

Aus der Klinik für Kieferorthopädie
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Jörg A. Lisson, M.Sc.

**Analyse dentaler und skelettaler Merkmale von kieferorthopädischen Patienten
mit den KIG-Einzelanomalien D4 und D5**

**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES**

2025

vorgelegt von: Sotirios Lialiampis
geb. am: 27.04.1998 in Athen, Griechenland

Tag der Promotion: 11.12.2025

Dekan: Prof. Dr. Matthias Hannig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Gero Kinzinger

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Kolja Freier

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
1.1	Deutsche Zusammenfassung	1
1.2	Abstract	2
2	EINLEITUNG.....	5
2.1	Kieferorthopädische Indikationsgruppen (KIG)	5
2.2	Sagittale Abweichungen	6
2.2.1	Sagittale Frontzahnstufe (Overjet).....	7
2.2.1.1	Ätiologie	8
2.2.1.2	Therapiebedarf.....	9
2.2.2	Klassifikation sagittaler Okklusionsbeziehungen – die Angle-Klassifikation	10
2.2.3	Kephalometrische Parameter zur sagittalen Analyse	12
2.3	Literaturübersicht.....	13
2.3.1	Prävalenz der KIG-Klassifikationen	13
2.3.2	Angle-Klasse II/1: Relevanz, Symptomatik und Prävalenz	15
2.4	Ziel der Arbeit / Fragestellung.....	17
3	MATERIAL UND METHODE	18
3.1	Patienten	18
3.1.1	Einschluss- und Ausschlusskriterien	20
3.2	Methoden	21
3.2.1	Modellanalyse	21
3.2.1.1	Sagittale Parameter	21
3.2.1.2	Transversale Parameter.....	24
3.2.1.3	Vertikale Parameter	26
3.2.2	Kephalometrische Analyse.....	26
3.2.2.1	Referenzpunkte der kephalometrischen Analyse	26

3.2.2.2	Referenzlinien der kephalometrischen Analyse	28
3.2.2.3	Sagittale Messungen.....	31
3.2.2.4	Vertikale Messungen.....	33
3.2.2.5	Normalbereiche der kephalometrischen Messwerte	33
3.2.3	Kephalometrische Profilanalyse	34
3.2.4	Statistische Auswertung	36
4	ERGEBNISSE	38
4.1	Normalverteilungstests	38
4.2	Methodenfehler	41
4.2.1	Methodenfehler der Modellanalyse	41
4.2.2	Methodenfehler der kephalometrischen Analyse	42
4.3	Kephalometrische Analyse	43
4.3.1	Deskriptive Statistik.....	43
4.3.2	Häufigkeitsverteilungen	45
4.3.3	Die 10 häufigsten Gruppen von diagnostischen Kombinationen.....	49
4.3.4	Korrelationsanalyse.....	51
4.4	Kephalometrische Profilanalyse	53
4.4.1	Deskriptive Statistik.....	53
4.4.2	Häufigkeitsverteilungen	55
4.5	Modellanalyse	56
4.5.1	Deskriptive Statistik.....	56
4.5.1.1	Deskriptive Statistik der Differenzen der Zahnbogenbreiten.....	58
4.5.2	Häufigkeitsverteilungen	61
4.5.3	Die 5 häufigsten Gruppen von diagnostischen Kombinationen.....	63
4.5.3.1	Transversale Enge und vergrößerter SIOK	65
4.5.4	Korrelationsanalyse.....	66
4.6	Vergleich der D4- und D5-Daten.....	68

4.6.1	Kephalometrische Analyse	68
4.6.2	Kephalometrische Profilanalyse	69
4.6.3	Modellanalyse	70
5	DISKUSSION	73
5.1	Patienten	73
5.2	Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung	73
5.3	Diskussion der Ergebnisse der kephalometrischen Analyse	74
5.3.1	Skelettale Parameter	75
5.3.2	Dentale Parameter	77
5.3.3	Kephalometrische Profilanalyse	79
5.3.3.1	Interpretation konkaver Profile	80
5.3.3.2	Weichteilkompensation	83
5.4	Diskussion der Ergebnisse der Modellanalyse	84
5.4.1	Transversale Enge	84
5.4.2	Vergrößerter SIOK	86
5.4.3	Tiefbiss	86
5.4.4	Distalokklusion	87
5.5	Vergleich zwischen KIG-D4/D5- und Angle-Klasse-II/1-Patienten	87
5.6	Zusammenfassung/ Schlussfolgerung	90
6	LITERATURVERZEICHNIS	93
7	PUBLIKATION / DANKSAGUNG	99
7.1	Publikation	99
7.2	Danksagung	99
8	LEBENS LAUF	100

1 Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Hintergrund und Ziel:

Die vorliegende retrospektive Studie untersucht die skelettalen und alveolären Merkmale von Patienten, die gemäß dem in Deutschland seit 2002 etablierten Kieferorthopädischen Indikationsgruppen-(KIG) System den Einzelanomalien D4 und D5 zugeordnet wurden. Diese Anomalien der Indikationsgruppe D zeichnen sich durch eine ausgeprägte sagittale Frontzahnstufe aus und gehören laut aktueller Studienlage zu den häufigsten kieferorthopädischen KIG-Einstufungen in Deutschland. Ziel der Arbeit war es, die beteiligten skelettalen und alveolären Merkmale systematisch zu erfassen und zu analysieren. Auf dieser Basis wurden sowohl Unterschiede zwischen den Gruppen D4 und D5 als auch Übereinstimmungen und Abweichungen im Vergleich zur in der Literatur beschriebenen Symptomatik der Angle-Klasse II/1-Malokklusion herausgearbeitet.

Methoden:

In die vorliegende Untersuchung wurden insgesamt 225 gesetzlich krankenversicherte Patienten (116 weiblich, 109 männlich) mit einem durchschnittlichen Alter von $11,41 \pm 1,77$ Jahren eingeschlossen. Die Patienten wurden im Rahmen einer Hauptbehandlung nach dem KIG-System in die Einzelanomalien D4 oder D5 eingestuft. Die Datenerhebung erfolgte für die D5-Gruppe über den Zeitraum 2012–2021 und für die D4-Gruppe für den Zeitraum 2017–2021. Die diagnostischen Unterlagen umfassten Modellanalysen sowie kephalometrische Auswertungen von Fernröntgenseitenaufnahmen jeweils zum Zeitpunkt der Anfangsdiagnostik. Die erfassten Parameter wurden für beide Gruppen getrennt analysiert und im Anschluss statistisch miteinander verglichen.

