOP; 4 Winkel OK M3 zum PP; 4̄ Winkel zwischen UK M3 zum PP (modifiziert nach Langer et al., 2023)

Zusätzlich wurde die Durchbruchprognose der M3 anhand verschiedener Klassifikationen bewertet. Im Oberkiefer wurden hierfür die horizontale und vertikale Klassifikation nach Archer (57) angewandt (Abb. 2, 3). Für den Unterkiefer kamen die Klassifikation nach Winter (Abb. 4) (58) und die Klassifikation nach Pell & Gregory (Abb. 5) (59) zur Anwendung. Die Untergruppen der Klassifikationen wurden bezüglich ihrer spontanen Durchbruchprognose der M3 in gut, fraglich und schlecht kumuliert (Abb. 2-5).

Die Messungen wurden von der Promovendin (L.L.) selbst durchgeführt. Für die Beobachterübereinstimmung (Inter-Rater-Reliabilität) haben zwei kalibrierte Untersucher (L.L. und M.M.) 30 zufällig ausgewählte Panoramaschichtaufnahmen ausgewertet. Zusätzlich wurden von L.L. 20 Panoramaschichtaufnahmen im Abstand von mindestens einem Monat doppelt vermessen, um die Zuverlässigkeit der Messungen (Intra-Rater-Reliabilität) zu überprüfen. Für die Winkelmessungen (M2/IOP, M2/PP, M3/IOP, M3/PP) wurde der Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC) mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse hergeleitet (60). Die kategorialen Daten (Klassifikationen nach Demirjian, Archer, Winter sowie Pell & Gregory) wurden mit Cohens Kappa (κ) berechnet (61). Die grundlegenden Eigenschaften beider Gruppen wurden durch deskriptive Statistik ermittelt. Die Winkelmessungen wurden unter Verwendung einer Kovarianzanalyse (ANCOVA) verglichen, um die Winkelmessungen zu T2 in Abhängigkeit von den gemessenen Winkeln zu T1 zu bewerten. Die ordinale logistische Regressionsanalyse mit zufälligen Effekten wurde verwendet, um den Effekt der Behandlung mit oder ohne Extraktion auf die endgültige Position der M3 gemäß den verschiedenen Klassifikationen (Abb. 2-5) zu bewerten. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Alle Analysen wurden mit Stata 16 (Stata Corp, College Station, Texas, USA) durchgeführt.

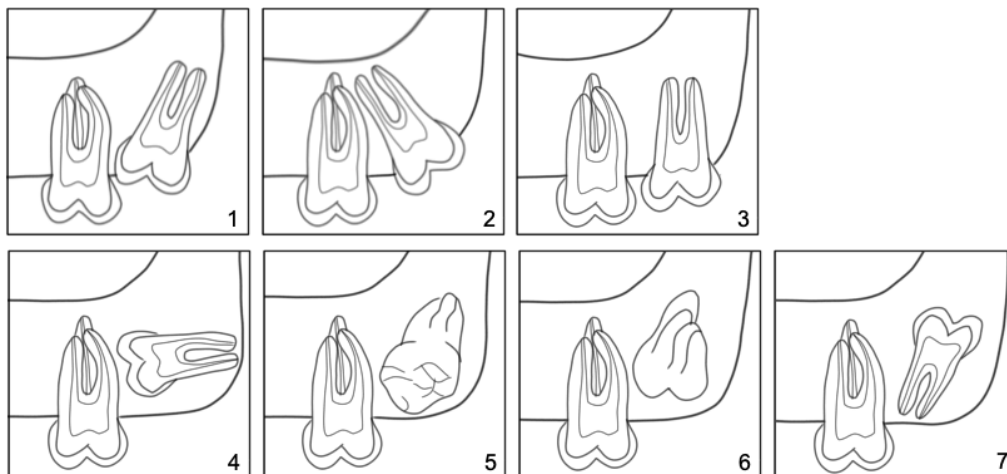


Abbildung 2: Horizontale Klassifikation nach Archer für die Inklination der OK M3 in Relation zur Längsachse der M2 (57). Unterteilung der Gruppen bezüglich der Durchbruchprognose der M3 in **1, 2**: fragliche, **3**: gute und **4, 5, 6, 7**: schlechte Prognose.

(modifiziert nach Langer et al., 2023)

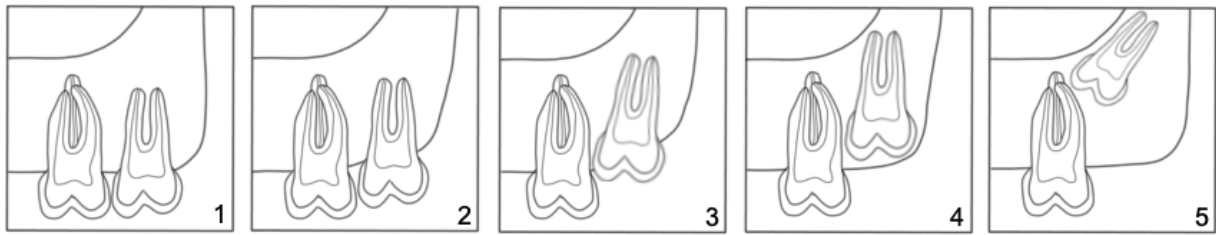


Abbildung 3: Vertikale Klassifikation nach Archer für die vertikale Position der OK M3 in Relation zum benachbarten M2 (57). Unterteilung der Gruppen bezüglich der Durchbruchprognose der M3 in **1, 2**: gute und **3, 4, 5**: schlechte Prognose.

(modifiziert nach Langer et al., 2023)

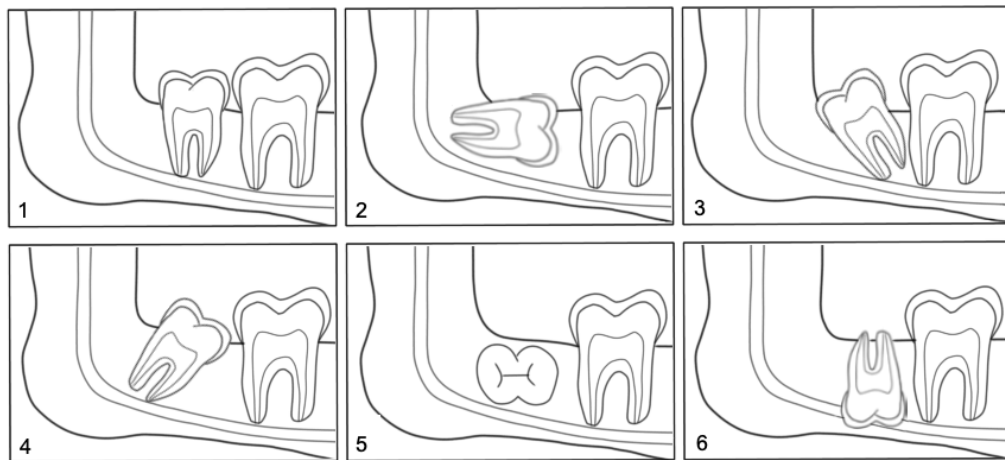


Abbildung 4: Klassifikation nach Winter für die Inklination der UK M3 in Relation zur Längsachse der M2 (58). Unterteilung der Gruppen bezüglich der Durchbruchprognose der M3 in **1**: gute, **3, 4**: fragliche und **2, 5, 6**: schlechte Prognose.

(modifiziert nach Langer et al., 2023)

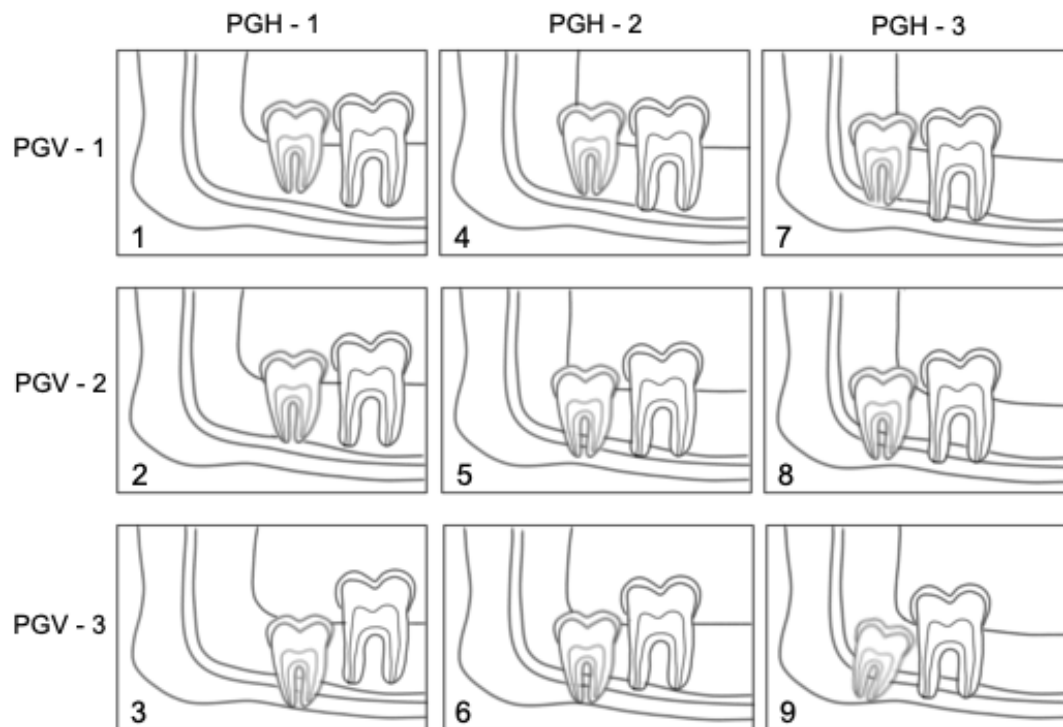


Abbildung 5: Klassifikation nach Pell & Gregory für UK M3 in Relation zur horizontalen (PGH) und vertikalen (PGV) Position der M2. Referenzstrukturen sind der Ramus mandibulae (PGH) und die Okklusalebene (PGV). Unterteilung der Gruppen bezüglich der Durchbruchprognose der M3 in **1, 2**: gute und **3-9**: schlechte Prognose.

(modifiziert nach Langer et al., 2023)

3. Ergebnisse

Die Verteilung der untersuchten Patient:innen innerhalb der Gruppen in Bezug auf Merkmale wie Geschlecht, Alter, Behandlungsdauer, Angle-Klassifikation, skelettale Klassifikation sowie Wachstumsmuster ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Behandlungsdauer war in der Extraktionsgruppe erwartungsgemäß signifikant länger ($p < 0,001$). Die Zeitspanne, die zwischen der PSA zu T1 und der PSA zu T2 lag, betrug in der Extraktionsgruppe $3,8 \pm 1,3$ Jahre und in der Kontrollgruppe $3,7 \pm 1,4$ Jahre. Die kieferorthopädische Behandlung mit Einsatz der Multiband-Multibracket-Apparatur begann im Schnitt sechs Monate nach Erstellen der PSA zu T1.

Tabelle 1: Verteilung der Patient:innen innerhalb der Extraktions- und Kontrollgruppe (modifiziert nach Langer et al., 2023)

		Kontrollgruppe (n = 37)	Extraktionsgruppe (n = 39)
Geschlecht (n (%))	weiblich	23 (62,16)	24 (61,54)
	männlich	14 (37,84)	15 (38,46)
Alter T1 (Jahre)	Mittelwert	14,5	13,5
	Spannweite	9,6 – 19,4	11,8 – 15,3
Alter T2 (Jahre)	Mittelwert	16,2	16,2
	Spannweite	11,2 – 21,1	14,4 – 18,0
Behandlungsdauer (Jahre)	Mittelwert	1,65	2,99
Angle-Klassifikation (n (%))	Klasse I	11 (29,73)	18 (46,15)
	Klasse II	22 (59,46)	13 (33,33)
	Klasse III	4 (10,81)	8 (20,52)
Skelettale Klassifikation (n (%))	Klasse I	10 (27,03)	15 (38,46)
	Klasse II	20 (54,05)	15 (38,46)
	Klasse III	7 (18,92)	9 (23,08)
Wachstumsmuster (n (%))	mesofazial	18 (48,65)	14 (35,90)
	dolichofazial	2 (5,40)	12 (30,77)
	brachyfazial	17 (45,95)	13 (33,33)

n: Personenanzahl; T1: vor kieferorthopädischer Behandlung; T2: nach kieferorthopädischem Lückenschluss

Die Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Median und Spannweite der gemessenen Winkel im Oberkiefer sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die entsprechenden Werte für den Unterkiefer sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 2: Winkelmessungen der Kontroll- und Extraktionsgruppe im Oberkiefer zu T1 und T2 (eigene Darstellung)

Variable	Messung	Kontrollgruppe (n = 74)	Extraktionsgruppe (n = 46)	Extraktion 16 und 26 (n = 34)	Extraktion 16 oder 26 (n = 12)	
M2/IOP	T1	Mittelwert (SD)	111,2° (8,9)	109,6° (9,4)	111,5° (8,3)	104,4° (10,5)
		Median [Spannweite]	110,8° [92,9 – 137,0]	109,8° [90 – 128,7]	110,7 [92,5 – 128,7]	103,2° [90,0 – 117,3]
	T2	Mittelwert (SD)	102,8° (7,5)	93,6° (7,6)	94,3° (7,4)	91,7° (8,1)
		Median [Spannweite]	102,6° [90,0 – 118,8]	92,5° [74,7 – 110,6]	92,7° [74,1 – 110,6]	90,0° [79,7 – 106,2]
	T2-T1	Mittelwert (SD)	-8,4° (8,7)	-16,0° (10,7)	-17,2° (10,3)	-12,7° (11,3)
		Median [Spannweite]	-8,7° [-33,1 – 15,7]	-15,2° [-37,2 – 16,2]	-16,7° [-37,2 – 0,9]	-14,0° [-26,6 – 16,2]
M2/PP	T1	Mittelwert (SD)	111,4° (8,9)	109,8° (9,4)	111,6° (8,5)	104,6° (10,4)
		Median [Spannweite]	110,9° [93,2 – 136,9]	110,0° [90,0 – 128,2]	110,9° [91,9 – 128,2]	103,4° [90,0 – 116,6]
	T2	Mittelwert (SD)	102,9° (7,6)	93,6° (7,6)	94,3° (7,5)	91,6° (7,8)
		Median [Spannweite]	102,7° [90,0 – 119,1]	92,5° [73,8 – 111,4]	92,8° [73,8 – 111,4]	90,0° [79,7 – 106,5]
	T2-T1	Mittelwert (SD)	-8,5° (8,8)	-16,2° (10,8)	-17,3° (10,3)	-13,0° (11,3)
		Median [Spannweite]	-7,8° [-33,0 – 15,9]	-17,0° [-37,1 – 0,8]	-17,1° [-37,1 – 16,5]	-15,2° [-26,6 – 16,5]
M3/IOP	T1	Mittelwert (SD)	122,6° (11,8)	123,9° (16,2)	125,7° (15,2)	118,9° (18,5)
		Median [Spannweite]	123,4° [90,0 – 148,2]	127,6° [78,7 – 152,0]	128,0° [78,7 – 122,7]	113,6° [99,1 – 149,9]
	T2	Mittelwert (SD)	111,0° (12,8)	101,3° (10,1)	102,0° (10,1)	99,3° (10,4)
		Median [Spannweite]	110,4° [83,4 – 135,0]	101,3° [78,7 – 122,7]	103,5° [78,7 – 122,7]	94,7° [90,0 – 119,4]
	T2-T1	Mittelwert (SD)	-11,6° (13,4)	-22,6° (14,4)	-23,7° (14,4)	-19,7° (14,0)
		Median [Spannweite]	-14,2° [-38,1 – 27,5]	-21,8° [-58,8 – 13,1]	-22,5° [-58,8 – 13,1]	-15,3° [-54,6 – -5,1]
M3/PP	T1	Mittelwert (SD)	122,6° (11,6)	124,0° (16,3)	125,7° (15,1)	119,1° (19,1)
		Median [Spannweite]	122,4° [90,0 – 147,5]	127,2° [79,5 – 151,9]	127,5° [79,5 – 151,4]	113,8° [98,9 – 151,9]
	T2	Mittelwert (SD)	110,9° (12,8)	101,3° (10,2)	102,0° (10,2)	99,3° (10,6)
		Median [Spannweite]	110,0° [85,2 – 135,0]	101,8° [79,5 – 122,7]	103,5° [79,5 – 122,7]	95,2° [90,0 – 120,5]
	T2-T1	Mittelwert (SD)	-11,7° (13,5)	-22,7° (14,9)	-23,7° (14,4)	-19,8° (15,6)
		Median [Spannweite]	-14,8° [-39,6 – 28,6]	-21,8° [-59,3 – 12,5]	-22,3° [-58,1 – 12,5]	-13,6° [-59,3 – -4,0]

n: Anzahl der ausgewerteten Quadranten; T1: vor kieferorthopädischer Behandlung; T2: nach kieferorthopädischem Lückenschluss; SD: Standardabweichungen

Die gemessenen Winkel unterschieden sich zu T1 im Oberkiefer nicht signifikant ($p > 0,05$). Im Unterkiefer zeigte sich zu T1 eine stärkere nach mesial gerichtete Angulation der M2 und M3 in der Extraktionsgruppe ($p < 0,05$).