Ergebnisse:

Die Altersverteilung der Patienten zeigte eine deutliche Häufung im Bereich zwischen 9 und 12 Jahren, dem typischen Zeitraum der kieferorthopädischen Diagnosestellung im späten Wechselgebiss. Im Rahmen der kephalometrischen Auswertung wurde eine deutliche skelettale Klasse-II-Dysgnathie festgestellt, die vorrangig durch eine mandibuläre Rücklage charakterisiert ist. Die Maxilla zeigte eine weitgehend orthognathe sagittale Lage mit geringer prognather Tendenz. Dentale Auffälligkeiten umfassten eine signifikante Protrusion der oberen Frontzähne sowie eine dentale Kompensation im Unterkiefer ebenfalls in Form einer Protrusion. Innerhalb der D5-Gruppe waren diese Merkmale akzentuiert: Die mandibuläre Rücklage und die Protrusion der oberen Inzisivi waren stärker ausgeprägt, während die den-

tale Kompensation im Unterkiefer vermindert war. Das Wachstumsmuster ist in beiden Gruppen überwiegend horizontal und in der kephalometrischen Profilanalyse dominieren konvexe Gesichtsprofile.

Die Modellanalyse zeigt eine ausgeprägte transversale Enge in beiden Kiefern. Gleichzeitig liegt in vielen Fällen eine Tonn'sche Diskrepanz infolge eines Zahnmaterialüberschusses im Frontzahnbereich des Oberkiefers vor. Diese Kombination aus eingeschränkter Basalstruktur und überschüssigem Zahnmaterial begünstigt eine labiale Ausweichposition der oberen Inzisivi und konnte bei einem relevanten Teil der Patienten beobachtet werden. Begleitend zeigen sich häufig eine beidseitige Distalokklusion sowie ein vergrößerter Overbite (Tiefbiss), bedingt durch die fehlende inzisale Abstützung.

Der Vergleich mit der Angle-Klasse II/1-Symptomatik zeigt, dass sich die untersuchten D4-/D5-Patienten grundsätzlich innerhalb des bekannten Merkmalspektrums dieser Dysgnathieform bewegen, zugleich aber spezifische Ausprägungen erkennen lassen, insbesondere die Kombination aus horizontalem Wachstumsmuster und funktionell bedingtem Tiefbiss, die in der Literatur bislang nur selten thematisiert wird.

Schlussfolgerung:

Die Analyse der D4- und D5-Gruppen zeigt ein komplexes, multifaktorielles Profil, das weniger durch ein einzelnes Leitsymptom, sondern durch ein konsistentes Muster häufig koexistierender struktureller und funktioneller Abweichungen geprägt ist. D4- und D5-Patienten zeigen skelettale und alveoläre Merkmale, die mit der Angle-Klasse II/1 vergleichbar sind, jedoch spezifische Besonderheiten aufweisen. Innerhalb der D-Gruppen zeigen sich zudem graduelle Unterschiede in der Merkmalsausprägung, wobei bei D5-Patienten tendenziell ausgeprägtere skelettale und dentale Abweichungen vorkommen. Die Ergebnisse unterstreichen die Relevanz einer umfassenden kieferorthopädischen Diagnostik in allen 3 Raumebenen, die über die reine sagittale Einordnung hinausgeht.

1.2 Abstract

Dissertation Title: Analysis of dental and skeletal characteristics of orthodontic patients with the individual KIG anomalies D4 and D5

Background and Objective:

This retrospective study investigates the skeletal and alveolar characteristics of patients classified under the individual anomalies D4 and D5, according to the orthodontic indication group (KIG) system established in Germany in 2002. The anomalies in the D-indication group are characterized by an increased overjet and, according to recent studies, represent

the most common KIG classifications in Germany. The aim of this study was to systematically document and analyze the associated skeletal and alveolar features. Based on these findings, differences and similarities between the D4 and D5 groups were identified, along with any deviations from the typical symptoms of Angle-Class II/1 malocclusion as described in the literature.

Methods:

This study included a total of 225 patients with statutory health insurance (116 female, 109 male), with a mean age of 11.41 ± 1.77 years. As part of their primary orthodontic treatment, patients were classified under the individual anomalies D4 or D5 according to the KIG system. Data for the D5 group were collected between 2012 and 2021, while data for the D4 group covered the period from 2017 to 2021. Diagnostic records included cast analyses and cephalometric evaluations based on lateral cephalograms taken at the time of the initial diagnosis. All recorded parameters were analyzed separately for each group and subsequently compared statistically.

Results:

The age distribution of the patients showed a distinct peak between 9 and 12 years, aligning with the typical period for orthodontic diagnosis during the late mixed dentition phase. Cephalometric analysis revealed a pronounced skeletal Class II relation, primarily characterized by mandibular retrusion. The maxilla generally exhibited a normal sagittal position with a slight tendency toward prognathism. Dental findings included significant protrusion of the upper incisors and compensatory protrusion of the lower incisors. These characteristics were more prominent in the D5 group, where mandibular retrusion and upper incisor protrusion were more pronounced, while dental compensation in the lower jaw was diminished. In both groups, the growth pattern was predominantly horizontal and cephalometric profile analysis revealed predominantly convex facial profiles.

Cast analysis indicated a marked transverse constriction in both jaws. In many cases, this was accompanied by a Tonn discrepancy, resulting from excess tooth material in the upper anterior region. This combination of restricted basal bone structure and excess dental mass contributed to a labial displacement of the upper incisors, observed in a significant portion of the patients. Additionally, bilateral distal occlusion and an increased overbite (deep bite) were frequently present, attributable to the lack of incisal support.

When compared with the characteristic features of Angle Class II/1 malocclusion, the D4 and D5 patients examined in this study largely fell within the established spectrum of this malocclusion type. However, distinct features were also identified, most notably the combination of

a horizontal growth pattern with a functionally induced deep bite, which has been rarely addressed in the existing literature.

Conclusion:

The analysis of the D4 and D5 groups reveals a complex, multifactorial profile that is not characterized by a single leading symptom but rather by a consistent pattern of frequently coexisting structural and functional abnormalities. While D4 and D5 patients generally exhibit skeletal and alveolar features comparable to Angle-Class II/1 malocclusions, specific peculiarities are present. Furthermore, gradual differences in feature expression are observed within the D groups, with D5 patients tending toward more pronounced skeletal and dental deviations. The results underscore the importance of comprehensive orthodontic diagnosis in all three spatial planes, which goes beyond the pure sagittal classification.

2 Einleitung

2.1 Kieferorthopädische Indikationsgruppen (KIG)

Die kieferorthopädische Diagnostik zielt darauf ab, Fehlentwicklungen des Kausystems, Fehlstellungen der Zähne und Bissanomalien sowie Kieferfehlbildungen und Deformitäten des kraniofazialen Skeletts zu erkennen. In Deutschland wird die Notwendigkeit einer kieferorthopädischen Behandlung seit dem Jahr 2002 nach einem standardisierten System, den Kieferorthopädischen Indikationsgruppen (KIG), beurteilt [73]. Dieses Indexsystem wurde im Rahmen der gesetzlichen Krankenversicherung (GKV) eingeführt und dient dazu, den kieferorthopädischen Behandlungsbedarf objektiv zu bewerten sowie eine einheitliche Grundlage für die Kostenübernahme durch die gesetzlichen Krankenkassen zu schaffen.

Das in Deutschland angewendete KIG-System, stellt eine Modifikation des von Brook und Shaw (1989) im Vereinigten Königreich entwickelten Index of Orthodontic Treatment Need (IOTN) dar [74]. Zahlreiche weitere kieferorthopädische Indizes wurden im internationalen Kontext entwickelt, um Ausprägung, Behandlungsbedarf und Komplexität dentofazialer Anomalien systematisch zu erfassen [1,32,34,67].

Während der IOTN sowohl funktionelle als auch ästhetische Kriterien berücksichtigt, fokussiert sich das KIG-System auf die rein funktionelle Einstufung, was eine eingeschränkte Differenzierung hinsichtlich ästhetischer und subjektiv empfundener Behandlungsnotwendigkeiten bedeutet [1,8,74].

Die Einstufung im KIG-System erfolgt in 11 Indikationsgruppen (A–P), die verschiedene Zahnstellungs- und Kieferanomalien repräsentieren. Innerhalb jeder KIG-Gruppe erfolgt eine weitere Unterteilung in Behandlungsbedarfsgrade 1 bis 5. Dabei gilt, dass nur Befunde ab KIG- Grad 3 als behandlungsbedürftig im Sinne der gesetzlichen Krankenversicherung eingestuft werden. Dies bedeutet, dass eine kieferorthopädische Behandlung nur dann erstattungsfähig ist, wenn die Anomalie einen bestimmten Ausprägungsgrad erreicht, sodass eine Beeinträchtigung der Kaufunktion, des Bisses, der Artikulation oder der Atmung vorliegt oder zu erwarten ist [20]. Zu beachten ist, dass die KIG-Einstufung vor dem 18. Lebensjahr erfolgen muss, um eine Behandlung im Rahmen der vertragszahnärztlichen Versorgung zu rechtfertigen. Ausnahmefälle beschränken sich lediglich auf erwachsenen Patienten, bei denen aufgrund von ausgeprägten skelettalen Fehlstellungen eine kombinierte kieferorthopädische und kieferchirurgische Therapie erforderlich ist [74]. **Tabelle 1** gibt eine Übersicht über die 11 Kieferorthopädischen Indikationsgruppen (KIG), ihre 5 Behandlungsbedarfsgrade und 29 Einzelanomalien [20].

Tabelle 1: Kieferorthopädische Indikationsgruppen (KIG) gemäß den Richtlinien des Bundesausschusses der Zahnärzte [20]

KIG-Klassifikation	Beschreibung	Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4	Grad 5
A	Kraniofaziale Anomalien	–	–	–	–	Lippen-Kiefer-Gaumenspalte bzw. andere kraniofaziale Anomalie
U	Fehlende Zähne (Aplasie oder Zahnverlust)	–	–	–	Unterzahl (nur wenn präprothetische Kieferorthopädie oder kieferorthopädischer Lückenschluss indiziert)	–
S	Durchbruchsstörungen	–	–	–	Retention (außer 8er)	Verlagerung (außer 8er)
D	Sagittale Stufe distal	≤3	>3–6	–	>6–9	>9
M	Sagittale Stufe mesial	–	–	–	0≤3	>3
O	Vertikale Stufe offen (auch seitlich)	≤1	>1–2	>2–4	>4, habituell offen	>4, skelettal offen
T	Vertikale Stufe tief	>1–3	>3 ohne/mit Gingivakontakt	> 3 mit traumatischem Gingivakontakt	–	–
B	Transversale Abweichung	–	–	–	Bukkal-/Lingual-Okklusion	–
K	Transversale Abweichung	–	Kopfbiss	Beidseitiger Kreuzbiss	Einseitiger Kreuzbiss	–
E	Kontaktpunktabweichung	≤1	>1–3	>3–5	>5	–
P	Platzmangel	–	≤3	>3–4	>4	–

(Angaben in mm)

2.2 Sagittale Abweichungen

Da sich die vorliegende Dissertation auf die detaillierte Analyse der dentoalveolären und skelettalen Merkmale von Patienten, die als gemeinsames Merkmal eine ausgeprägte sagittale Stufe aufweisen, fokussiert, erfolgt in diesem Kapitel eine knappe Darstellung der wichtigsten Klassifikationssysteme zur Beurteilung sagittaler Abweichungen. Dabei werden zentrale sagittale Einteilungskriterien im Rahmen der Modellanalyse sowie relevante skelettale Para-

meter der Fernröntgenseitanalyse erläutert, um ein grundlegendes Verständnis für die diagnostische Einordnung der untersuchten Patientenkollektive (KIG D4/D5) zu ermöglichen.