Tabelle 3: Winkelmessungen der Kontroll- und Extraktionsgruppe im Unterkiefer zu T1 und T2 (eigene Darstellung)

Variable	Messung	Kontrollgruppe (n = 74)	Extraktionsgruppe (n = 50)	Extraktion 36 und 46 (n = 38)	Extraktion 36 oder 46 (n = 12)	
M2/IOP	T1	Mittelwert (SD)	112,5° (8,2)	117,6° (10,4)	116,5° (10,5)	121,2° (9,5)
		Median [Spannweite]	111,8° [94,6 – 140,9]	117,9° [92,2 – 140,2]	117,5° [92,2 – 140,2]	120,8° [107,1 – 133,4]
	T2	Mittelwert (SD)	106,2° (6,0)	108,5° (8,0)	107,7° (7,1)	110,7° (10,3)
		Median [Spannweite]	106,8° [90,0 – 117,6]	107,7° [94,1 – 134,0]	107,6° [94,1 – 134,0]	109,5° [94,2 – 129,6]
	T2-T1	Mittelwert (SD)	-6,3° (7,2)	-9,2° (11,1)	-8,7° (11,2)	-10,5° (10,7)
		Median [Spannweite]	-5,7° [-24,3 – 10,4]	-8,0° [-29,6 – 18,4]	-8,0° [-29,6 – 18,4]	-8,8° [-27,8 – 5,1]
M2/PP	T1	Mittelwert (SD)	112,7° (8,4)	117,9° (10,5)	116,6° (10,5)	121,9° (9,7)
		Median [Spannweite]	111,8° [94,1 – 143,1]	119,2° [92,3 – 140,2]	118,5° [92,3 – 140,2]	121,5° [108,4 – 135,0]
	T2	Mittelwert (SD)	106,4° (6,0)	108,1° (8,2)	107,6° (7,3)	109,6° (10,8)
		Median [Spannweite]	107,1° [90,0 – 117,8]	107,5° [93,4 – 135,0]	107,5° [93,4 – 135,0]	106,4° [95,0 – 129,8]
	T2-T1	Mittelwert (SD)	-6,3° (7,4)	-9,8° (11,5)	-9,0° (11,2)	-12,3° (12,0)
		Median [Spannweite]	-6,5° [-27,4 – 10,9]	-8,0° [-30,5 – 18,6]	-8,0° [-29,6 – 18,6]	-11,1° [-30,5 – 4,2]
M3/IOP	T1	Mittelwert (SD)	138,9° (11,2)	144,6° (13,6)	142,9° (14,5)	150,0° (8,8)
		Median [Spannweite]	138,9° [116,6 – 161,1]	143,7° [115,9 – 179,2]	140,3° [115,9 – 179,2]	149,1° [135,0 – 161,3]
	T2	Mittelwert (SD)	129,2° (12,4)	127,8° (13,0)	126,9° (13,6)	130,5° (11,2)
		Median [Spannweite]	129,9° [96,0 – 151,4]	126,4° [109,3 – 158,0]	125,8° [109,3 – 158,0]	133,0° [110,7 – 148,0]
	T2-T1	Mittelwert (SD)	-9,8° (13,2)	-16,8° (12,4)	-15,9° (12,7)	-19,5° (10,8)
		Median [Spannweite]	-11,7° [-44,2 – 21,6]	-15,7° [-44,2 – 8,2]	-14,9° [-44,2 – 8,2]	-18,6° [-36,6 – -2,4]
M3/PP	T1	Mittelwert (SD)	139,0° (11,1)	144,5° (13,5)	143,0° (14,3)	149,3° (9,4)
		Median [Spannweite]	138,4° [116,6 – 161,1]	144,9° [114,5 – 177,9]	140,6° [114,5 – 177,9]	148,8° [133,6 – 162,9]
	T2	Mittelwert (SD)	129,3° (12,2)	127,7° (13,2)	126,9° (13,8)	130,5° (11,1)
		Median [Spannweite]	129,2° [98,1 – 150,5]	126,3° [109,8 – 158,6]	125,1° [109,8 – 158,6]	133,1° [110,9 – 146,9]
	T2-T1	Mittelwert (SD)	-9,7° (13,0)	-16,8° (12,4)	-16,1° (12,8)	-18,9° (10,9)
		Median [Spannweite]	-10,5° [-40,7 – 22,3]	-15,2° [-42,9 – 8,3]	-15,2° [-42,9 – 8,3]	-18,1° [-36,6 – -1,4]

n: Anzahl der ausgewerteten Quadranten; T1: vor kieferorthopädischer Behandlung; T2: nach kieferorthopädischem Lückenschluss; SD: Standardabweichungen

Sowohl die gemessenen Winkel zu T2 als auch deren Veränderung (T1-T2) waren im Oberkiefer im Vergleich der Gruppen stark signifikant ($p < 0,001$). Im Unterkiefer waren die Winkel zu T2 zwischen Extraktions- und Kontrollgruppe nicht signifikant verschieden, jedoch richteten sich die M3 in der Extraktionsgruppe stärker auf als in der Kontrollgruppe. In Tabelle 4 sind die Winkelmessungen zu T2 in Abhängigkeit von den gemessenen Winkeln zu T1 dargestellt. Die jeweiligen Winkel M2/IOP, M2/PP, M3/IOP und M3/PP waren im Oberkiefer nach Extraktion der M1 im Schnitt um $-8,72^\circ$, $-8,83^\circ$, $-10,17^\circ$ und $-10,04^\circ$ kleiner im Vergleich zur Kontrollgruppe. Diese Ergebnisse waren statistisch hochsignifikant ($p < 0,001$). Im Unterkiefer waren die Unterschiede kleiner und statistisch nicht signifikant.

Tabelle 4: 95 %-Konfidenzintervall (95 % CI) und p -Werte für die Winkelveränderungen zu T2 in Abhängigkeit von T1
(eigene Darstellung)

		Koeffizient (95 % CI)	p -Wert
<u>Oberkiefer</u>			
M2/IOP	Kontrollgruppe	Referenz	
	Extraktionsgruppe	-8,72 (-11,38; -6,07)	< 0,001 **
M2/PP	Kontrollgruppe	Referenz	
	Extraktionsgruppe	-8,83 (-11,51; 6,15)	< 0,001 **
M3/IOP	Kontrollgruppe	Referenz	
	Extraktionsgruppe	-10,17 (-14,21; 6,13)	< 0,001 **
M3/PP	Kontrollgruppe	Referenz	
	Extraktionsgruppe	-10,04 (-14,14; 5,95)	< 0,001 **
<u>Unterkiefer</u>			
M2/IOP	Kontrollgruppe	Referenz	
	Extraktionsgruppe	0,73 (-1,65; 3,11)	0,55
M2/PP	Kontrollgruppe	Referenz	
	Extraktionsgruppe	0,2 (-2,17; 2,72)	0,83
M3/IOP	Kontrollgruppe	Referenz	
	Extraktionsgruppe	-4,03 (-8,23; 0,17)	0,06
M3/PP	Kontrollgruppe	Referenz	
	Extraktionsgruppe	-4,20 (-8,38; -0,02)	0,05

M2: zweiter Molar; M3: dritter Molar; IOP: Infraorbitalebene; PP: Planum palatinum; **: p -Wert < 0,001

Die Ergebnisse der Inter-Rater-Reliabilität für die einzelnen Winkelmessungen (M2/IOP, M2/PP, M3/IOP, M3/PP) sind in den Tabellen 5-8 dargestellt. Die Korrelation innerhalb der Klassen (ICC) lag zwischen 0,98 - 0,99 und zeigte eine exzellente Reliabilität (61).

Tabelle 5: Inter-Rater-Reliabilität (Beobachterübereinstimmung) für die Winkelmessung M2/IOP (*eigene Darstellung*)

	Korrelation innerhalb der Klasse (ICC)	95 %-Konfidenzintervall (95 % CI)		F-Test mit wahrem Wert 0			
		Untere Grenze	Obere Grenze	Wert	df1	df2	Sig.
Einzelne Maße	0,967	0,924	0,986	59,018	22	22	0,000
Durchschnittliche Maße	0,983	0,961	0,933	59,018	22	22	0,000

df1: Freiheitsgrade im Zähler (n_1-1); *df2*: Freiheitsgrade im Nenner (n_2-1); Sig.: Signifikanz, *p*-Wert

Tabelle 6: Inter-Rater-Reliabilität (Beobachterübereinstimmung) für die Winkelmessung M2/PP (*eigene Darstellung*)

	Korrelation innerhalb der Klasse (ICC)	95 %-Konfidenzintervall (95 % CI)		F-Test mit wahrem Wert 0			
		Untere Grenze	Obere Grenze	Wert	df1	df2	Sig.
Einzelne Maße	0,994	0,988	0,997	343,405	29	29	0,000
Durchschnittliche Maße	0,997	0,994	0,999	343,405	29	29	0,000

df1: Freiheitsgrade im Zähler (n_1-1); *df2*: Freiheitsgrade im Nenner (n_2-1); Sig.: Signifikanz, *p*-Wert

Tabelle 7: Inter-Rater-Reliabilität (Beobachterübereinstimmung) für die Winkelmessung M3/IOP (*eigene Darstellung*)

	Korrelation innerhalb der Klasse (ICC)	95 %-Konfidenzintervall (95 % CI)		F-Test mit wahrem Wert 0			
		Untere Grenze	Obere Grenze	Wert	df1	df2	Sig.
Einzelne Maße	0,997	0,994	0,999	765,532	23	23	0,000
Durchschnittliche Maße	0,999	0,997	0,999	765,532	23	23	0,000

df1: Freiheitsgrade im Zähler (n_1-1); *df2*: Freiheitsgrade im Nenner (n_2-1); Sig.: Signifikanz, *p*-Wert

Tabelle 8: Inter-Rater-Reliabilität (Beobachterübereinstimmung) für die Winkelmessung M3/PP (eigene Darstellung)

	Korrelation innerhalb der Klasse (ICC)	95 %-Konfidenzintervall (95 %CI)		F-Test mit wahrem Wert 0			
		Untere Grenze	Obere Grenze	Wert	df1	df2	Sig.
Einzelne Maße	0,996	0,992	0,998	493,762	28	28	0,000
Durchschnittliche Maße	0,998	0,996	0,999	493,762	28	28	0,000

df1: Freiheitsgrade im Zähler (n_1-1); *df2*: Freiheitsgrade im Nenner (n_2-1); Sig.: Signifikanz, p -Wert

Zusätzlich wurde die Veränderung der Position der M3 zur Beurteilung der Durchbruchprognose anhand verschiedener Klassifikationen bewertet. Im Oberkiefer kamen die Klassifikationen nach Archer (Abb. 2, 3) (57) zur Anwendung. Die Inklination der Oberkiefer M3 im Verhältnis zur Längsachse der benachbarten M2 (Abb. 2) verbesserte sich signifikant ($p = 0,005$). Die vertikale Positionsveränderung der M3 (Abb. 3) war jedoch zwischen den Gruppen nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,07$).

Die Klassifikationen nach Winter (Abb. 4) (58) sowie Pell & Gregory (Abb. 5) (59) wurden eingesetzt, um die Positionsänderung der M3 im Unterkiefer zu beurteilen. Die Veränderung der Inklination der M3 nach Winter ($p = 0,002$) sowie der horizontalen Position nach Pell & Gregory (PGH) ($p < 0,001$) waren in der Extraktionsgruppe zu T2 signifikant. Es gab jedoch keinen signifikanten Unterschied der vertikalen Position der M3 (PGV, Abb. 5) zwischen der Extraktions- und Kontrollgruppe ($p = 0,14$). Die Durchbruchprognose der M3 nach den dafür angewandten Klassifikationen (Abb. 2-5) für die beiden untersuchten Gruppen und Zeitpunkte (T1, T2) ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Beurteilung des Entwicklungsstandes der M3 nach Demirjian et al. (52) ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen sowohl zu T1 ($p = 0,48$) als auch zu T2 ($p = 0,12$).

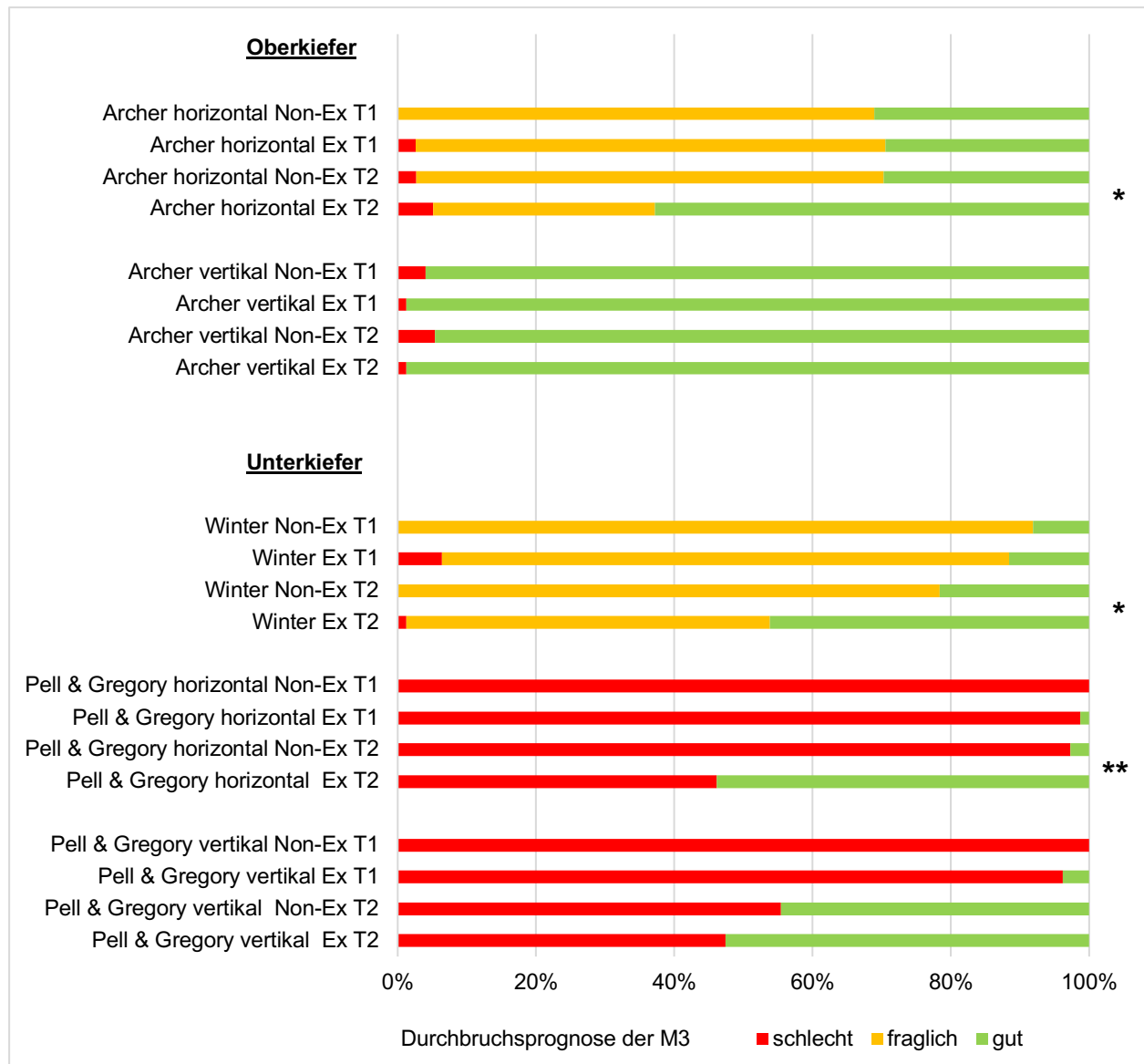


Abbildung 6: Einschätzung der Durchbruchprognose der M3 vor kieferorthopädischer Behandlung (T1) und nach kieferorthopädischem Lückenschluss (T2) für die Extraktionsgruppe (Ex) und Kontrollgruppe (Non-Ex). *: $p < 0,05$; **: $p < 0,001$

(modifiziert nach Langer et al., 2023)

Die ordinale logistische Regressionsanalyse mit zufälligen Effekten (Tabelle 9) zeigt, dass ausschließlich die Extraktion der M1 einen signifikanten Einfluss (odds ratio (OR) = 1,96; 95 % CI: 1,04; 3,72; $p = 0,04$) auf die finale Position (Inklination) der M3 im Oberkiefer (horizontale Klassifikation nach Archer, Abb. 2) hatte. Der untersuchte Zeitraum, das Geschlecht und das Ausmaß an Engstand waren keine signifikanten Determinanten im Oberkiefer. Der untersuchte Zeitraum (Zeit) beziehungsweise das Alter der Patient:innen hatte einen signifikanten Einfluss ($p < 0,001$) auf die Inklination (Klassifikation nach

Winter, Abb. 3) und die vertikale Position (PGV, Abb. 4) der M3 im Unterkiefer. Sowohl die Extraktion der M1 (OR = 2234,22; 95 % CI: 11,35; 439962,1; $p = 0,004$) und die Zeit (OR = 5459,58; 95 % CI: 16,53; 1802824; $p = 0,004$) standen in engem Zusammenhang mit der horizontalen Positionsänderung der unteren M3 (PGH, Abb. 4). Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Patienten festgestellt.