2.2.1 Sagittale Frontzahnstufe (Overjet)

Die sagittale Frontzahnstufe, auch Overjet genannt, beschreibt den horizontalen Abstand zwischen den oberen und unteren Schneidezähnen im Schlussbiss. Sie ist ein zentrales diagnostisches Kriterium zur Beurteilung der sagittalen Okklusion.

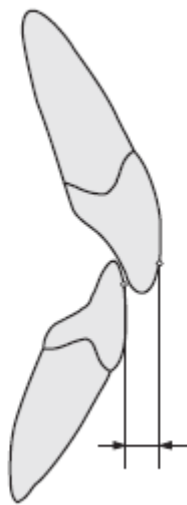


Abbildung 1: Messung der sagittalen Frontzahnstufe [59].

Gemessen wird der Overjet als Distanz von der Labialfläche des am weitesten anterior stehenden oberen mittleren Schneidezahns zur Labialfläche des gegenüberliegenden unteren mittleren Schneidezahns. Alternativ kann auch die Strecke von der Inzisalkante der oberen Schneidezähne bis zur Inzisalkante der unteren Schneidezähne gemessen werden, mit dem Hinweis, dass dies ein vereinfachtes Verfahren darstellt [70,74]. Ein physiologischer Overjet liegt bei etwa 2–3 mm [59].

Die Klassifikation der sagittalen Stufe im KIG-System erfolgt wie folgt:

- D1: Sagittale Stufe ≤ 3 mm (keine Behandlungsnotwendigkeit)
- D2: Sagittale Stufe > 3 mm bis ≤ 6 mm (keine Behandlungsnotwendigkeit)
- D4: Sagittale Stufe > 6 mm bis ≤ 9 mm (höhere Behandlungsdringlichkeit, Kostenübernahme durch Krankenkasse)
- D5: Sagittale Stufe > 9 mm (schwerwiegende Beeinträchtigung, hohe Dringlichkeit, Kostenübernahme durch Krankenkasse)

2.2.1.1 Ätiologie

Die Entstehung der vergrößerten sagittalen Frontzahnstufe (Overjet) ist multifaktoriell bedingt und kann sowohl auf skelettale, dentoalveoläre als auch funktionelle oder habituelle Faktoren zurückgeführt werden. Obwohl sie klassischerweise mit der Angle-Klasse II/1 assoziiert ist, darf sie nicht automatisch als Indikator einer skelettalen Klasse-II-Malokklusion gewertet werden. Eine differenzierte ätiologische Bewertung ist entscheidend für die Therapieplanung.

Skelettale und dentale Ursachen

Eine vergrößerte sagittale Frontzahnüberstellung kann aus verschiedenen strukturellen Komponenten resultieren. Auf skelettaler Ebene sind vor allem eine prognathe Maxilla oder eine retrognathe Mandibula im Sinne einer Klasse II/1-Malokklusion ursächlich. Dentale Ursachen umfassen eine protrudierte Oberkieferfront oder eine retrudierte Unterkieferfront [62,66,75,84].

Häufig liegen kombinierte dentale und skelettale Abweichungen vor. Während dentoalveoläre Symptome eher auf exogene, habituelle Ursachen wie Daumenlutschen, Lippenbeißen oder verlängerten Schnullergebrauch hinweisen, sind stark ausgeprägte skelettale Komponenten meist genetisch oder entwicklungsbedingt [75].

Auch funktionelle Zwangsbisse, z. B. infolge transversaler Engstände, elongierter Antagonisten oder asymmetrischer Höcker-Fissuren-Verzahnungen, können den Unterkiefer in eine dorsale Lage zwingen. Diese Zwangsführung kann die sagittale Stufe zusätzlich verstärken [75].

Funktionelle und habituelle Einflüsse

Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Entwicklung einer vergrößerten sagittalen Frontzahnüberstellung sind Habits wie Daumenlutschen, Schnullergebrauch, Mundatmung oder Zungenpressen. Diese myofunktionellen Gewohnheiten beeinflussen sowohl das skelettale als auch das dentale Wachstum und können eine Protrusion der Oberkieferfront oder eine Wachstumshemmung des Unterkiefers begünstigen [52,62,84].

Wie Turner et al. (1997) betonen, stellen myofunktionelle Habits und Dyskinesien einen wesentlichen exogenen ätiologischen Faktor für die Entstehung kieferorthopädischer Anomalien dar, insbesondere, wenn sie über einen längeren Zeitraum persistieren [80].

Ling et al. (2018) zeigten, dass insbesondere anhaltendes Daumenlutschen mit einem signifikant erhöhten Risiko für einen vergrößerten Overjet im Milchgebiss einhergeht. Dauer und Intensität des Habits korrelieren dabei direkt mit der Ausprägung des Befundes [52].

Auch Wichelhaus (2013) beschreibt typische klinische Folgen persistierender Habits, darunter protrudierte Oberkieferfrontzähne, verzögertes Unterkieferwachstum, eine reduzierte Lip-

penaktivität und ein verändertes Schluckmuster [84]. Ergänzend nennt Pietrzak (2012) die Mundatmung und das viszerale Schluckmuster als relevante funktionelle Einflussfaktoren auf die sagittale Stufe [62].

Traumatische und pathologische Einflüsse

Auch traumatische Ereignisse können die Entwicklung der Kiefer beeinflussen. So können z. B. Kondylusfrakturen, temporomandibuläre Gelenkentzündungen, Ankylosen oder häufige Mittelohrentzündungen im Kindesalter zu einer Wachstumshemmung des Unterkiefers führen und damit indirekt eine vergrößerte sagittale Stufe verursachen. Wichelhaus verweist in diesem Zusammenhang auf die häufige Kombination aus Unterkieferrücklage, reduziertem SNB-Winkel und offenem Biss nach Kiefergelenktrauma – klinische Befunde, die oft mit einem distalen Zwangsbiss einhergehen [75,84].