Tabelle 9: Ordinale Regressionsanalyse mit zufälligen Effekten für die angewandten Klassifikationen (Archer, Winter, Pell & Gregory) zur Bestimmung der Durchbruchprognose der M3
(modifiziert nach Langer et al., 2023)

Gruppen (Referenz)	Archer horizontal	Archer vertikal	Winter	Pell & Gregory horizontal	Pell & Gregory vertikal	
	OR (95 % CI)	OR (95 % CI)	OR (95 % CI)	OR (95 % CI)	OR (95 % CI)	
Non-Ex (Referenz)	Ex	1,96 * (1,04; 3,72)	21,79 (0,17; 2786,99)	1,92 (0,40; 9,15)	2234,22 * (11,35; 439962,1)	2,35 (0,62; 8,94)
	T1 (Referenz)	1,71 (0,91; 3,23)	0,28 (0,01; 10,21)	23,93 ** (3,56; 152,23)	5459,58 * (16,53; 1802824)	509,77 ** (39,66; 6522,06)
Geschlecht (Referenz)	männlich	0,66 (0,34; 1,29)	0,55 (0,02; 15,94)	4,16 (0,78; 23,32)	6,55 (0,41; 105,77)	2,54 (0,65; 10,02)
	weiblich (Referenz)	0,93 (0,46; 1,85)	1,67 (0,04; 69,99)	1,10 (0,20; 6,14)	14,46 (0,61; 343,72)	3,44 (0,78; 15,26)
Engstand (Referenz)	< 3 mm	0,46 (0,16; 1,32)	0,49 (0,01; 42,03)	0,68 (0,05; 8,95)	77,98 (0,78; 8482,21)	5,53 (0,68; 44,92)
	3 – 5 mm	0,98 (0,14; 6,78)	1,50x10 ¹³ (0; nicht schätzbar)	0,004 * (0,0002; 0,95)	0,24 (0,47; 186379,3)	24,32 (0,40; 1475,36)
	> 5 mm					

Non-Ex: Kontrollgruppe; Ex: Extraktionsgruppe; Zeit: untersuchter Zeitraum; T1: vor kieferorthopädischer Behandlung; T2: nach kieferorthopädischem Lückenschluss; OR: odds ratio; 95 % CI: 95 %-Konfidenzintervall; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,001$

59 % der untersuchten Patient:innen der Extraktionsgruppe und 94,6 % der Patient:innen der Kontrollgruppe konnten für einen Zeitraum von $23 \pm 13,1$ Monaten bis zum Zeitpunkt der Eruption oder der finalen Prognose der M3 nachverfolgt werden. Bei 65,2 % der nachbeobachteten Patient:innen der Extraktionsgruppe fand ein spontaner Durchbruch der M3 statt, 21,7 % bedurften einer kieferorthopädischen Optimierung der Position der M3 und bei 13,1 % der Patient:innen war eine chirurgische Freilegung der M3 im Unterkiefer notwendig. Bei nur 5,7 % der Patient:innen, die ohne Extraktion behandelt wurden, trat innerhalb des Untersuchungszeitraums ein spontaner Durchbruch der M3 auf. 94,3 % der nachuntersuchten Patient:innen der Kontrollgruppe wurden zur chirurgischen Entfernung der M3 überwiesen.

4. Diskussion

4.1 Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse

Die vorliegende retrospektive Studie hat gezeigt, dass die Extraktion von M1 einen begünstigenden Effekt auf die Angulation und horizontale Position der M2 und M3 im Oberkiefer hat. Im Gegensatz dazu waren die Angulationsveränderungen der M2 und M3 im Unterkiefer zwischen der Extraktions- und Kontrollgruppe nicht signifikant unterschiedlich. Dennoch zeigten die M3 eine etwas stärkere Aufrichtung und deutliche Verbesserung der horizontalen Position nach Extraktion der M1 mit anschließendem kieferorthopädischem Lückenschluss. In Bezug auf die vertikale Position der M3 gab es weder im Ober- noch im Unterkiefer einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten (T1, T2).

4.2 Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass der Einfluss des kieferorthopädischen Lückenschlusses nach Extraktion der M1 auf die Durchbruchwahrscheinlichkeit der M3 in die Mundhöhle im Oberkiefer größer ist als im Unterkiefer. Die Entscheidung zur Extraktion oder Erhaltung kompromittierter M1 sollte bedacht und interdisziplinär getroffen werden. Eine vorzeitige Diagnose von MIH betroffener Zähne ist essenziell, um eine optimale Versorgung und somit auch langfristige Erhaltungswürdigkeit zu gewährleisten (8, 9). Bei der Entscheidung zu einer Extraktion der M1 sollte eine Abwägung und Aufklärung bezüglich Dauer der kieferorthopädischen Behandlung, mögliche Auswirkungen auf das Weichteilprofil und die okklusalen Verhältnisse sowie zur möglicherweise erforderlichen chirurgischen und kieferorthopädischen Intervention zur Einordnung der M3 erfolgen. Eine Ausgleichsextraktion gesunder M1 wird im Hinblick auf symmetrische Zahnbögen und ein okklusales Gleichgewicht empfohlen (62). Eine einseitige Extraktion von M1 erfordert eine besonders sorgfältige kieferorthopädische Behandlungsplanung in Bezug auf die Verankerung, um eine Mittellinienverschiebung zur Extraktionsseite zu vermeiden (63). Die einseitige, asymmetrische Extraktion von M1 scheint aber eine geringere Auswirkung auf das Profil der Patient:innen zu haben als eine symmetrische (64).

In der vorliegenden Studie wurden sowohl Patient:innen mit symmetrischer als auch asymmetrischer M1-Extraktion im Ober- und Unterkiefer untersucht. Die Angulations- und

Positionsveränderungen waren nicht signifikant unterschiedlich. Dennoch zeigte sich im Vergleich zur symmetrischen Extraktion eine stärkere Aufrichtung der M3 in den Quadranten, in denen die einseitige Extraktion der M1 stattfand (Tabellen 2 und 3). Hinsichtlich der vertikalen Positionsveränderung ließ sich kein Unterschied zwischen den Gruppen zu T1 und T2 feststellen (Abb. 6). Die in anderen Studien ermittelte Beschleunigung der Entwicklung der M3 nach Extraktion der M1 (65), konnte nicht nachgewiesen werden. Die horizontale Position der M3 in beiden Kiefern gibt Rückschlüsse auf das Ausmaß des zur Verfügung stehenden Eruptionsraums. Während der Pubertät vergrößert sich der retromolare Bereich bei nicht kieferorthopädisch behandelten Personen im Schnitt um 1,38 mm pro Jahr (66). Eine Verbesserung der horizontalen Position ist vermutlich nicht allein der Extraktion bleibender Zähne und dem anschließenden Lückenschluss zuzuschreiben. Jedoch zeigte sich in der vorliegenden Untersuchung ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt T2, mit einer deutlichen Optimierung der horizontalen Position in der Extraktionsgruppe (Abb. 6).

Die dafür angewandten Klassifikationen (Archer, Winter sowie Pell & Gregory) wurden ursprünglich für eine Beurteilung möglicher Komplikationen und der Erreichbarkeit bei der chirurgischen Entfernung der M3 entwickelt. Dennoch konnte von Badawi et al. gezeigt werden, dass die vertikale Position und die Inklination der M3 in Relation zu den benachbarten M2 eine Vorhersage der Durchbruchswahrscheinlichkeit zulassen (67). Auch andere Studien haben diese Klassifikationen zur Beurteilung der Durchbruchprognose der M3 angewandt (48, 68-70). Außerdem wurde eine gute Reproduzierbarkeit der Klassifikationen nach Winter sowie Pell & Gregory festgestellt (71, 72). Jedoch kann selbst nach vorheriger Empfehlung von Experten zur Extraktion der M3 noch ein spontaner Durchbruch erfolgen (73).

59 % der untersuchten Patient:innen der Extraktionsgruppe konnten über einen Zeitraum von $24,0 \pm 10,3$ Monaten nachverfolgt werden. Bei 65,2 % dieser Patient:innen brachen die M3 spontan durch. Das Durchschnittsalter der Patient:innen zu T2 lag bei 16,2 Jahren (Spannweite 14,4 – 18,0 Jahre). Die M3 zeigen eine hohe Varianz bezüglich ihres Durchbruchzeitpunktes (56, 74). Daher bleibt es unklar, ob bei einem Teil der Patient:innen ein Durchbruch der M3 zu einem späteren Zeitpunkt zwischenzeitlich stattgefunden hat. Es zeigt jedoch im Verhältnis zur Kontrollgruppe, in der 94,3 % der nachuntersuchten Patient:innen (94,6 %) zur chirurgischen Entfernung der M3 überwiesen wurden, dass es eine Tendenz zu einer günstigeren Position und Durchbruchswahrscheinlichkeit der M3 gibt.

4.3 Einbettung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand

Die Auswirkungen einer Extraktion bleibender Zähne im Zuge einer kieferorthopädischen Behandlung auf die Position und Durchbruchprognose der M3 wurden bereits in anderen Studien untersucht. Die Zähne, die am häufigsten im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung entfernt werden, sind die ersten Prämolaren (75, 76). Es ist strittig, ob die Extraktion von Prämolaren einen signifikanten Einfluss auf die Position und Angulation der M3 und folglich auf deren Durchbruchswahrscheinlichkeit hat. Einige Untersuchungen stellten eine Verbesserung der Angulation und Position der M3 im Oberkiefer nach Prämolaren-Extraktion fest (53, 54), andere bestätigen diese Ergebnisse nicht (68, 77-79). Auch die Auswirkungen der Extraktion von Prämolaren auf die M3 im Unterkiefer sind teilweise widersprüchlich (54, 77). Gründe hierfür können unter anderem das unterschiedliche Ausmaß des Engstands, des notwendigen Platzbedarfs oder der vorhandenen Zahn- und Kieferfehlstellung sein. Ebenso wurde gezeigt, dass die Auswirkungen auf die Entwicklung der M3 umso größer sind je näher der Ort der Extraktion liegt (30, 38, 80, 81). Entsprechend hat die Extraktion der M2 den größten Einfluss auf die Entwicklung der M3 sowie auf deren Angulation, Position und Durchbruchswahrscheinlichkeit (30, 82-87). Da die M2 aber zu einem späteren Zeitpunkt in die Mundhöhle durchbrechen und seltener durch Karies oder MIH kompromittiert sind, besteht selten die Indikation zur Entfernung dieser Zähne.

Die M1 stellen, insbesondere bei einer reduzierten Langzeitprognose, eine Alternative zur Extraktion von Prämolaren im Zuge einer kieferorthopädischen Behandlung dar. Die Auswirkungen eines vorzeitigen Verlusts oder der geplanten Extraktion der M1 wurden bereits untersucht (28-36, 65, 80, 88-93). Der Zeitpunkt der Extraktion der M1 hat einen entscheidenden Einfluss auf die weitere Entwicklung der M2 und M3 und folglich auf die Wahrscheinlichkeit eines spontanen Lückenschlusses mit einer günstigeren Prognose im Oberkiefer (33, 35-37, 94). Ein früher Extraktionszeitpunkt der M1 in Abhängigkeit von der Entwicklung und vor Durchbruch der M2 wird diesbezüglich angeraten (35-37). Das kann allerdings auch zur einer Kippung der M2 im Unterkiefer führen (32). Eine Extraktion der M1 im Unterkiefer zwischen dem 8. und 11,5. Lebensjahr wird als Zeitraum empfohlen (62, 95). Dennoch sind sorgfältige Abwägung und Bewertung der individuellen (Zahn-)Entwicklung für jede einzelne Patient:in unerlässlich (96).

Das Entfernen der oberen M1 anlässlich einer kieferorthopädischen Therapie bei Patient:innen mit Angle-Klasse II,1 wurde als Alternative zur Extraktion von Prämolaren beschrieben mit einer geringeren Auswirkung auf das Weichteilprofil (97) und einem positiven Einfluss auf die Position und Angulation der M2 und M3 im Oberkiefer (89-91). Im Vergleich hat der kieferorthopädische Lückenschluss nach M1 Extraktion einen größeren Einfluss auf die Durchbruchswahrscheinlichkeit der M3 im Oberkiefer (29). Auch im Unterkiefer wurde eine Verbesserung der Angulation der M3 und des verfügbaren Eruptionsraums festgestellt (32, 92). Allerdings haben mesial angulierte M3 eine schlechtere Durchbruchswahrscheinlichkeit (47, 98). Patient:innen mit einem vertikalen Wachstumsmuster haben ein bis zu zweifach höheres Risiko einer Impaktion der M3 (49-51). Eine geringe Gesamtlänge des Unterkiefers und ein reduziertes retromolares Platzangebot können ebenso im Zusammenhang mit einer ungünstigen Prognose für die Durchbruchswahrscheinlichkeit der M3 stehen (47, 99).

In der vorliegenden Studie gab es einen größeren Anteil an Patient:innen mit vertikalem (dolichofazialen) Wachstumsmuster in der Extraktionsgruppe. Außerdem waren die unteren M3 der Patient:innen der Extraktionsgruppe zu T1 häufiger stark nach mesial anguliert. Die M3 haben sich in der Extraktionsgruppe im Mittel stärker aufgerichtet als in der Kontrollgruppe, jedoch nicht signifikant unterschiedlich. Die beiden genannten Gründe könnten mit ursächlich für die fehlende Signifikanz sein.

Im Oberkiefer zeigte die vorliegende Untersuchung vergleichbare Ergebnisse zu anderen bereits genannten Studien (29, 89-91). Es zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Angulation und Position der M3 in der Extraktionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe zu T2.

4.4 Stärken und Schwächen der Studie

In der aktuellen Studie wurden ausschließlich Panoramaschichtaufnahmen zur Messung und Beurteilung der Angulationen der M2 und M3 verwendet. Die zweidimensionale Darstellung einer dreidimensionalen Situation führt zu Verzerrung und Vergrößerung (100). Außerdem wurden die Patient:innen in unterschiedlichen Praxen zu unterschiedlichen Zeitpunkten geröntgt, was zu verschiedenen Einstellungen der Patient:innen im Röntgengerät führen kann. Daher wurden keine linearen Messungen durchgeführt, sondern aus-

schließlich Angulationen bestimmt sowie kategorische Klassifikationssysteme angewandt (101). Aufgrund der Überlagerung anatomischer Strukturen und möglicher unterschiedlicher Vergrößerungen durch verschiedene Geräte der partizipierenden Praxen wurde darauf verzichtet, Fernröntgenseitenbilder zur Evaluation des retromolaren Platzangebots zu verwenden (102, 103). Gleichwohl bleibt festzuhalten, dass eine PSA nicht die Möglichkeit einer Beurteilung der Position von Zähnen in allen Ebenen bietet, vor allem im Hinblick auf deren Lage in vestibulo-oraler Richtung.

Als Referenzebenen zur Messung der Winkel wurden die IOP und PP herangezogen, die auch in früheren Untersuchungen eingesetzt wurden (53-55). Diese Ebenen beruhen auf skelettalen Strukturen und sind gut auf Panoramaschichtaufnahmen zu bestimmen. Außerdem sind die IOP und PP beständiger (104) als die Okklusionsebene, die sich durch Wachstum verändert und durch die kieferorthopädische Therapie modifiziert wird (105, 106). Patient:innen mit offensichtlichen Asymmetrien wurden von der Untersuchung ausgeschlossen. Nichtsdestotrotz kann es zu leichten Höhenunterschieden des linken und rechten Infraorbitalpunktes kommen, unter anderem bedingt durch die Kopfhaltung im Röntgengerät. Dies könnte die Winkelmessungen beeinflussen. Um die Messvalidität zu erhöhen, wurden sowohl die IOP als auch die PP als Referenzebenen herangezogen und zusätzlich die Intra- und Inter-Rater-Reliabilität getestet. Diese zeigten eine hervorragende Zuverlässigkeit für die Winkelmessungen (Tabellen 5-8).

Die untersuchte Gruppe der Patient:innen war insgesamt relativ klein. Eine größere Anzahl an Patient:innen hätte die Ergebnisse und deren Wichtigkeit gestärkt. Dennoch waren die Ergebnisse signifikant. Außerdem konnte trotz des retrospektiven Charakters der Studie eine gleichmäßige Verteilung der Patient:innen im Hinblick auf die untersuchten Charakteristika sichergestellt werden. Lediglich ein etwas größerer Anteil an Patient:innen mit einem vertikalen (dolichofazialen) Wachstumsmuster wurde innerhalb der Extraktionsgruppe beobachtet. Das kann im Zusammenhang mit der Entscheidung zugunsten der Extraktion der M1 stehen.

Auch hinsichtlich des Alters der Patient:innen zu T1 und T2 gab es keinen signifikanten Unterschied. Die Röntgenbilder wurden allerdings zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen und die kieferorthopädische Behandlungsdauer war in der Extraktionsgruppe signifikant länger (Tabelle 1, $p < 0,001$). Dies könnte potenziell Einfluss auf die Entwicklung der M3 und folglich auf deren vertikale Position haben. Außerdem soll die Extraktion der M1 zusätzlich einen beschleunigenden Effekt auf die Entwicklung der M2 und M3

haben (29, 30, 32, 38). Dennoch konnte zu beiden Untersuchungszeitpunkten kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf die vertikale Position der M3 im Oberkiefer (vertikale Klassifikation nach Archer (Abb. 3)) und im Unterkiefer (PGV (Abb. 5)) festgestellt werden ($p > 0,05$, Abb. 6). Ebenso gab es zu T2 keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,12$) der Kronen- und Wurzelformation der M3 hinsichtlich der Klassifikation nach Demirjian et al. (52). Demnach scheint die zeitliche Differenz bei dem Erstellen der Röntgenbilder hinsichtlich der vertikalen Entwicklung der M3 vernachlässigbar zu sein.

Zeit und die Extraktion der M1 wurden als relevante Faktoren für die horizontale Position der M3 im Unterkiefer (PGH (Abb. 5), Tabelle 9) ausgemacht. Wie bereits erwähnt, vergrößert sich der retromolare Bereich während der Pubertät bei Patient:innen ohne kieferorthopädische Behandlung im Schnitt um 1,38 mm pro Jahr (66). Welchen Anteil die genannten Faktoren, nämlich die Extraktion der M1 und die Zeit, auf das Ergebnis in dieser Untersuchung haben, lässt sich nicht abschließend klären. Dafür war auch der Zeitraum, in dem die Patient:innen röntgenologisch reevaluiert wurden (T1-T2) zu kurz.

Es ist bekannt, dass es im Zuge eines kieferorthopädischen Lückenschlusses zur Kippung der Zähne, die benachbart zum Extraktionsort stehen, kommen kann (63, 107). Die Beurteilung der Winkel, insbesondere der M2, sollte unter diesem Aspekt betrachtet werden.

Die Art der kieferorthopädischen Verankerung hat Einfluss auf den Anteil der Bewegung der M2 nach mesial und dementsprechend darauf, inwieweit der durch die Extraktion entstehende Platz, durch eine Bewegung der M2 nach mesial oder durch eine Bewegung der Prämolaren und Frontzähne nach distal aufgebraucht wird. Dies ist auch abhängig von dem Ausmaß des vorhandenen Engstands und der Zahn- und Kieferfehlstellung. Da der Anteil der Patient:innen, die mit skelettaler Verankerung behandelt wurden zu gering war um eine separate Auswertung und ein statistisch relevantes Ergebnis zu erzielen, lassen sich die Erkenntnisse in diesem Punkt nicht differenzieren.

Ein Teil der Patient:innen konnte auch nach T2 nachverfolgt werden. Dies gibt Aufschluss über den weiteren Verlauf und den Durchbruchweg der M3 in beiden Gruppen und zeigt trotz des relativ jungen Alters der Patient:innen eine klare Tendenz zu einer günstigeren Position und Durchbruchprognose der M3 nach Extraktion der M1.

4.5 Implikationen für Praxis und zukünftige Forschung

Die Aufklärung von Patient:innen und Angehörigen ist ein wichtiger Teil einer kieferorthopädischen Therapie. Auch die Entscheidung zur Entfernung kompromittierter M1 sollte unter Abwägung verschiedener Faktoren und individuell für jede Patient:in getroffen werden. Bei Patient:innen, bei denen die M1 stark von MIH betroffen sind, können auch die M2 betroffen sein (108). Ebenso sind die Angulation der M2 sowie die röntgenologisch erkennbare Anlage der M3 Aspekte, die in Betracht gezogen werden müssen. Es ist allerdings bekannt, dass die Anlage der M3 auch erst mit dem 14. Lebensjahr röntgenologisch sichtbar werden kann (40). Das kann die Entscheidung zugunsten einer Extraktion der M1 und die Umsetzung zum optimalen Zeitpunkt erschweren.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung können hilfreich beim Aufklären und Sensibilisieren der betroffenen Personen im Hinblick auf den Verlauf und möglicherweise entstehende Probleme bei einer kieferorthopädischen Behandlung mit Extraktion der M1 sein. Über die unter Umständen notwendige chirurgische Freilegung und kieferorthopädischen Einordnung der M3 sollte insbesondere bei mesial angulierten M3 im Unterkiefer informiert werden. Dies kann die Dauer der Behandlung verlängern. Auch andere Komponenten wie eine adäquate Mundhygiene und gegebenenfalls zusätzlich entstehende Kosten bei der Notwendigkeit skelettaler Verankerung sollten in die Therapieentscheidung einbezogen werden.

In dieser Studie wurden die diagnostischen Unterlagen behandelter Patient:innen retrospektiv untersucht. Zukünftige prospektive Untersuchungen könnten zusätzlich Aufschluss hinsichtlich anderer Einflussfaktoren, wie Ausmaß des Engstandes oder Platzbedarfs, Proklination/Protrusion der Frontzähne, dentoalveolärer Mittellinienverschiebung, skelettaler Konfiguration und Art der kieferorthopädischen Verankerung geben. Eine Auswertung der Durchbruchswahrscheinlichkeit der M3 in Abhängigkeit von der vorliegenden Dysgnathie (Angle-Klasse I, II,1, II,2 oder III) und des Schädelaufbaus in der Vertikalen würden eine individuellere Beurteilung und Vorhersage ermöglichen.

Auch eine Analyse der Lage der M2 und M3 in allen Ebenen könnte aufschlussreich sein. Das Verwenden dreidimensionaler Röntgenbilder (Computertomografie, digitale Volumetomografie) sollte in Betracht gezogen werden. Dennoch werden diese Röntgenbilder aufgrund der erhöhten Strahlenbelastung noch nicht standardisiert angefertigt (109). In der vorliegenden Untersuchung wurden Panoramaschichtaufnahmen zum Bestimmen der Angulation und Position der M2 und M3 verwendet. Dies lässt ein Beurteilen des

Ausmaßes des von distal oder von mesial erfolgten Lückenschlusses nicht zu. Das Überlagern digitaler Modelle (Scans/STL-Dateien) mit den jeweiligen Fernröntgenseitenbildern könnte in der Hinsicht aufschlussreich sein.

Zukünftige Forschung sollte auch eine Unterscheidung bezüglich nicht durchgebrochener beziehungsweise bereits durchgebrochener M2 vornehmen. Dies würde helfen die Frage zu beantworten, ob die Extraktion der M1 nur in der frühen Phase der Entwicklung einen Einfluss auf M2 und M3 hat, oder ob sie sich zu jedem Zeitpunkt auf die Positionierung der M2 und M3 auswirkt. Ebenso könnte es sinnvoll sein, M3 in Abhängigkeit ihrer Angulation zu unterscheiden. So ließe sich feststellen, ob ein nach mesial oder nach distal angulierter M3 ein größeres oder geringeres Potenzial zur Positionsverbesserung hat. Die Grundlage für diese Implikationen müsste eine große und vielseitige Zahl an Patient:innen sein. Auch ein längerer Nachbeobachtungszeitraum könnte eine genauere Vorhersage über die Positionierung und den Eruptionsweg der M3 nach Extraktion der M1 ermöglichen.

5. Schlussfolgerungen

Ziel dieser retrospektiven Untersuchung war es, die Auswirkungen der Extraktion der M1 in Verbindung mit einem kieferorthopädischen Lückenschluss auf die Position der M3 bei heranwachsenden Patient:innen zu analysieren.

Es wurde ein positiver Einfluss auf die Angulation der M3 im Oberkiefer beobachtet, während sich die Angulation im Unterkiefer im Vergleich zu Patient:innen, die ohne Extraktion der M1 kieferorthopädisch behandelt wurden, kaum verbesserte.

Die horizontale Position der M3 entwickelte sich in beiden Kiefern zugunsten einer Verbesserung des zur Verfügung stehenden retromolaren Platzangebots, wohingegen kein Einfluss auf die vertikale Position der M3 nach Extraktion der M1 festgestellt werden konnte.

Andere Faktoren wie ein geringer anteriorer Engstand und das Geschlecht der Patient:innen hatten keine Relevanz hinsichtlich der untersuchten Positionierung der M3.

Patient:innen mit kompromittierten M1 benötigen eine individuelle und interdisziplinäre Behandlungsplanung, bei der Faktoren wie Langzeitprognose der M1, Durchbruchprognose der M3 und möglicherweise entstehende Komplikationen abgewogen werden sollten.

Diese Ergebnisse sollten in Anbetracht des retrospektiven Charakters sorgfältig reflektiert werden. Weitere prospektive Untersuchungen sind notwendig, um genauere Einblicke in dieses wichtige, aber komplexe Thema zu geben.

Literaturverzeichnis

1. World Health Organization. Oral health - Achieving better oral health as part of the universal health coverage and noncommunicable disease agendas towards 2030. 2020 [1-6]. Available from: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB148/B148_8-en.pdf.
2. Kassebaum NJ, Bernabé E, Dahiya M, Bhandari B, Murray CJ, Marcenes W. Global burden of untreated caries: a systematic review and metaregression. *J Dent Res*. 2015;94(5):650-8.
3. Broadbent JM, Foster Page LA, Thomson WM, Poulton R. Permanent dentition caries through the first half of life. *Br Dent J*. 2013;215(7):12.
4. Demirci M, Tuncer S, Yuceokur AA. Prevalence of caries on individual tooth surfaces and its distribution by age and gender in university clinic patients. *Eur J Dent*. 2010;4(3):270-9.
5. Jordan RA, Krois J, Schiffner U, Micheelis W, Schwendicke F. Trends in caries experience in the permanent dentition in Germany 1997-2014, and projection to 2030: morbidity shifts in an aging society. *Sci Rep*. 2019;9(1):5534.
6. Kühnisch J, Heitmüller D, Thiering E, Brockow I, Hoffmann U, Neumann C, Heinrich-Weltzien R, Bauer CP, von Berg A, Koletzko S, Garcia-Godoy F, Hickel R, Heinrich J. Proportion and extent of manifestation of molar-incisor-hypomineralizations according to different phenotypes. *J Public Health Dent*. 2014;74(1):42-9.
7. Jälevik B. Prevalence and diagnosis of molar-incisor-hypomineralisation (MIH): a systematic review. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2010;11(2):59-64.
8. Elhennawy K, Schwendicke F. Managing molar-incisor-hypomineralization: a systematic review. *J Dent*. 2016;55:16-24.
9. Garg N, Jain AK, Saha S, Singh J. Essentiality of early diagnosis of molar incisor hypomineralization in children and review of its clinical presentation, etiology and management. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2012;5(3):190-6.
10. Weerheijm KL, Jälevik B, Alaluusua S. Molar-incisor hypomineralisation. *Caries Res*. 2001;35(5):390-1.
11. Cabral RN, Nyvad B, Soviero VLVM, Freitas E, Leal SC. Reliability and validity of a new classification of MIH based on severity. *Clin Oral Investig*. 2020;24(2):727-34.
12. Steffen R, Krämer N, Bekes K. The Würzburg MIH concept: the MIH treatment need index (MIH TNI). *Eur Arch Paediatr Dent*. 2017;18(5):355-61.
13. Mathu-Muju K, Wright JT. Diagnosis and treatment of molar incisor hypomineralization. *Compend Contin Educ Dent*. 2006;27(11):604-10.
14. Oliver K, Messer LB, Manton DJ, Kan K, Ng F, Olsen C, Sheahan J, Silva M, Chawla N. Distribution and severity of molar hypomineralisation: trial of a new severity index. *Int J Paediatr Dent*. 2014;24(2):131-51.
15. Weerheijm KL, Duggal M, Mejåre I, Papagiannoulis L, Koch G, Martens LC, Hallonsten AL. Judgement criteria for molar incisor hypomineralisation (MIH) in epidemiologic studies: a summary of the European meeting on MIH held in Athens, 2003. *Eur J Paediatr Dent*. 2003;4(3):110-3.
16. Lygidakis NA, Wong F, Jälevik B, Vierrou AM, Alaluusua S, Espelid I. Best clinical practice guidance for clinicians dealing with children presenting with molar-incisor-hypomineralisation (MIH): an EAPD policy document. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2010;11(2):75-81.
17. Jälevik B, Norén JG. Enamel hypomineralization of permanent first molars: a morphological study and survey of possible aetiological factors. *Int J Paediatr Dent*. 2000;10(4):278-89.

18. Jälevik B, Odellius H, Dietz W, Noren J. Secondary ion mass spectrometry and X-ray microanalysis of hypomineralized enamel in human permanent first molars. *Arch Oral Biol.* 2001;46(3):239-47.
19. Crombie FA, Manton DJ, Palamara JE, Zalizniak I, Cochrane NJ, Reynolds EC. Characterisation of developmentally hypomineralised human enamel. *J Dent.* 2013;41(7):611-8.
20. Dulla JA, Meyer-Lueckel H. Molar-incisor hypomineralisation: narrative review on etiology, epidemiology, diagnostics and treatment decision. *Swiss Dent J.* 2021;131(11).
21. Seow WK. Developmental defects of enamel and dentine: challenges for basic science research and clinical management. *Aust Dent J.* 2014;59 Suppl 1:143-54.
22. Crombie F, Manton D, Kilpatrick N. Aetiology of molar-incisor hypomineralization: a critical review. *Int J Paediatr Dent.* 2009;19(2):73-83.
23. Silva MJ, Scurrah KJ, Craig JM, Manton DJ, Kilpatrick N. Etiology of molar incisor hypomineralization - a systematic review. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2016;44(4):342-53.
24. Garot E, Rouas P, Somani C, Taylor GD, Wong F, Lygidakis NA. An update of the aetiological factors involved in molar incisor hypomineralisation (MIH): a systematic review and meta-analysis. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2022;23(1):23-38.
25. Alaluusua S. Aetiology of molar-incisor hypomineralisation: a systematic review. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2010;11(2):53-8.
26. Elhennawy K, Jost-Brinkmann PG, Manton DJ, Paris S, Schwendicke F. Managing molars with severe molar-incisor hypomineralization: a cost-effectiveness analysis within German healthcare. *J Dent.* 2017;63:65-71.
27. Sanghvi R, Cant A, de Almeida Neves A, Hosey MT, Banerjee A, Pennington M. Should compromised first permanent molar teeth in children be routinely removed? A health economics analysis. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2022;00:1-12.
28. Saber AM, Altoukhi DH, Horaib MF, El-Housseiny AA, Alamoudi NM, Sabbagh HJ. Consequences of early extraction of compromised first permanent molar: a systematic review. *Bmc Oral Health.* 2018;18:59.
29. Bayram M, Özer M, Arici S. Effects of first molar extraction on third molar angulation and eruption space. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;107(2):14-20.
30. Yavuz I, Baydas B, Ikbali A, Dagsuyu IM, Ceylan I. Effects of early loss of permanent first molars on the development of third molars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130(5):634-8.
31. Caglaroglu M, Kilic N, Erdem A. Effects of early unilateral first molar extraction on skeletal asymmetry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134(2):270-5.
32. Ay S, Agar U, Bicakci AA, Kosger HH. Changes in mandibular third molar angle and position after unilateral mandibular first molar extraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129(1):36-41.
33. Jälevik B, Möller M. Evaluation of spontaneous space closure and development of permanent dentition after extraction of hypomineralized permanent first molars. *Int J Paediatr Dent.* 2007;17(5):328-35.
34. Brusevold IJ, Kleivene K, Grimsøen B, Skaare AB. Extraction of first permanent molars severely affected by molar incisor hypomineralisation: a retrospective audit. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2022;23(1):89-95.
35. Teo TK, Ashley PF, Parekh S, Noar J. The evaluation of spontaneous space closure after the extraction of first permanent molars. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2013;14(4):207-12.