2.2.1.2 Therapiebedarf

Eine vergrößerte sagittale Frontzahnüberstellung ist nicht nur ein ästhetischer Befund, sondern kann funktionelle Einschränkungen, ein erhöhtes Trauma-Risiko und psychosoziale Belastungen mit sich bringen. Die kieferorthopädische Einstufung über die KIG-Klassifikation spiegelt dies wider: Ein Overjet von über 6 mm entspricht der Stufe D4 und begründet im späten Wechselgebiss eine reguläre Behandlung. Eine Überstellung von über 9 mm (D5) wird als besonders behandlungsbedürftig eingestuft und rechtfertigt eine Therapie bereits im frühen Wechselgebiss. Die Schwellenwerte dieser Klassifikation werden durch aktuelle wissenschaftliche Daten klar gestützt.

Traumaanfälligkeit

Die Traumaanfälligkeit nimmt mit zunehmender sagittaler Stufe deutlich zu [5,6,12,26,28,72]. Ein Overjet von ≥ 6 mm ist mit einem bis zu 3,4-fach erhöhten Risiko für Frontzahnverletzungen verbunden [6,74]. Kinder mit Lippeninkompetenz und gleichzeitigem Overjet über 6 mm zeigen eine signifikant höhere Inzidenz von dentalen Traumata [26]. Auch im Milchgebiss konnte ein erhöhtes Risiko nachgewiesen werden: Vorschulkinder mit einer sagittalen Stufe ≥ 3 mm waren überdurchschnittlich häufig von Schneidezahnfrakturen betroffen [5]. Petti (2015) schätzt, dass weltweit über 200 Millionen Traumata anteriorer Zähne auf übergroßen Overjet zurückzuführen sind [61]. In Anbetracht dieser Daten sprechen sich mehrere Autoren für eine frühzeitige Reduktion der sagittalen Stufe aus, um traumatische Schäden präventiv zu vermeiden [11,22].

Ästhetische und psychosoziale Beeinträchtigungen

Darüber hinaus kann eine stark ausgeprägte sagittale Stufe die Lippenfunktion erheblich beeinträchtigen. Patienten mit vergrößertem Overjet weisen häufig eine Lippeninkompetenz,

offene Mundhaltung, sowie muskuläre Dysbalancen im orofazialen Bereich auf, was sich auf das Schluckmuster, die Phonation und die Artikulation auswirken kann [84]. Gleichzeitig kann die sichtbare Fehlstellung der Frontzähne die ästhetische Wahrnehmung der Betroffenen deutlich beeinträchtigen und zu sozialer Unsicherheit, vermindertem Selbstwertgefühl oder Mobbing Erfahrungen führen. Studien zeigen, dass Kinder mit ausgeprägten Klasse-II-Malokklusionen und vergrößertem Overjet eine signifikant schlechtere „oral health-related quality of life“ aufweisen als solche mit neutraler Okklusion [51].

Funktionelle und parodontale Folgen

Die Einschränkung der Abbeiß- und Kaufunktion, vor allem bei singulärem Antagonismus, ist ein häufiger funktioneller Befund. Bei Anteinklination der oberen Schneidezähne in Kombination mit einem vergrößerten Overjet kann zudem eine Einlagerung der Unterlippe zwischen die Frontzähne auftreten, was neben ästhetischen Einbußen auch zu Artikulationsproblemen führen kann. Auch eine parodontale Schädigung ist möglich, insbesondere bei zusätzlichem Tiefbiss mit Einbiss in die Gaumenschleimhaut [75].

Kiefergelenksbezogene Komplikationen

Ergänzend zeigt sich, dass Patienten mit Klasse II-Malokklusion, wie sie bei D4- und D5-Patienten häufig vorliegt, auch ein erhöhtes Risiko für temporomandibuläre Dysfunktionen (TMD) tragen. Studien berichten von einer posterioren Kondylusverlagerung, veränderter Gelenkmorphologie und funktionellen Einschränkungen im Kiefergelenk, insbesondere bei mandibulärer Rücklage. Auch das Myofasziale Schmerzsyndrom wird in diesem Zusammenhang häufiger beobachtet. [39,56,65,81].

2.2.2 Klassifikation sagittaler Okklusionsbeziehungen – die Angle-Klassifikation

Da die sagittalen Okklusionsbeziehungen im engen Zusammenhang mit der sagittalen Frontzahnstellung stehen, ist ihre Erläuterung von besonderer Relevanz.

Die dentale Einteilung der sagittalen Okklusionsbeziehungen erfolgt gemäß der Klassifikation von Edward Hartley Angle (1899), die sich auf die Relation der ersten Molaren und der Eckzähne im Ober- und Unterkiefer stützt [4].

Dieses System stellt eine der grundlegendsten und bis heute etablierten Methoden zur Kategorisierung der sagittalen Abweichungen dar und ermöglicht eine standardisierte Beurteilung der sagittalen Verzahnungssituation. Die Einteilung erfolgt in drei Hauptklassen:

1. Klasse I (Neutralokklusion): Der mesiobukkale Höcker des ersten oberen Molaren greift in die bukkale Furche des ersten unteren Molaren. Gleichzeitig befindet sich die

Spitze des oberen Eckzahns zwischen dem unteren Eckzahn und dem ersten Prämolaren. Diese Anordnung entspricht der idealen Verzahnung. (**Abb. 2**).

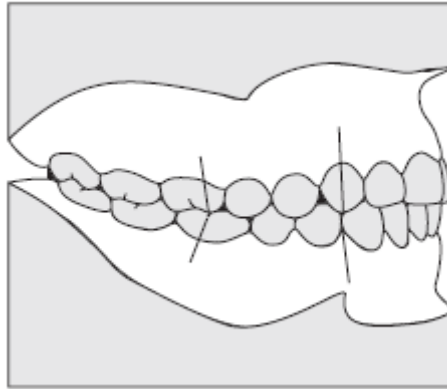


Abbildung 2: Die Angle-Klasse I (Neutralokklusion) [59].