36. Teo TK, Ashley PF, Derrick D. Lower first permanent molars: developing better predictors of spontaneous space closure. *Eur J Orthod.* 2016;38(1):90-5.
37. Patel S, Ashley P, Noar J. Radiographic prognostic factors determining spontaneous space closure after loss of the permanent first molar. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151(4):718-26.
38. Richardson ME, Dent M. Some aspects of lower third molar eruption. *Angle Orthod.* 1974;44(2):141-5.
39. Hattab FN, Alhajja ES. Radiographic evaluation of mandibular third molar eruption space. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999;88(3):285-91.
40. Liversidge HM. Timing of human mandibular third molar formation. *Ann Hum Biol.* 2008;35(3):294-321.
41. Bishara SE, Andreasen G. Third molars: a review. *Am J Orthod.* 1983;83(2):131-7.
42. Dachi SF, Howell FV. A survey of 3,874 routine full-mouth radiographs. I. A study of retained roots and teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1961;14:916-24.
43. Carter K, Worthington S. Predictors of third molar impaction: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res.* 2016;95(3):267-76.
44. van der Linden W, Cleaton-Jones P, Lownie M. Diseases and lesions associated with third molars. Review of 1001 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995;79(2):142-5.
45. Song F, O'Meara S, Wilson P, Golder S, Kleijnen J. The effectiveness and cost-effectiveness of prophylactic removal of wisdom teeth. *Health Technol Assess.* 2000;4(15):1-55.
46. Mercier P, Precious D. Risks and benefits of removal of impacted third molars. A critical review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1992;21(1):17-27.
47. Capelli J, Jr. Mandibular growth and third molar impaction in extraction cases. *Angle Orthod.* 1991;61(3):223-9.
48. Demirel O, Akbulut A. Evaluation of the relationship between gonial angle and impacted mandibular third molar teeth. *Anat Sci Int.* 2020;95(1):134-42.
49. Barone S, Antonelli A, Averta F, Diodati F, Muraca D, Bennardo F, Giudice A. Does mandibular gonial angle influence the eruption pattern of the lower third molar? A three-dimensional study. *J Clin Med.* 2021;10(18):4057.
50. Breik O, Grubor D. The incidence of mandibular third molar impactions in different skeletal face types. *Aust Dent J.* 2008;53(4):320-4.
51. Tassoker M, Kok H, Sener S. Is there a possible association between skeletal face types and third molar impaction? A retrospective radiographic study. *Med Princ Pract.* 2019;28(1):70-4.
52. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum Biol.* 1973;45(2):211-27.
53. Janson G, Putrick LM, Henriques JF, de Freitas MR, Henriques RP. Maxillary third molar position in Class II malocclusions: the effect of treatment with and without maxillary premolar extractions. *Eur J Orthod.* 2006;28(6):573-9.
54. Gohilot A, Pradhan T, Keluskar KM. Effects of first premolar extraction on maxillary and mandibular third molar angulation after orthodontic therapy. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2012;2(2):97-104.
55. Jain S, Valiathan A. Influence of first premolar extraction on mandibular third molar angulation. *Angle Orthod.* 2009;79(6):1143-8.
56. Eelsey MJ, Rock WP. Influence of orthodontic treatment on development of third molars. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2000;38(4):350-3.

57. Archer WH. Oral and Maxillofacial Surgery 5th Edition ed. Philadelphia, USA: Saunders; 1975; pp. 137-142.
58. Winter GB. Principles of exodontia as applied to the impacted third molar. St. Louis, USA: American medical book company; 1926; pp. 42-83.
59. Pell GJ, Gregory GT. Impacted mandibular third molars: classification and modified technique for removal. *The Dental Digest*. 1933;39(9):330-8.
60. Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med*. 2016;15(2):155-63.
61. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159-74.
62. Cobourne MT, Williams A, Harrison M. National clinical guidelines for the extraction of first permanent molars in children. *Br Dent J*. 2014;217(11):643-8.
63. Jacobs C, Jacobs-Müller C, Luley C, Erbe C, Wehrbein H. Orthodontic space closure after first molar extraction without skeletal anchorage. *J Orofac Orthop*. 2011;72(1):51-60.
64. Janson G, Carvalho PE, Cancado RH, de Freitas MR, Henriques JF. Cephalometric evaluation of symmetric and asymmetric extraction treatment for patients with class II subdivision malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;132(1):28-35.
65. Halicioglu K, Toptas O, Akkas I, Celikoglu M. Permanent first molar extraction in adolescents and young adults and its effect on the development of third molar. *Clin Oral Investig*. 2014;18(5):1489-94.
66. Nguyen A, Caplin J, Avenetti D, Durfee S, Kusnoto B, Sciote JJ, Nicholas CL. A longitudinal assessment of sex differences in the growth of the mandibular retromolar space. *Arch Oral Biol*. 2022;143:105547.
67. Badawi Fayad J, Levy JC, Yazbeck C, Cavezian R, Cabanis EA. Eruption of third molars: relationship to inclination of adjacent molars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2004;125(2):200-2.
68. Miclotte A, Grommen B, Cadenas de Llano-Perula M, Verdonck A, Jacobs R, Willems G. The effect of first and second premolar extractions on third molars: a retrospective longitudinal study. *J Dent*. 2017;61:55-66.
69. Vitalyos G, Takacs A, Borbasne KF, Farago-Ladi E, Kolarovszki B, Bartfai D, Frank D. Comparison of the effect of premolar extraction and non-extraction on the position and developmental changes of the lower third molars. *Int Orthod*. 2018;16(3):470-85.
70. Lim AA, Wong CW, Allen JC, Jr. Maxillary third molar: patterns of impaction and their relation to oroantral perforation. *J Oral Maxillofac Surg*. 2012;70(5):1035-9.
71. Lima CJ, Silva LC, Melo MR, Santos JA, Santos TS. Evaluation of the agreement by examiners according to classifications of third molars. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2012;17(2):e281-6.
72. Sukegawa S, Matsuyama T, Tanaka F, Hara T, Yoshii K, Yamashita K, Nakano K, Takabatake K, Kawai H, Nagatsuka H, Furuki Y. Evaluation of multi-task learning in deep learning-based positioning classification of mandibular third molars. *Sci Rep*. 2022;12(1):684.
73. Libdy MR, Rabello NM, Marques LS, Normando D. The ability of orthodontists and maxillofacial surgeons in predicting spontaneous eruption of mandibular third molar using panoramic serial radiographs. *Dental Press J Orthod*. 2020;25(4):68-74.
74. Putul M, Konwar R, Dutta M, Basumatary B, Rajbongshi MC, Thakuria KD, Sarma B. Assessment of age at the stages of the eruption of third molar teeth among the people of North-Eastern India. *Biomed Res Int*. 2021;2021:9714121.

75. Dardengo Cde S, Fernandes LQ, Capelli Junior J. Frequency of orthodontic extraction. *Dental Press J Orthod.* 2016;21(1):54-9.
76. Weintraub JA, Vig PS, Brown C, Kowalski CJ. The prevalence of orthodontic extractions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96(6):462-6.
77. Saysel MY, Meral GD, Kocadereli I, Tasar F. The effects of first premolar extractions on third molar angulations. *Angle Orthod.* 2005;75(5):719-22.
78. Pan F, Yang Z, Wang J, Cai R, Liu J, Zhang C, Liao W. Influence of orthodontic treatment with premolar extraction on the spatial position of maxillary third molars in adult patients: a retrospective cohort cone-beam computed tomography study. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):321.
79. Mang de la Rosa MR, Langer LJ, Kouroupakis-Bakouros F, Jost-Brinkmann PG, Bartzela TN. Angular and positional changes of the maxillary third molars after orthodontic treatment with different premolar extraction patterns. *Angle Orthod.* 2022;93(2):135-43.
80. Plint DA. The effect on the occlusion of the loss of one or more first permanent molars. *Rep Congr Eur Orthod Soc.* 1970:329-36.
81. Richardson ME. The relative effects of the extraction of various teeth on the development of mandibular third molars. *Trans Eur Orthod Soc.* 1975:79-85.
82. Rindler A. Effects on lower third molars after extraction of second molars. *Angle Orthod.* 1977;47(1):55-8.
83. Huggins DG, McBride LJ. The eruption of lower third molars following the loss of lower second molars: a longitudinal cephalometric study. *Br J Orthod.* 1978;5(1):13-20.
84. Hatami A, Dreyer C. The extraction of first, second or third permanent molar teeth and its effect on the dentofacial complex. *Aust Dent J.* 2019;64(4):302-11.
85. Cavanaugh JJ. Third molar changes following second molar extractions. *Angle Orthod.* 1985;55(1):70-6.
86. Bishara SE, Ortho D, Burkey PS. Second molar extractions: a review. *Am J Orthod.* 1986;89(5):415-24.
87. Anderson RH. A review of second molar extractions in orthodontics. *J Gen Orthod.* 1992;3(4):26-7.
88. Ertuğrul C, Özbey H, Gün AI. Early extraction of the first permanent molars: a five-year follow-up study. *Eur J Paediatr Dent.* 2022;23(2):111-5.
89. Livas C, Halazonetis DJ, Booij JW, Katsaros C. Extraction of maxillary first molars improves second and third molar inclinations in class II division 1 malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140(3):377-82.
90. Livas C, Pandis N, Booij JW, Halazonetis DJ, Katsaros C, Ren Y. Influence of unilateral maxillary first molar extraction treatment on second and third molar inclination in class II subdivision patients. *Angle Orthod.* 2016;86(1):94-100.
91. Livas C, Pandis N, Booij JW, Katsaros C, Ren Y. Long-term evaluation of Class II subdivision treatment with unilateral maxillary first molar extraction. *Angle Orthod.* 2015;85(5):757-63.
92. Murphy I, Noar J, Parekh S, Ashley P. The effect of extraction of the lower first permanent molar on the developing third molar in children. *J Orthod.* 2022;49(4):480-7.
93. Sabri R. Multidisciplinary management of permanent first molar extractions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;159(5):682-92.
94. Nordeen KA, Kharouf JG, Mabry TR, Dahlke WO, Beiraghi S, Tasca AW. Radiographic evaluation of permanent second molar substitution after extraction of permanent first molar: identifying predictors for spontaneous space closure. *Pediatr Dent.* 2022;44(2):123-30.

95. Eichenberger M, Erb J, Zwahlen M, Schätzle M. The timing of extraction of non-restorable first permanent molars: a systematic review. *Eur J Paediatr Dent.* 2015;16(4):272-8.
96. Wu M, Chen L, Bawole E, Anthonappa RP, King NM. Is there sufficient evidence to support an optimum time for the extraction of first permanent molars? *Eur Arch Paediatr Dent.* 2017;18(3):155-61.
97. Stalpers MJ, Booij JW, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM, Katsaros C. Extraction of maxillary first permanent molars in patients with class II division 1 malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;132(3):316-23.
98. Behbehani F, Årtun J, Thalib L. Prediction of mandibular third molar impaction in adolescent orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130(1):47-55.
99. Isomura ET, Kurushima Y, Kobashi H, Enoki K, Yamashita M, Ikebe K, Osaka Twin Research G. Factors influencing the localization of mandibular third molars in twins. *J Oral Maxillofac Surg.* 2020;78(8):1279-87.
100. Tronje G, Welander U, McDavid WD, Morris CR. Image distortion in rotational panoramic radiography. IV. Object morphology; outer contours. *Acta Radiol Diagn (Stockh).* 1981;22(6):689-96.
101. Tronje G, Welander U, McDavid WD, Morris CR. Image distortion in rotational panoramic radiography. III. Inclined objects. *Acta Radiol Diagn (Stockh).* 1981;22(5):585-92.
102. Kumar SS, Thailavathy V, Srinivasan D, Loganathan D, Yamini J. Comparison of orthopantomogram and lateral cephalogram for mandibular measurements. *J Pharm Bioallied Sci.* 2017;9(1):92-5.
103. Larheim TA, Svanaes DB. Reproducibility of rotational panoramic radiography: mandibular linear dimensions and angles. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1986;90(1):45-51.
104. Nanda RS, Merrill RM. Cephalometric assessment of sagittal relationship between maxilla and mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;105(4):328-44.
105. Li JL, Kau C, Wang M. Changes of occlusal plane inclination after orthodontic treatment in different dentoskeletal frames. *Prog Orthod.* 2014;15(1):41.
106. Ferrario VF, Sforza C, Colombo A, Ciusa V, Serrao G. Three-dimensional inclination of the dental axes in healthy permanent dentitions – a cross-sectional study in a normal population. *Angle Orthod.* 2001;71(4):257-64.
107. Chen K, Han X, Huang L, Bai D. Tooth movement after orthodontic treatment with 4 second premolar extractions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;138(6):770-7.
108. de Farias AL, Rojas-Gualdrón DF, Giroto Bussaneli D, Santos-Pinto L, Mejía JD, Restrepo M. Does molar-incisor hypomineralization (MIH) affect only permanent first molars and incisors? New observations on permanent second molars. *Int J Paediatr Dent.* 2022;32(1):1-10.
109. De Grauwe A, Ayaz I, Shujaat S, Dimitrov S, Gbadegbegnon L, Vande Vannet B, Jacobs R. CBCT in orthodontics: a systematic review on justification of CBCT in a paediatric population prior to orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 2019;41(4):381-9.

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Lisa Josefine Langer, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Angulations- und Positonsänderungen sowie Durchbruchprognose der dritten Molaren bei kieferorthopädisch behandelten Patient:innen nach Extraktionstherapie der ersten Molaren. / Angulation and positional changes and prediction of third molar eruption in orthodontically treated patients with first permanent molar extraction.“ 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 Autor:innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Grafiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der unten stehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Erstbetreuer angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

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

Datum

Unterschrift

Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Lisa Josefine Langer hatte folgenden Anteil an der Publikation:

Langer LJ, Pandis N, Mang de la Rosa MR, Jost-Brinkmann P-G, Bartzela TN, Eruption pattern of third molars in orthodontic patients treated with first permanent molar extraction: a longitudinal retrospective evaluation, Journal of Clinical Medicine (J. Clin. Med. 2023;12(3):1060)

Beitrag im Einzelnen: Die Promovendin hat die Studie ab der Konzeption begleitet. Die Fragestellung sowie die Methodik wurden zu Beginn der Untersuchung in Zusammenarbeit mit den Co-Autor:innen weiterentwickelt und präzisiert. Alle Messungen und Auswertungen der Röntgenbilder sowie der Patient:innenunterlagen und deren Dokumentation wurden von Lisa Josefine Langer selbstständig durchgeführt. Der Hauptteil des untersuchten Patient:innenkollektivs wurde von Lisa Josefine Langer zusammengestellt. Die statistische Auswertung wurde in Zusammenarbeit von Lisa Josefine Langer mit Herrn Prof. Dr. Pandis umgesetzt. Alle dafür notwendigen Daten wurden von Lisa Josefine Langer erhoben. Der schriftliche Beitrag, einschließlich aller Abbildungen und Tabellen sowie die Einreichung und Revision des Manuskripts wurden alleinig durch Lisa Josefine Langer erstellt. Korrigierend, unterstützend und beratend waren Frau Maria Mang de la Rosa, Frau Prof. Dr. Dr. Bartzela, Herr Prof. Dr. Pandis und Herr Prof. Dr. Jost-Brinkmann tätig.

Unterschrift, Datum und Stempel des erstbetreuenden Hochschullehrers



Unterschrift der Doktorandin

Druckexemplar der Publikation



Article

Eruption Pattern of Third Molars in Orthodontic Patients Treated with First Permanent Molar Extraction: A Longitudinal Retrospective Evaluation

Lisa J. Langer¹, Nikolaos Pandis², Maria R. Mang de la Rosa¹, Paul-Georg Jost-Brinkmann¹  and Theodosia N. Bartzela^{1,3,*} 

- ¹ Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Charité–Universitätsmedizin Berlin, Corporate Member of Freie Universität Berlin and Humboldt-Universität zu Berlin, 14197 Berlin, Germany
- ² Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Dental School/Medical Faculty, University of Bern, 3012 Bern, Switzerland
- ³ Department of Orthodontics, Faculty of Medicine Carl Gustav Carus, Technische Universität Dresden, 01307 Dresden, Germany
- * Correspondence: theodosia.bartzela@uniklinikum-dresden.de

Abstract: The aim of this study was to evaluate angular and positional changes in the second (M2) and third molars (M3) of orthodontically treated patients undergoing a first molar (M1) extraction. A retrospective longitudinal study with a sample of 152 pre- and post-treatment panoramic radiographs was conducted. Thirty-nine patients (51.3%) were orthodontically treated with M1 extraction and thirty-seven (48.7%) were treated without extraction. Angulations of M2 and M3 relative to the infraorbital (IOP) and the palatal planes (PP) were measured and compared between the groups before orthodontic treatment (T1) and after the completion of orthodontic space closure (T2). The prognosis of M3 eruptions was evaluated by assessing their horizontal and vertical position (inclination) using different classification systems. The angular ($p < 0.001$) and inclination improvement ($p < 0.01$) of the maxillary M3 was significant for the M1 extraction group. The mandibular M3 inclination significantly improved ($p < 0.01$), whereas the groups' angulation and vertical position were not significantly different. These findings suggest that extraction therapy has a favorable effect on the maxillary M2 and M3 angulation, but not on the mandibular. M1 extraction showed a significant effect on the horizontal position of M3 and thus may improve the eruption space and prognosis.

Keywords: first permanent molars; extraction therapy; orthodontics; third molars; eruption prognosis



Citation: Langer, L.J.; Pandis, N.; Mang de la Rosa, M.R.; Jost-Brinkmann, P.-G.; Bartzela, T.N. Eruption Pattern of Third Molars in Orthodontic Patients Treated with First Permanent Molar Extraction: A Longitudinal Retrospective Evaluation. *J. Clin. Med.* **2023**, *12*, 1060. <https://doi.org/10.3390/jcm12031060>

Academic Editor: Peter Proff

Received: 25 December 2022

Revised: 22 January 2023

Accepted: 24 January 2023

Published: 30 January 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Treating young patients with deep carious lesions in permanent first molars (M1) or molar-incisor hypomineralization (MIH) is challenging for dentists and orthodontists alike. The prevalence of MIH has risen dramatically over the recent years, up to almost 40% in 6–14-year-olds [1,2], due to the global increased dentists' awareness. Despite the more frequent MIH occurrence in everyday clinical practice, few studies have addressed the problem from an orthodontic point of view [3]. Early diagnosis of MIH is essential to ensure adequate management of the affected teeth. If MIH diagnosis occurs late, an invasive treatment approach, such as extraction, may be required. This has been further aggravated by the pandemic situation, which has caused delays in diagnosis and dental treatment [4].