2. Klasse II (Distalokklusion): Hierbei liegt der erste untere Molar weiter posterior als normal in Relation zum ersten oberen Molar. Der obere Eckzahn steht vor dem unteren Eckzahn und dem ersten Prämolaren. Diese Klasse wird in zwei Untergruppen unterteilt (**Abb. 3**):

- Klasse II/1: Die oberen Frontzähne sind nach vestibulär gekippt, was zu einem vergrößerten Overjet führt.
- Klasse II/2: Die oberen Frontzähne sind nach palatinal gekippt, oft begleitet von einem Tiefbiss.

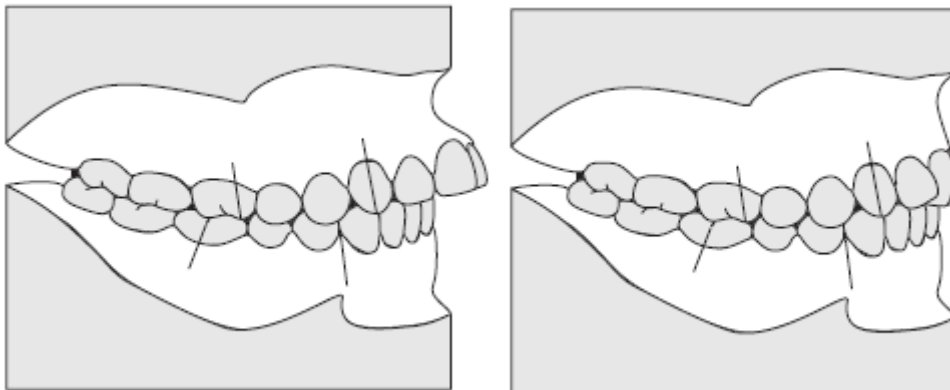


Abbildung 3: Die Angle-Klasse II/1 (links) und die Angle-Klasse II/2 (rechts) (Distalokklusion) [59].

3. Klasse III (Mesialokklusion): Bei dieser Fehlstellung befindet sich der erste untere Molar weiter anterior als normal in Relation zum ersten oberen Molar. Der obere Eckzahn steht hinter dem unteren Eckzahn und dem ersten Prämolaren. Dies kann mit einem negativen Overjet einhergehen, bei dem die unteren Frontzähne vor den oberen Frontzähnen stehen (**Abb. 4**).

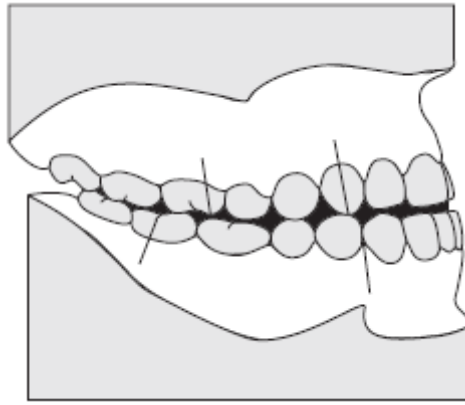


Abbildung 4: Die Angle-Klasse III (Mesialokklusion) [59].

2.2.3 Kephalometrische Parameter zur sagittalen Analyse

Die Einteilung sagittaler Okklusionsbeziehungen anhand der Angle-Klassifikation beschränkt sich auf die dentale Ebene, da sie ausschließlich die Position von Molaren und Eckzähnen berücksichtigt. Eine Aussage über die Lagebeziehung der skelettalen Strukturen, insbesondere der Maxilla und Mandibula, ist mit diesem Ansatz nicht möglich [59]. Zur Erfassung skelettaler Komponenten ist daher die kephalometrische Analyse notwendig, die durch standardisierte Bezugspunkte und Linien im Fernröntgenseitenbild eine objektive Beurteilung der knöchernen Verhältnisse ermöglicht.

Im Zentrum der sagittalen Analyse stehen der ANB-Winkel und der Wits-Wert, die sich als komplementäre Instrumente in der kephalometrischen Diagnostik etabliert haben.

Der ANB-Winkel beschreibt die anterioposteriore Beziehung zwischen Ober- und Unterkiefer im Verhältnis zur vorderen Schädelbasis und ermöglicht eine grundsätzliche Einordnung der sagittalen Kieferrelation. Aufgrund seiner Abhängigkeit von kranialen Referenzstrukturen kann dieser Parameter jedoch durch individuelle anatomische Variationen, wie die Lage oder Neigung der Schädelbasis, beeinflusst werden [82].

Zur Minimierung dieser potenziellen Verzerrungen wird der ANB-Winkel durch den Wits-Wert ergänzt, der 1976 von Jacobson eingeführt wurde [41]. Der Wits-Wert beurteilt die sagittale Kieferrelation anhand der funktionellen Okklusionsebene und verzichtet dabei auf Referenzpunkte der Schädelbasis. Diese Betrachtung bietet somit eine zusätzliche Perspektive, insbesondere in diagnostisch uneindeutigen Fällen [77,85]. Die gleichzeitige Anwendung beider Parameter ermöglicht eine differenzierte und zuverlässig interpretierbare Einschätzung der skelettalen Lagebeziehung.

Untersuchungen haben gezeigt, dass bei bis zu 50 % der Fälle eine unterschiedliche Klassifikation der sagittalen Kieferbeziehung durch ANB- und Wits-Wert resultiert, obwohl die Pati-

enten über ein weitgehend neutrales Gesichtsprofil verfügen [85]. Dies verdeutlicht die Grenzen einer isolierten Betrachtung.

Eine konsistente Interpretation beider Größen spricht in der Regel für eine eindeutige skelettale Klassenzuordnung, während abweichende Befundkonstellationen häufig auf kompensatorische dentoalveoläre Anpassungen oder funktionelle Einflüsse hinweisen.

Eine detaillierte Darstellung der Definition, Messmethodik und klinischen Anwendung dieser beiden Parameter erfolgt im **Kapitel 3.2.2**.