The extraction of severely decayed M1 in combination with orthodontic space closure may influence the eruption prognosis of the third molars (M3).

The M3 are the most frequently impacted teeth [5,6], with an inconsistent range between 3% and 57% worldwide, influenced by the method and diagnostic criteria applied [7]. Risks associated with partially-unerupted or impacted M3 are periodontitis, other inflammatory conditions, follicular cysts, benign neoplastic disease, and resorption of the M2

roots [5]. Nevertheless, prophylactic removal of asymptomatic disease-free M3 is not generally recommended, due to the risk of surgical intervention and cost-effectiveness [8]. In patients with congenitally missing teeth, loss of M1 or M2 due to caries or orthodontic extraction planning, removal of the M3 should be deferred [5]. Moreover, the premature loss of M1 has an accelerating effect on the development and the eruption of M3 [9,10] in both jaws [9–14]. The M3 impaction incidence might be lower after orthodontic extraction treatment. Previous studies found a greater impact on maxillary M3 than on mandibular M3 after M1 orthodontic extraction [9,12]. Other factors, such as decreased retromolar space, severely malpositioned M3, or extraction time of the M1 may also impact the M3 eruption prognosis [10,14–17]. Craniofacial parameters, including steepness of the gonial angle [18], and mandibular and facial growth patterns [19], may contribute to the M3 eruption pattern. Nevertheless, it remains unclear to what extent an orthodontic space closure following M1 extraction influences the eruption prognosis and final position of the M3.

Therefore, the aim of this study was to assess the angulation and position changes of M2 and M3 and the eruption prognosis of M3 after M1 extraction orthodontic treatment.

2. Materials and Methods

This longitudinal retrospective study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of Charité–Universitätsmedizin Berlin, Germany (EA2/231/18).

Digitized panoramic radiographs of 76 growing individuals taken before (T1) and after orthodontic space closure (T2) were included. All patients were recruited from the Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Charité–Universitätsmedizin Berlin, and two private orthodontic practices in Berlin, Germany. A sample of 39 patients (24 females, 15 males, and a mean age of 13.5 ± 1.8 years) was treated with at least one M1 extraction. In the maxilla, 17 patients were treated with bilateral M1 extraction ($n = 34$) and 12 with unilateral ($n = 12$). In the mandible, 19 patients received bilateral extraction treatment of M1 ($n = 38$) and 12 unilateral ($n = 12$). The control group consisted of 37 patients (23 females, 14 males, and a mean age of 14.5 ± 4.9 years) treated without extraction. Both groups were treated with multibracket appliances. The M2 erupted in the oral cavity as expected at the patients' age at T1. All included patients were of Caucasian ethnic background. Patients with congenitally missing teeth, craniofacial anomalies or obvious asymmetries that were clinically or radiographically recognizable, syndromes, or treated with distalizing devices were excluded from this study. The orthodontic diagnosis and planning were collected from patients' pretreatment lateral cephalograms and treatment records. For determining the longitudinal axis of M3, at least a fully mineralized crown formation (stage 4, according to Demirjian's classification [20]) at T1 was required. The infraorbital (IOP) and the palatal (PP) planes were the references selected for the M2 and M3 angulation measurements. The IOP was constructed by the most inferior points of the left and right infraorbital margins. The PP was defined by the most cranial points of the curvature of the palate (Figure 1). The angles formed between these reference planes and the longitudinal axes of M2 (M2/IOP, M2/PP) and M3 (M3/IOP, M3/PP) (Figure 1) were measured and compared at T1 and T2.

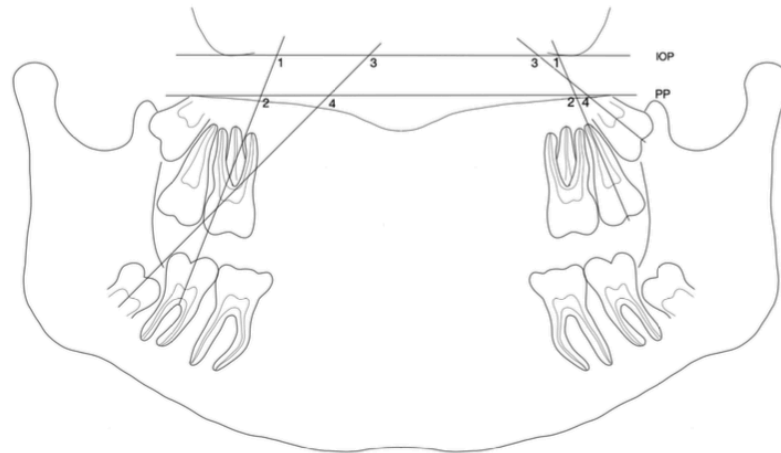


Figure 1. Diagram of angulation measurements. 1 mandibular/maxillary (Mb/Mx) second molar (M2) angulation to the infraorbital plane (IOP): **M2/IOP**; 2 Mb/Mx M2 angulation to the palatal plane (PP): **M2/PP**; 3 Mb/Mx third molar (M3) angulation to IOP: **M3/IOP**; 4 Mb/Mx M3 angulation to PP: **M3/PP**.

The reference planes were traced and angles were measured on the digital radiographs with Sidexis XG software (version 2.63, Dentsply Sirona, Bensheim, Germany).

Moreover, the prediction of M3 eruption was evaluated by Archer's classifications [21–23] in the maxilla (horizontal and vertical) (Figures 2 and 3) and by Winter's (Figure 4) [21,24] and Pell & Gregory's classification (Figure 5) [21,25,26] in the mandible. We propose merging the subgroups of the classification systems used as good, questionable, and bad according to the prediction of spontaneous M3 eruption (Figures 2–5). The first author (L.L.) made all measurements. Two calibrated authors (L.L. and M.M.) measured thirty randomly selected panoramic radiographs for the inter-rater agreement. The first author (L.L.) evaluated twenty patients (forty panoramic radiographs) twice, with at least a one-month interval, for intra-observer reliability. Intraclass correlation coefficient (ICC) with a two-way mixed effects model [27] was calculated for the angular measurements (M2/IOP, M3/IOP, M2/PP, M3/PP) and Cohen's kappa coefficient (κ) [28] for the categorical measurements (Demirjian's, Archer's, Winter's, and Pell & Gregory's classifications). Descriptive statistics were calculated for baseline characteristics in the extraction and non-extraction groups. The angular measurements were compared using analysis of covariance (ANCOVA), where the effect of treatment at T2 was estimated after adjusting for the baseline (T1) angular measurement. A random effect (random intercept) ordinal logistic regression was used to assess the adjusted impact of extraction/non-extraction on the final position of M3 according to the different classification systems (Figures 2–5).

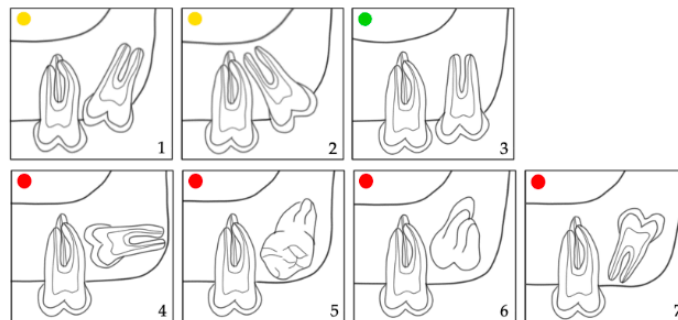


Figure 2. Archer's (horizontal) classification for the inclination of the maxillary M3 relative to the longitudinal axis of M2 [23]. Subdivision according to the eruption prognosis of M3 in 1,2: questionable (●); 3: good (●); 4–7: bad prognosis (●).

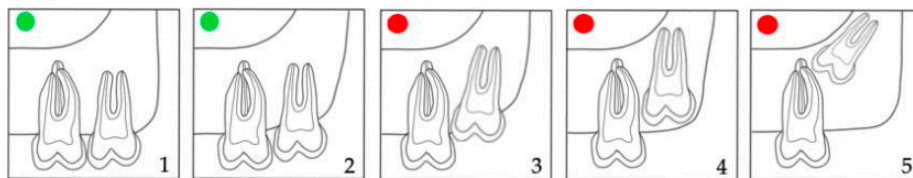


Figure 3. Archer's (vertical) classification for the impaction depth of the maxillary M3 relative to the adjacent M2 [23]. Subdivisions according to the eruption prognosis of M3 in 1,2: good (●); 3–5: bad prognosis (●).

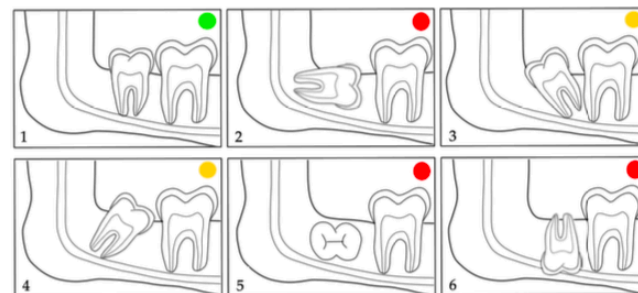


Figure 4. Winter's classification for the inclination of the mandibular M3 relative to the longitudinal axis of M2 [24]. Subdivisions according to the eruption prognosis of M3 in 1: good (●); 3,4: questionable (●); 2,5,6: bad prognosis (●).

The statistical significance was set at $p < 0.05$. All analyses were conducted in Stata 16 (Stata Corp, College Station, TX, USA).

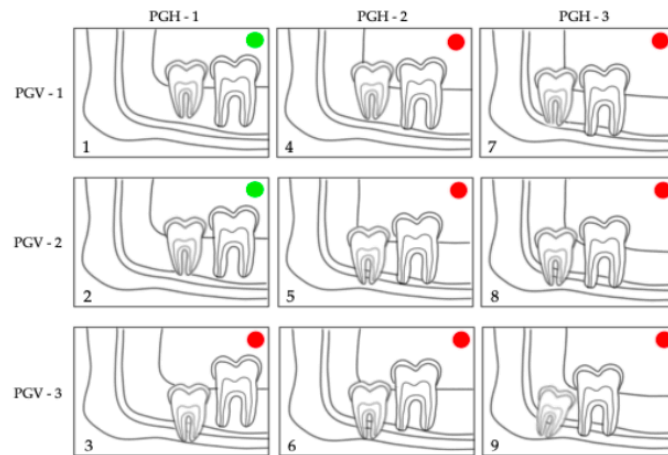


Figure 5. Pell & Gregory's classification of mandibular M3 in relation to the horizontal (PGH) and vertical (PGV) position of M2 [25]. Reference plane/structure: the occlusal plane (PGV) and the ramus (PGH). Subdivisions according to the eruption prognosis of M3 in 1,2: good (●); 3–9: bad prognosis (●).

3. Results

For the angular measurements, the intra-observer reliability ICC was 0.99 with a 95% confidence interval (95% CI) = 0.997–0.999. For the inter-observer reliability, ICC ranged between 0.98 and 0.99, with 95% CI = 0.96–0.99, demonstrating excellent reliability [27]. For the categorical measures, kappa ranged between 0.86 and 1.00 for all measurements, demonstrating an almost perfect strength of agreement [28].

The descriptive data for both groups are presented in Table 1. The orthodontic treatment time was significantly longer for patients treated with extraction of M1 than those treated without extraction ($p < 0.001$), as expected. The period between the pre- and post-treatment radiographs was 3.8 ± 1.3 years in the non-extraction group and 3.7 ± 1.4 years in the extraction group.

Table 1. Patients' distribution in extraction and non-extraction groups according to sex, age, treatment duration, Angle classification, skeletal classification, and growth pattern.

		Non-Extraction (n = 37)	Extraction (n = 39)
Sex (n (%))	female	23 (62.16)	24 (61.54)
	male	14 (37.84)	15 (38.46)
Age pretreatment (years)	mean	14.5	13.5
	range	9.6–19.4	11.8–15.3
Age post-treatment (years)	mean	16.2	16.2
	range	11.2–21.1	14.4–18.0
Treatment duration (years)	mean	1.65	2.99
Angle classification (n (%))	Class I	11 (29.73)	18 (46.15)
	Class II	22 (59.46)	13 (33.33)
	Class III	4 (10.81)	8 (20.52)
Skeletal classification (n (%))	Class I	10 (27.03)	15 (38.46)
	Class II	20 (54.05)	15 (38.46)
	Class III	7 (18.92)	9 (23.08)
Growth pattern (n (%))	neutral	18 (48.65)	14 (35.90)
	vertical	2 (5.40)	12 (30.77)
	horizontal	17 (45.95)	13 (33.33)

Table 2 shows the baseline adjusted estimates of the effect of treatment (extraction/non-extraction) on each of the variables (M2/IOP, M2/PP, M3/IOP, M3/PP) separately per jaw. On average, the maxillary M2/IOP, M2/PP, M3/IOP, and M3/PP were -8.72 , -8.83 , -10.17 , and -10.04 units lower in the extraction group compared to the non-extraction group, respectively. These results were all statistically highly significant ($p < 0.001$). In the mandible, the differences between extraction/non-extraction were smaller. All average angular measurements of the extraction and non-extraction groups at the different time points (T1, T2) are presented in Figure 6.

Table 2. Angular measurements in maxilla and mandible, adjusted treatment effects at T2, 95% confidence intervals, and p -values for the angular measurements per measurement and jaw.

		T1	T2	Coefficient (95% CI)	p -Value
		Mean (sd)	Mean (sd)		
Maxilla					
M2/IOP	Non-ex	111.2° (8.9)	102.8° (7.5)	Reference	
	Ex	109.6° (9.4)	93.6° (7.6)	-8.72 ($-11.38, -6.07$)	<0.001 **
M2/PP	Non-ex	111.4° (8.9)	102.9° (7.6)	Reference	
	Ex	109.8° (9.4)	93.6° (7.6)	-8.83 ($-11.51, 6.15$)	<0.001 **
M3/IOP	Non-ex	122.6° (11.6)	111.0° (12.8)	Reference	
	Ex	124.0° (16.3)	101.3° (10.1)	-10.17 ($-14.21, 6.13$)	<0.001 **
M3/PP	Non-ex	122.6° (11.6)	110.9° (12.8)	Reference	
	Ex	124.0° (16.3)	101.3° (10.2)	-10.04 ($-14.14, 5.95$)	<0.001 **
Mandible					
M2/IOP	Non-ex	112.5° (8.2)	106.2° (6.0)	Reference	
	Ex	117.7° (10.4)	108.5° (8.0)	0.73 ($-1.65, 3.11$)	0.55
M2/PP	Non-ex	112.7° (8.4)	106.4° (6.0)	Reference	
	Ex	117.9° (10.5)	108.1 (8.2)	0.72 ($-2.17, 2.72$)	0.83
M3/IOP	Non-ex	138.9° (11.2)	129.2° (12.4)	Reference	
	Ex	144.6° (13.6)	127.8° (13.0)	-4.03 ($-8.23, 0.17$)	0.06
M3/PP	Non-ex	139.0° (11.1)	129.3° (12.2)	Reference	
	Ex	144.5° (13.5)	127.7° (13.2)	-4.20 ($-8.38, -0.02$)	0.05

M1 = first molar; M2 = second molar; M3 = third molar; IOP = infraorbital plane; PP = palatal plane; Non-ex = non-extraction group; Ex = extraction group; T1 = before orthodontic treatment; T2 = after orthodontic space closure; sd = standard deviation; 95% CI = 95% confidence interval; ** $p < 0.001$.

In the maxilla, the positional changes of M3 were evaluated using Archer's classifications (Figures 2 and 3) [23]. The inclination of maxillary M3 relative to the longitudinal axis of adjacent M2 (Figure 2) improved significantly ($p = 0.005$). However, the vertical positional changes (Figure 3) were non-significant between the extraction and non-extraction groups at the evaluated time points ($p = 0.07$). In the mandible, the classifications by Winter (Figure 4) [24] and Pell & Gregory (Figure 5) [25] were applied to analyze the positional changes of M3. Regarding Winter's classification, changes in the mandibular M3 inclination compared to the long axis of M2 showed significant improvement, mainly in the M1 extraction group ($p = 0.002$). The position changes of mandibular M3, according to Pell & Gregory's horizontal classification (PGH), were significant in the extraction group at T2 ($p < 0.001$). However, the position of M3, according to Pell & Gregory's vertical classification (PGV), showed no significant change between the groups ($p = 0.14$). The eruption prognosis of M3 in the two groups and time points according to the different classification systems is presented in Figure 7.