2.3 Literaturübersicht

2.3.1 Prävalenz der KIG-Klassifikationen

Die Analyse der Häufigkeit kieferorthopädischer Anomalien stellt eine wesentliche Grundlage dar, um den Versorgungsbedarf innerhalb der Bevölkerung fundiert einschätzen zu können. In Deutschland bietet das etablierte KIG-System (Kieferorthopädische Indikationsgruppen) eine standardisierte Bewertungsgrundlage und kann als Instrument für epidemiologische Untersuchungen verwendet werden.

Daten aus klinischen Untersuchungen zeigen dabei eine insgesamt hohe Prävalenz behandlungsbedürftiger Befunde. So ergab eine Studie von Glasl et al. (2004) an 1.251 Frankfurter Schulkindern im Alter von 9 bis 11 Jahren, dass bei 41,4 % der Kinder eine Indikation für eine kieferorthopädische Behandlung im Sinne des KIG-Systems (Einstufung Behandlungsbedarfsgrad ≥ 3) vorlag und somit eine Erstattung durch die gesetzlichen Krankenkassen gerechtfertigt wäre [31].

Eine ähnliche Verteilung zeigte sich auch in der Dissertation von Assimakopoulou (2004), die auf Modellanalysen von 526 Kindern im Alter zwischen 9 und 10 Jahren basierte. Dort wurde festgestellt, dass bei 46 % der untersuchten Kinder ein kieferorthopädischer Therapiebedarf bestand [7].

Vor dem Hintergrund der insgesamt hohen Prävalenz kieferorthopädischer Behandlungsindikationen erscheint es besonders bedeutsam, auch die Verteilung innerhalb der einzelnen KIG-Klassifikationen näher zu betrachten. Die am häufigsten vorkommenden Indikationsgruppen verdienen dabei besondere Aufmerksamkeit, da sie eine zentrale Rolle für die Versorgungsplanung und Priorisierung im Rahmen der gesetzlichen Krankenversorgung spielen.

Die Sechste Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS-6) (2021) bietet hierzu umfassende Daten zur Häufigkeit verschiedener KIG-Befunde in Deutschland. Im Rahmen dieser Studie wurde eine repräsentative Untersuchung zur Verbreitung von Zahn- und Kieferfehlstellungen bei Kindern im Alter von 8 bis 9 Jahren in Deutschland dargestellt. Innerhalb des untersuch-

ten Kollektivs wurde insbesondere die hohe Prävalenz der KIG-D4-Einzelanomalie mit 16,5% festgestellt. Die Prävalenz der D5- Einzelanomalie lag hingegen bei 3,2% [43,44].

Im Rahmen der DMS-6 wurden ebenfalls Abrechnungsdaten der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung (KZBV) aus dem Jahr 2020 analysiert, die nur Informationen zu den KIG-Behandlungsbedarfsgraden 3 bis 5 über verschiedene Altersgruppen hinweg enthalten. Die KZBV-Daten aus 2020 zeigen, dass sagittale Abweichungen (KIG D und M) die häufigsten behandlungsbedürftigen Befunde darstellen. Die KIG-Indikationsgruppe D wurde in 33,7 % der Fälle diagnostiziert, während die KIG-Indikationsgruppe M 18,6 % ausmachte. Zusammengekommen machten sagittale Fehlstellungen über 50 % aller behandlungsbedürftigen Anomalien aus [43].

Eine fünfjährige unizentrische Querschnittsstudie von Kinzinger et al. (2024) hatte das Ziel, die Ergebnisse der multizentrischen DMS-6 (2021) sowie der KZBV-Daten (2020) auf regionaler Ebene zu überprüfen und zu vergleichen. Die Analyse bestätigte, dass bei den KIG-Einstufungen die sagittalen Abweichungen (KIG D und M) zusammen 47,4% aller behandlungsbedürftigen KIG-Befunde ausmachten. Insgesamt wurden 34,4% Prozent der untersuchten Patienten der KIG-Indikationsgruppe D zugeordnet. Dabei wurde KIG-D4 als die häufigste Einzelanomalie mit 26,6% identifiziert. Zudem ergab die Untersuchung, dass keine signifikanten regionalen Abweichungen im Vergleich zu den bundesweiten Daten der DMS-6 und der KZBV in der untersuchten Population im Kreis Viersen (Nordrhein-Westfalen) feststellbar sind, was die Übertragbarkeit der nationalen Ergebnisse auf regionaler Ebene bestätigt [48].

In einer weiteren Studie von Kinzinger et al. (2024) wurde die Prävalenz behandlungsbedürftiger Befunde nach der KIG-Klassifikation über einen Zeitraum von 20 Jahren (2002-2021) in einer kieferorthopädischen Praxis in Nordrhein-Westfalen untersucht. 24,98% der 4.940 untersuchten PatientInnen wurden der Indikationsgruppe D (sagittale Stufe distal) zugeordnet. Mit einem Anteil von 19,6 % stellte KIG-D4 die am häufigsten diagnostizierte Einzelanomalie dar. KIG-D5 wurde bei 4,7 % der Fälle festgestellt. Zusammengekommen lag die Prävalenz für D4- und D5-Befunde bei insgesamt 24,3 %. Die Altersverteilung sowie die Prävalenz der behandlungsbedürftigen KIG-Grade 3–5 stimmen weitgehend mit den bundesweiten Vergleichsdaten überein. Zudem wurde über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg eine relative Konstanz der Malokklusionsmuster beobachtet, was darauf hindeutet, dass sagittale Fehlstellungen eine stabile strukturelle Anomalie darstellen und nicht nur als temporäre Wachstumserscheinung auftreten [49].

2.3.2 Angle-Klasse II/1: Relevanz, Symptomatik und Prävalenz

Relevanz

Die KIG-D4- und D5-Einzelanomalien und die Angle-Klasse II/1 zeigen eine diagnostische Überschneidung, da beide durch eine ausgeprägte sagittale Stufe gekennzeichnet sind. Dementsprechend liegt die Hypothese nahe, dass sie auch durch eine vergleichbare dentoskelettale Symptomatik charakterisiert werden könnten. Da bislang keine Studien zur dentoskelettalen Ausprägung der D-Indikationsgruppe im deutschen KIG-System vorliegen, erscheint die Darstellung der wissenschaftlich gut untersuchten Klasse II/1 als naheliegender Referenzrahmen.