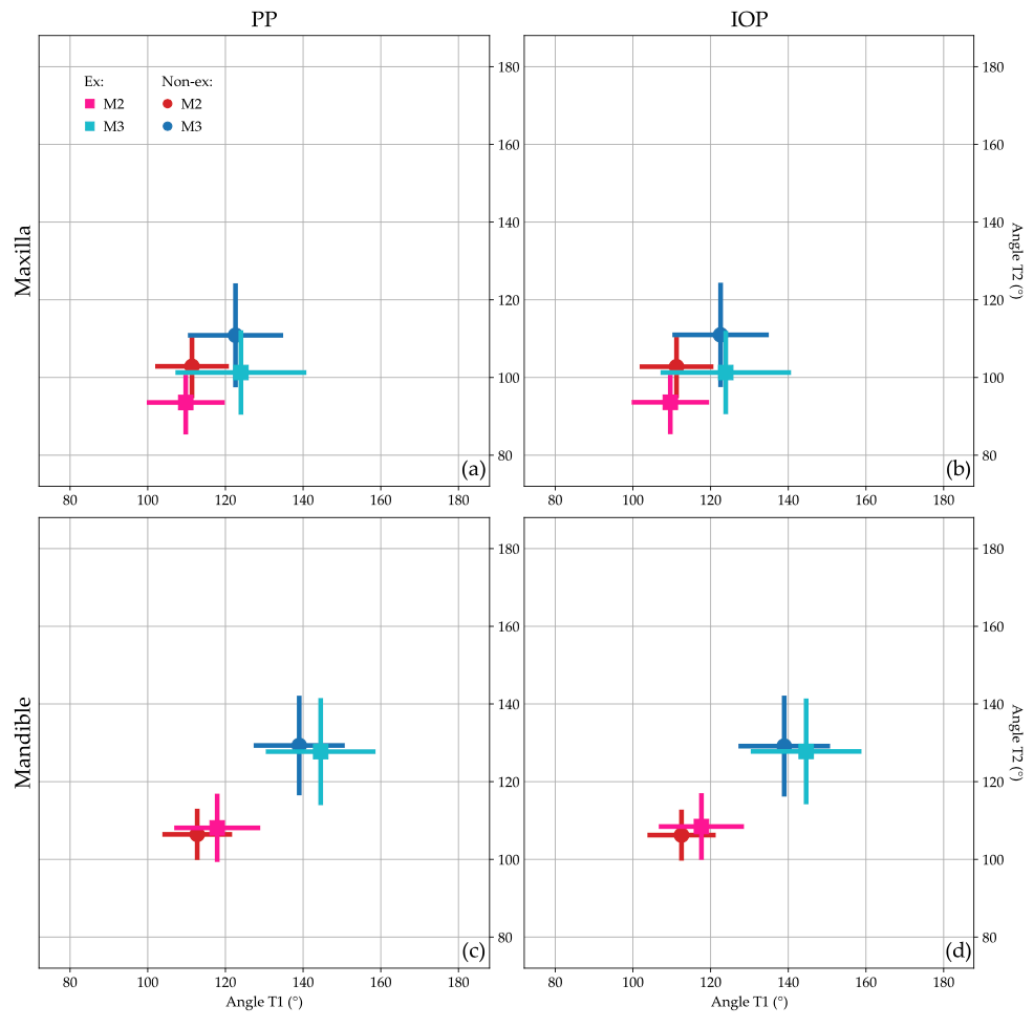


Figure 6. Patients' angular changes of M2 and M3 between the two examination time points (T1: x-axis, T2: y-axis). Means, standard deviations (cross), and distribution of the non-extraction (Non-ex): (M2: ●, M3: ●) and extraction (Ex): (M2: ■, M3: ■) groups. (a) maxillary M2/PP and M3/PP; (b) maxillary M2/IOP and M3/IOP; (c) mandibular M2/PP and M3/PP; (d) mandibular M2/IOP and M3/IOP.

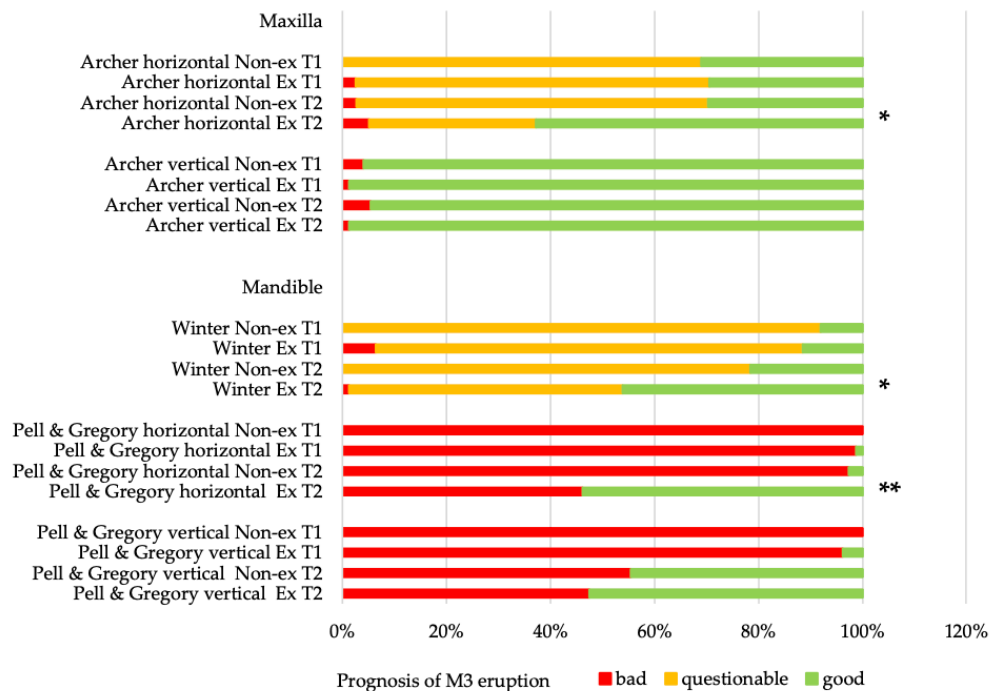


Figure 7. Distribution of the eruption prognosis of M3 in non-extraction (Non-ex) and extraction groups (Ex), before (T1) and after orthodontic space closure (T2) according to the different classification systems. * $p < 0.05$; ** $p < 0.001$.

The M3 development analysis based on Demirjian's classification [20] did not differ significantly between the extraction and non-extraction groups at T1 ($p = 0.48$) and T2 ($p = 0.12$).

We were able to follow up with 59% of the patients in the extraction group and 94.6% of the non-extraction group for 23 ± 13.1 months. The end-point evaluation was the eruption or the final eruption prognosis of the M3. Of those patients treated with M1 extraction, 65.2% showed a spontaneous eruption of the M3. In 21.7% of the patients, the position of M3 was improved after orthodontic treatment, and in 13.1% of patients, M3 surgical exposure was required. All M3 impactions of the extraction group were observed in the mandible. In only 5.7% of the non-extraction patients, spontaneous eruption of M3 occurred. Most non-extraction treated patients (94.3%) were referred for surgical extraction of M3.

The random effects analysis (Table 3) shows that only the extraction was a significant predictor (odds ratio (OR) = 1.96; 95% CI: 1.04–3.72; $p = 0.04$) for the final position (inclination) of maxillary M3 (Archer's horizontal classification, Figure 2), whereas time point, sex, and dental crowding were not. In the mandible, time was a significant predictor ($p < 0.001$) for the inclination (Winter's classification, Figure 3) and vertical position (PGV, Figure 4) of M3. Both M1 extraction (OR = 2234.22; 95% CI: 11.35–439,962.1; $p = 0.004$) and time (OR = 5459.58; 95% CI: 16.53–1,802,824; $p = 0.004$) were highly associated with the horizontal positional changes of M3 (PGH, Figure 4). Severe dental crowding (>5 mm) was negatively associated only with the changes in the inclination of mandibular M3 (OR = 0.004; 95% CI: 0.00002–0.95; $p = 0.048$). No significant difference was found between female and male patients. However, the previous estimates cannot be considered reliable given the OR values and the corresponding 95% CI.

Table 3. Odds ratios and 95% confidence intervals from the random effects analysis for the different classification systems (Archer, Winter, Pell & Gregory).

		Archer Horizontal	Archer Vertical	Winter	Pell & Gregory Horizontal	Pell & Gregory Vertical
		OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)
Group	Non-ex (Reference)					
	Ex	1.96 * (1.04, 3.72)	21.79 (0.17, 2786.99)	1.92 (0.40, 9.15)	2234.22 * (11.35, 439,962.1)	2.35 (0.62, 8.94)
Time	T1 (Reference)					
	T2	1.71 (0.91, 3.23)	0.28 (0.01, 10.21)	23.93 ** (3.56, 152.23)	5459.58 * (16.53, 1,802,824)	509.77 ** (39.66, 6522.06)
Sex	Female (Reference)					
	Male	0.66 (0.34, 1.29)	0.55 (0.02, 15.94)	4.16 (0.78, 23.32)	6.55 (0.41, 105.77)	2.54 (0.65, 10.02)
Crowding	No crowding (Reference)					
	<3 mm	0.93 (0.46, 1.85)	1.67 (0.04, 69.99)	1.10 (0.20, 6.14)	14.46 (0.61, 343.72)	3.44 (0.78, 15.26)
	3–5 mm	0.46 (0.16, 1.32)	0.49 (0.01, 42.03)	0.68 (0.05, 8.95)	77.98 (0.78, 8482.21)	5.53 (0.68, 44.92)
	>5 mm	0.98 (0.14, 6.78)	1.50 × 10 ¹³ (0, non-estimable)	0.004 * (0.0002, 0.95)	0.24 (0.47, 186,379.3)	24.32 (0.40, 1475.36)

Non-ex = non-extraction group; Ex = extraction group; T1 = before orthodontic treatment; T2 = after orthodontic space closure; OR = odds ratio; 95% CI = 95% confidence interval; * $p < 0.05$; ** $p < 0.001$.

4. Discussion

The dilemma of extraction or extensive restorations of M1, affected by MIH, or deep carious lesions, should be interdisciplinarily evaluated. Early diagnosis of MIH is essential for the prognosis of affected teeth to allow the provision of preventive or restorative intervention [3,29]. The long-term eruption prognosis of M2 and M3 and the associated risk factors in the case of M1 extraction therapy are the most critical factors to be considered. In severe MIH, not only M1 but also M2 may be affected, making treatment decisions more challenging [30]. Complications such as sensitivity and discomfort and restoration failures could be encountered. A health economics analysis stated that the removal of compromised M1 is not generally more cost-effective than preservation [31].

Our study showed that M1 extraction has a favorable effect on maxillary M2 and M3 eruption patterns. In contrast, mandibular M2 angulation changes during treatment were non-significant between the extraction and non-extraction groups. The M3 showed greater uprighting in the M1 extraction group. However, all mandibular measures at T2 showed no significant difference between the groups. A reason for that might be their severe mesial inclination [15,16,32].

Moreover, the timing of M1 extraction should be considered cautiously. Extraction of M1 before the eruption of M2 can result in spontaneous space closure [33], which is more effective in the maxilla than in the mandible [34–36]. Early extraction of mandibular M1 leads to uncontrolled tipping of the adjacent molars [14]. The recommended extraction time for mandibular M1 is between 8 and 11.5 years of age [37].

Furthermore, factors such as the angulation of M2 and the presence of M3 are important for M1 extraction planning. Nevertheless, a confirmed diagnosis of M3 agenesis can only be verified radiographically in some patients no younger than 14 years of age [38]. A study that assessed the orthodontists' and oral surgeons' prognostic prediction of M3 eruption concluded that in many patients, M3 erupted spontaneously, despite the initial recommendation for extraction [39]. Therefore, a longitudinal assessment of the eruption path should be considered [36] and not a single radiographic evaluation. Compensation extraction on the quadrants with sound molars is recommended for symmetric dental arches and balanced occlusion [40]. Unilateral extraction requires careful management of

orthodontic anchorage to prevent a dental midline shift towards the extraction side [41]. Nevertheless, M1 asymmetric, compared to M1 symmetric extraction orthodontic treatment, has less impact on soft tissue and facial profile [42].

This study did not consider early extraction, dental arch asymmetry, and incisor proclination at the evaluated time points (T1 and T2). Severe arch length discrepancy and incisor protrusion are contraindications for early extraction of M1, and controlled M2 migration should be considered [43]. A study on twins showed an association between a small retromolar space or a constricted mandibular dental arch with an unfavorable prognosis for M3 eruption [44]. Future research should include these parameters.

Our results confirm previous studies [9,12,13] and showed an improvement in maxillary M3 inclination but no statistically significant difference in the angulation of mandibular M3 after M1 extraction.

Only angular measurements and categorical impaction classification systems have been used in this study. Therefore, the distortion and magnification factors of the orthopantomograms [45] did not affect the interpretation of the results [46]. No cephalograms were used for the retromolar space evaluation because of the overlapping anatomical structures and the magnification differences between the participating orthodontic practices [47,48].

The present study presented all angles relative to IOP and PP, as described in previous studies [49–51].

The horizontal planes (IOP and PP) can be easily traced based on skeletal structures on panoramic radiographs. These planes are more reliable [52] than the occlusal plane, which undergoes growth and orthodontic treatment modifications [53,54].

In order to increase measurement validity, both planes have been used in this study. Only panoramic radiographs and lateral cephalograms were available for the study sample. These images do not allow the angulations of M2 and M3 to be assessed in all planes, mainly if teeth are more buccally or lingually oriented. Future studies should use three-dimensional x-ray images, if available, for a more detailed evaluation. Still, these radiographs are not commonly performed due to increased radiation exposure.

Despite the retrospective character of the study, we were able to ensure a homogeneous distribution of the sample. A slight increase in patients with a vertical growth pattern in the extraction group (Table 1) was observed. This may have been an additional factor in the extraction treatment approach. Former studies found that patients with a dolichofacial growth pattern showed a twofold prevalence of mandibular M3 impaction than patients with a horizontal growth pattern (brachyfacial) [19,55,56].

No significant difference was found in patients' age at T1 and T2 between the groups. Nevertheless, the individual radiographs were taken at different time points, and the treatment duration was longer in the extraction group. The increased treatment time in the extraction group may potentially influence the development stage and, consequently, the vertical position of M3. Nevertheless, Archer's vertical classification for maxillary M3 (Figures 3 and 6) and Pell & Gregory's vertical classification for mandibular M3 (Figures 5 and 6) did not differ significantly between extraction and non-extraction groups ($p > 0.05$). Furthermore, no significant difference was found between the groups at T2 ($p = 0.12$) in Demirjian's classification. Thus, it can be assumed that the time difference when radiographs were taken is clinically irrelevant concerning the vertical development of M3. This can be related to our sample's short observation time (T1–T2). We elaborated on a simplification of the classification systems (Archer, Winter, Pell & Gregory) by merging the subgroups for clarity, focusing mainly on the prognostic eruption of the M3.

Time and M1 extraction were relevant factors for horizontal positional changes of mandibular M3 (Pell & Gregory horizontal (Figure 4), Table 3). Around puberty, retromolar space increases, averaging 1.38 mm per year in non-treated orthodontic patients [57]. To what extent the changes in the examined patients were related to growth or the extraction of M1 cannot be clarified conclusively. However, there was a significant difference between extraction and non-extraction groups regarding the horizontal position of M3 in the mandible at T2 (Figure 7).

We could only follow up with 59% of the patients with M1 extraction therapy over a period of 24 ± 10.3 months. Spontaneous eruption of the M3 was observed in 65.2% of these patients. The mean age of these patients at T2 was 16.2 years (range 14.4–18.0) (Table 1). Due to the patients' young age at T2, it is unclear whether the remaining M3 erupted later. Nevertheless, this result shows a tendency towards a favored eruption or eruption prognosis of M3 after M1 extraction, particularly in the extraction group. Further studies with a longer follow-up period may elucidate and maximize an accurate prediction of the M3 eruption pathway after orthodontic treatment.

M2 angular changes should be considered with the knowledge of possible optimization/uprighting by the multibracket appliance. Tipping of M2 due to orthodontic space closure [41,58] was also found in some investigated patients. Still, it was not examined in more detail whether this influenced the subsequent position of M3.

The findings of this study might help clinicians establish a more patient-centric treatment approach for patients with compromised M1.

5. Conclusions

The M1 extraction positively influenced the angulation of maxillary M3, whereas angulation of the mandibular M3 barely improved.

The extraction of M1 showed a positive effect on the position of M3 and M2 in both jaws in the horizontal plane, which may increase the retromolar space. Parameters such as sex and mild dental crowding had no impact on the final position of M3.

Patients with compromised M1 require a well-coordinated, individualized treatment approach. Long-term prognostic factors for the eruption of M3, possible complications associated with M1 extraction, or M3 orthodontic uprighting and surgical exposure should be considered. These findings should be considered with regard to the study's retrospective character.

Author Contributions: Conceptualization, L.J.L. and T.N.B.; methodology, L.J.L., M.R.M.d.I.R., N.P. and T.N.B.; validation, L.J.L., M.R.M.d.I.R. and T.N.B.; formal analysis, N.P.; investigation, L.J.L.; resources, L.J.L. and M.R.M.d.I.R.; data curation, L.J.L.; writing—original draft preparation, L.J.L.; writing—review and editing T.N.B.; review and editing N.P.; review P.-G.J.-B.; visualization, L.J.L.; and supervision and project administration, T.N.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of Charité—Universitätsmedizin Berlin (EA2/231/18, 22 November 2018).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Acknowledgments: The authors would like to thank A. Miclotte for the copyright permission of the figures with the classification systems of Archer, Winter, and Pell & Gregory, J. Schmidt for his input and support, and M. Thomas and S. Zellmann for their contribution to the sample collection.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Kühnisch, J.; Heitmüller, D.; Thiering, E.; Brockow, I.; Hoffmann, U.; Neumann, C.; Heinrich-Weltzien, R.; Bauer, C.P.; von Berg, A.; Koletzko, S.; et al. Proportion and extent of manifestation of molar-incisor-hypomineralizations according to different phenotypes. *J. Public Health Dent.* **2014**, *74*, 42–49. [[CrossRef](#)]
2. Jälevik, B. Prevalence and diagnosis of molar-incisor-hypomineralisation (MIH): A systematic review. *Eur. Arch. Paediatr. Dent.* **2010**, *11*, 59–64. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Elhennawy, K.; Schwendicke, F. Managing molar-incisor-hypomineralization: A systematic review. *J. Dent.* **2016**, *55*, 16–24. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

4. Stennett, M.; Tsakos, G. The impact of the COVID-19 pandemic on oral health inequalities and access to oral healthcare in England. *Br. Dent. J.* **2022**, *232*, 109–114. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Bishara, S.E.; Andreasen, G. Third molars: A review. *Am. J. Orthod.* **1983**, *83*, 131–137. [[CrossRef](#)]
6. Dachi, S.F.; Howell, F.V. A survey of 3874 routine full-mouth radiographs. I. A study of retained roots and teeth. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* **1961**, *14*, 916–924. [[CrossRef](#)]
7. Carter, K.; Worthington, S. Predictors of Third Molar Impaction: A systematic review and meta-analysis. *J. Dent. Res.* **2016**, *95*, 267–276. [[CrossRef](#)]
8. Song, F.; O'Meara, S.; Wilson, P.; Golder, S.; Kleijnen, J. The effectiveness and cost-effectiveness of prophylactic removal of wisdom teeth. *Health Technol. Assess* **2000**, *4*, 1–55. [[CrossRef](#)]
9. Bayram, M.; Özer, M.; Arici, S. Effects of first molar extraction on third molar angulation and eruption space. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* **2009**, *107*, 14–20. [[CrossRef](#)]
10. Richardson, M.E.; Dent, M. Some aspects of lower third molar eruption. *Angle Orthod.* **1974**, *44*, 141–145. [[CrossRef](#)]
11. Yavuz, I.; Baydas, B.; Ikbali, A.; Dagsuyu, I.M.; Ceylan, I. Effects of early loss of permanent first molars on the development of third molars. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2006**, *130*, 634–638. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. Livas, C.; Halazonetis, D.J.; Booi, J.W.; Katsaros, C. Extraction of maxillary first molars improves second and third molar inclinations in class II division 1 malocclusion. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2011**, *140*, 377–382. [[CrossRef](#)]
13. Livas, C.; Pandis, N.; Booi, J.W.; Halazonetis, D.J.; Katsaros, C.; Ren, Y. Influence of unilateral maxillary first molar extraction treatment on second and third molar inclination in class II subdivision patients. *Angle Orthod.* **2016**, *86*, 94–100. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Ay, S.; Agar, U.; Bicakci, A.A.; Kosger, H.H. Changes in mandibular third molar angle and position after unilateral mandibular first molar extraction. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2006**, *129*, 36–41. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Türköz, C.; Ulusoy, C. Effect of premolar extraction on mandibular third molar impaction in young adults. *Angle Orthod.* **2013**, *83*, 572–577. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Årtun, J.; Behbehani, F.; Thalib, L. Prediction of maxillary third molar impaction in adolescent orthodontic patients. *Angle Orthod.* **2005**, *75*, 904–911. [[CrossRef](#)]
17. Capelli, J., Jr. Mandibular growth and third molar impaction in extraction cases. *Angle Orthod.* **1991**, *61*, 223–229. [[CrossRef](#)]
18. Demirel, O.; Akbulut, A. Evaluation of the relationship between gonial angle and impacted mandibular third molar teeth. *Anat. Sci. Int.* **2020**, *95*, 134–142. [[CrossRef](#)]
19. Breik, O.; Grubor, D. The incidence of mandibular third molar impactions in different skeletal face types. *Aust. Dent. J.* **2008**, *53*, 320–324. [[CrossRef](#)]
20. Demirjian, A.; Goldstein, H.; Tanner, J.M. A new system of dental age assessment. *Hum. Biol.* **1973**, *45*, 211–227.
21. Miclotte, A.; Grommen, B.; Cadenas de Llano-Perula, M.; Verdonck, A.; Jacobs, R.; Willems, G. The effect of first and second premolar extractions on third molars: A retrospective longitudinal study. *J. Dent.* **2017**, *61*, 55–66. [[CrossRef](#)]
22. Lim, A.A.; Wong, C.W.; Allen, J.C., Jr. Maxillary third molar: Patterns of impaction and their relation to oroantral perforation. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2012**, *70*, 1035–1039. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
23. Archer, W.H. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 5th ed.; Saunders: Philadelphia, PA, USA, 1975; pp. 137–142.
24. Winter, G.B. *Principles of Exodontia as Applied to the Impacted Third Molar*; American Medical Book Company: St. Louis, MO, USA, 1926; pp. 42–83.
25. Pell, G.J.; Gregory, G.T. Impacted mandibular third molars: Classification and modified technique for removal. *Dent. Dig.* **1933**, *39*, 330–338.
26. Rivera-Herrera, R.S.; Esparza-Villalpando, V.; Bermeo-Escalona, J.R.; Martinez-Rider, R.; Pozos-Guillen, A. Agreement analysis of three mandibular third molar retention classifications. *Gac. Med. Mex.* **2020**, *156*, 22–26. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Koo, T.K.; Li, M.Y. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J. Chiropr. Med.* **2016**, *15*, 155–163. [[CrossRef](#)]
28. Landis, J.R.; Koch, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* **1977**, *33*, 159–174. [[CrossRef](#)]
29. Garg, N.; Jain, A.K.; Saha, S.; Singh, J. Essentiality of early diagnosis of molar incisor hypomineralization in children and review of its clinical presentation, etiology and management. *Int. J. Clin. Pediatr. Dent.* **2012**, *5*, 190–196. [[CrossRef](#)]
30. de Farias, A.L.; Rojas-Gualdrón, D.F.; Giroto Bussaneli, D.; Santos-Pinto, L.; Mejía, J.D.; Restrepo, M. Does molar-incisor hypomineralization (MIH) affect only permanent first molars and incisors? New observations on permanent second molars. *Int. J. Paediatr. Dent.* **2022**, *32*, 1–10. [[CrossRef](#)]
31. Elhennawy, K.; Jost-Brinkmann, P.G.; Manton, D.J.; Paris, S.; Schwendicke, F. Managing molars with severe molar-incisor hypomineralization: A cost-effectiveness analysis within German healthcare. *J. Dent.* **2017**, *63*, 65–71. [[CrossRef](#)]
32. Behbehani, F.; Årtun, J.; Thalib, L. Prediction of mandibular third-molar impaction in adolescent orthodontic patients. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2006**, *130*, 47–55. [[CrossRef](#)]
33. Jälevik, B.; Möller, M. Evaluation of spontaneous space closure and development of permanent dentition after extraction of hypomineralized permanent first molars. *Int. J. Paediatr. Dent.* **2007**, *17*, 328–335. [[CrossRef](#)]
34. Brusevold, I.J.; Kleivene, K.; Grimsøen, B.; Skaare, A.B. Extraction of first permanent molars severely affected by molar incisor hypomineralisation: A retrospective audit. *Eur. Arch. Paediatr. Dent.* **2022**, *23*, 89–95. [[CrossRef](#)]

35. Patel, S.; Ashley, P.; Noar, J. Radiographic prognostic factors determining spontaneous space closure after loss of the permanent first molar. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2017**, *151*, 718–726. [[CrossRef](#)]
36. Teo, T.K.; Ashley, P.F.; Parekh, S.; Noar, J. The evaluation of spontaneous space closure after the extraction of first permanent molars. *Eur. Arch. Paediatr. Dent.* **2013**, *14*, 207–212. [[CrossRef](#)]
37. Eichenberger, M.; Erb, J.; Zwahlen, M.; Schätzle, M. The timing of extraction of non-restorable first permanent molars: A systematic review. *Eur. J. Paediatr. Dent.* **2015**, *16*, 272–278.
38. Liversidge, H.M. Timing of human mandibular third molar formation. *Ann. Hum. Biol.* **2008**, *35*, 294–321. [[CrossRef](#)]
39. Libby, M.R.; Rabello, N.M.; Marques, L.S.; Normando, D. The ability of orthodontists and maxillofacial surgeons in predicting spontaneous eruption of mandibular third molar using panoramic serial radiographs. *Dent. Press. J. Orthod.* **2020**, *25*, 68–74. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
40. Cobourne, M.T.; Williams, A.; Harrison, M. National clinical guidelines for the extraction of first permanent molars in children. *Br. Dent. J.* **2014**, *217*, 643–648. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
41. Jacobs, C.; Jacobs-Müller, C.; Luley, C.; Erbe, C.; Wehrbein, H. Orthodontic space closure after first molar extraction without skeletal anchorage. *J. Orofac. Orthop.* **2011**, *72*, 51–60. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
42. Janson, G.; Carvalho, P.E.; Cancado, R.H.; de Freitas, M.R.; Henriques, J.F. Cephalometric evaluation of symmetric and asymmetric extraction treatment for patients with class II subdivision malocclusions. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2007**, *132*, 28–35. [[CrossRef](#)]
43. Sabri, R. Multidisciplinary management of permanent first molar extractions. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2021**, *159*, 682–692. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Isomura, E.T.; Kurushima, Y.; Kobashi, H.; Enoki, K.; Yamashita, M.; Ikebe, K. Factors influencing the localization of mandibular third molars in twins. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2020**, *78*, 1279–1287. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Tronje, G.; Welander, U.; McDavid, W.D.; Morris, C.R. Image distortion in rotational panoramic radiography. IV. Object morphology; outer contours. *Acta Radiol. Diagn.* **1981**, *22*, 689–696. [[CrossRef](#)]
46. Tronje, G.; Welander, U.; McDavid, W.D.; Morris, C.R. Image distortion in rotational panoramic radiography. III. Inclined objects. *Acta Radiol. Diagn.* **1981**, *22*, 585–592. [[CrossRef](#)]
47. Kumar, S.S.; Thailavathy, V.; Srinivasan, D.; Loganathan, D.; Yamini, J. Comparison of orthopantomogram and lateral cephalogram for mandibular measurements. *J. Pharm. Bioallied. Sci.* **2017**, *9*, 92–95. [[CrossRef](#)]
48. Larheim, T.A.; Svanaes, D.B. Reproducibility of rotational panoramic radiography: Mandibular linear dimensions and angles. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **1986**, *90*, 45–51. [[CrossRef](#)]
49. Gohilot, A.; Pradhan, T.; Keluskar, K.M. Effects of first premolar extraction on maxillary and mandibular third molar angulation after orthodontic therapy. *J. Oral Biol. Craniofac. Res.* **2012**, *2*, 97–104. [[CrossRef](#)]
50. Janson, G.; Patrick, L.M.; Henriques, J.F.; de Freitas, M.R.; Henriques, R.P. Maxillary third molar position in class II malocclusions: The effect of treatment with and without maxillary premolar extractions. *Eur. J. Orthod.* **2006**, *28*, 573–579. [[CrossRef](#)]
51. Jain, S.; Valiathan, A. Influence of first premolar extraction on mandibular third molar angulation. *Angle Orthod.* **2009**, *79*, 1143–1148. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
52. Nanda, R.S.; Merrill, R.M. Cephalometric assessment of sagittal relationship between maxilla and mandible. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **1994**, *105*, 328–344. [[CrossRef](#)]
53. Li, J.L.; Kau, C.; Wang, M. Changes of occlusal plane inclination after orthodontic treatment in different dentoskeletal frames. *Prog. Orthod.* **2014**, *15*, 41. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
54. Ferrario, V.F.; Sforza, C.; Colombo, A.; Ciusa, V.; Serrao, G. Three-dimensional inclination of the dental axes in healthy permanent dentitions—A cross-sectional study in a normal population. *Angle Orthod.* **2001**, *71*, 257–264. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
55. Tassoker, M.; Kok, H.; Sener, S. Is there a possible association between skeletal face types and third molar impaction? A retrospective radiographic study. *Med. Princ. Pr.* **2019**, *28*, 70–74. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
56. Barone, S.; Antonelli, A.; Averta, F.; Diodati, F.; Muraca, D.; Bennardo, F.; Giudice, A. Does mandibular gonial angle influence the eruption pattern of the lower third molar? A three-dimensional study. *J. Clin. Med.* **2021**, *10*, 4057. [[CrossRef](#)]
57. Nguyen, A.; Caplin, J.; Avenetti, D.; Durfee, S.; Kusnoto, B.; Sciote, J.J.; Nicholas, C.L. A longitudinal assessment of sex differences in the growth of the mandibular retromolar space. *Arch. Oral Biol.* **2022**, *143*, 105547. [[CrossRef](#)]
58. Chen, K.; Han, X.; Huang, L.; Bai, D. Tooth movement after orthodontic treatment with 4 second premolar extractions. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2010**, *138*, 770–777. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Lebenslauf

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

Komplette Publikationsliste

Publikationen:

1. Langer LJ, Pandis N, Mang de la Rosa MR, Jost-Brinkmann P-G, Bartzela TN, Eruption pattern of third molars in orthodontic patients treated with first permanent molar extraction: a longitudinal retrospective evaluation, *Journal of Clinical Medicine* 2023;12(3):1060 (Impact Factor: 4,964)

2. Mang de la Rosa MR, Langer LJ, Kouroupakis-Bakouros F, Jost-Brinkmann P-G, Bartzela TN, Angular and positional changes of the maxillary third molars after orthodontic treatment with different premolar extraction patterns, *The Angle Orthodontist* 2023;93(2):135-143 (Impact Factor: 2,684)

Posterbeiträge:

1. Langer LJ, Pandis N, Mang de la Rosa MR, Jost-Brinkmann P-G, Bartzela TN
Angulations- und Positionsänderungen sowie Durchbruchsprognose der dritten Molaren nach Extraktionstherapie der ersten Molaren. (e-Poster inklusive Kurzvortrag)

93. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V., Wiesbaden, 22. – 25. September 2021

2. Langer LJ, Pandis N, Mang de la Rosa MR, Jost-Brinkmann P-G, Bartzela TN
Verbessert sich die Durchbruchsprognose der dritten Molaren nach kieferorthopädischer Extraktionstherapie der ersten Molaren?

94. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V., Berlin, 21. – 24. September 2022

Vorträge:

1. Langer LJ, Pandis N, Mang de la Rosa MR, Jost-Brinkmann P-G, Bartzela TN

Angulation and position changes of second and third molars and prediction of third molar eruption in orthodontically treated patients after extraction of the first permanent molars.

97th Annual Congress of the European Orthodontic Society, Limassol, Zypern, 30. Mai –
03. Juni 2022

Danksagung

Ich möchte meinen Dank gegenüber Frau Professor Dr. Dr. Bartzela zum Ausdruck bringen, für das Anvertrauen dieser wissenschaftlichen Arbeit. Sie standen mir persönlich und professionell unterstützend zur Seite. Mein Dank gilt auch allen beteiligten Autoren. Ich danke Maria Mang de la Rosa für die kollegiale Einführung in die Thematik sowie den wohlwollenden und motivierenden Austausch. Herrn Professor Dr. Pandis bin ich für seinen Rat und die professionelle statistische Auswertung verbunden. Des Weiteren möchte ich Herrn Professor Dr. Jost-Brinkmann für den Beitrag an dieser Arbeit danken. Sie haben mein wissenschaftliches Arbeiten und Denken gefördert und gefordert.

Die Unterstützung und das mir geschenkte Vertrauen bei der Patient:innenrecherche und -suche, erkenne ich Dr. Michael Thomas dankbar an.

Ebenso gilt mein Dank Professor Dr. Rainer-Reginald Miethke und Dr. Christian Finke für die wertschätzende Art und die beständige Unterstützung meiner Person.

Das Ergebnis einer Arbeit wird häufig alleinig betrachtet, aber ich möchte hier insbesondere die Personen benennen, die mit hinter dieser Arbeit stehen. Dank gebührt meinen geliebten Kindern Elias und Jella für all ihre Geduld und ihr Verständnis. Ich danke meinen geliebten Eltern Dr. Michael und Petra Langer für ihr Sein, ihr Zuhören und ihre unerschütterliche Liebe.