Die ätiologischen Zusammenhänge, insbesondere im Hinblick auf die vergrößerte sagittale Frontzahnstufe, wurden bereits in **Kapitel 2.2.1.1** ausführlich dargestellt und bilden eine Grundlage für das Verständnis der folgenden Betrachtungen.

Dentoskelettale Symptomatik der Klasse II/1

Ein zentrales skelettale Merkmal ist die mandibuläre Retrognathie, also eine Rücklage des Unterkiefers gegenüber der Schädelbasis. Diese wird in zahlreichen Studien als häufigster ursächlicher Faktor beschrieben. Dabei wird häufig auch eine verkürzte mandibuläre Länge festgestellt [3,16,27,30,35,37,54,57,60,68].

Darüber hinaus berichten mehrere Autoren von einer maxillären Prognathie als zusätzliches Merkmal der Angle-Klasse II/1, hauptsächlich in Kombination mit einer mandibulären Rücklage [3,16,27,69]. Gleichzeitig finden sich in der Literatur aber auch Hinweise auf eine neutrale maxilläre Position [38,40,54,68].

Die dentale Ausprägung der Angle-Klasse II/1 zeigt, ähnlich wie die skelettalen Komponenten, eine Variabilität. Eine Protrusion der OK-Front wurde unter anderem von Drelich (1948), Riedel (1952), Hunter (1966) und Harris (1960) als häufiges Merkmal beschrieben. Pancherz (1997) stellte sie in rund 20 % seiner Fälle fest. Henry (1957) hingegen beobachtete in seiner Untersuchung eine neutrale sagittale Position der oberen Frontzähne [27,35,37,40,60,68].

Die zuvor beschriebenen dentoskelettalen Merkmale treten dabei häufig nicht isoliert, sondern in unterschiedlichen Kombinationen auf [14].

Wachstumsmuster

Das Wachstumsmuster der Angle-Klasse II/1 zeigt in der Literatur unterschiedliche Tendenzen. McNamara (1981) beschreibt eine große Variation in der Wachstumsrichtung, wobei in etwa 50 % der Fälle ein vertikal betontes Wachstum mit dorsokaudaler mandibulären Rotation auftritt. Weitere Studien beschreiben ähnliche vertikale Muster (Miethke und Lemke 2004;

Henry 1957; Hunter 1966), während andere auf ein eher horizontales Wachstumsmuster bei einem Teil der Patienten hinweisen [21,37,40,46,54,57,60].

Transversale Parameter

Eine differenzierte Betrachtung bietet die longitudinale Untersuchung von Baccetti et al. (1997), in der bereits im Milchgebiss eine signifikante transversale Diskrepanz zwischen Ober- und Unterkiefer nachgewiesen wurde. Diese resultierte primär aus einer verminderten Breite des Oberkiefers und nahm im Verlauf bis zum Wechselgebiss weiter zu. Auch McNamara (1996) berichtete, dass eine reduzierte transversale Dimension des Oberkiefers eng mit der Entstehung von dentalen Engständen und protrusiven Frontzahnstellungen assoziiert ist. Ergänzend bestätigten Kapoor et al. (2015) die zentrale Rolle der posterioren transversalen Diskrepanz im Oberkiefer bei der funktionellen Beeinflussung der mandibulären Position im Rahmen einer Klasse II/1-Malokklusion. Der Befund unterstreicht die transversale Einengung als eigenständiges, früh manifestierendes Merkmal der Angle-Klasse-II/1-Morphologie [9,45,55].

Prävalenz

Epidemiologische Studien bestätigen weiterhin, dass die Angle-Klasse-II/1-Malokklusion die häufigste Zahnfehlstellung in Europa darstellt, was auch in der KIG-Indikationsgruppe D widergespiegelt werden könnte.

Laut De Ridder et al. (2022) liegt die Prävalenz von Klasse-II-Malokklusionen in Europa bei durchschnittlich 25 %, während Bilgic et al. (2015) in einer türkischen Population eine Klasse-II/1-Häufigkeit von bis zu 40 % fanden. Alhammadi et al. (2018) zeigten zudem, dass europäische Populationen mit 33,51 % weltweit die höchste Prävalenz von Klasse-II-Malokklusionen aufweisen [2,13,25].

Unter der Annahme, dass KIG-D4-Patienten überwiegend eine Angle-Klasse II/1-Fehlstellung aufweisen, deutet die hohe Übereinstimmung der Prävalenz darauf hin, dass beide Klassifikationssysteme ähnliche Fehlstellungen erfassen. Daher ist es naheliegend, in unserer Untersuchung der KIG-D4- und D5-Einzelanomalien ähnliche Merkmale wie bei der Angle-Klasse II/1 zu erwarten.

2.4 Ziel der Arbeit / Fragestellung

Trotz umfangreicher Forschung bezüglich der Prävalenz von KIG-Befunden besteht eine Lücke in der detaillierten Charakterisierung der am häufigsten vorkommenden sagittalen Abweichungen der D-Indikationsgruppe, die als zentrale Gruppe innerhalb der sagittalen Dysgnathien gilt [45,49,51]. Diese Dissertation widmet sich der umfassenden Analyse der dentoskelettalen Symptomatik von D4- und D5-Patienten, um deren skelettale, dentale und faziale Profilmerkmale systematisch zu untersuchen. Während D4 als die klinisch bedeutsamste und häufigste Form der sagittalen KIG-Befunde betrachtet wird, dient die Untersuchung der D5-Gruppe, um festzustellen, ob und in welchem Maße sich diese Patienten von der D4-Gruppe unterscheiden. Dabei sollen zunächst die charakteristischen skelettalen und dentalen Merkmale jeder Gruppe analysiert werden und anschließend evaluiert werden, ob spezifische strukturelle Unterschiede bestehen, die eine differenzierte Betrachtung und möglicherweise abweichende therapeutische Ansätze erfordern. Weiterhin wird der vermutete Zusammenhang zwischen der D-Indikationsgruppe und der Angle Klasse-II/1 untersucht. Die vorliegende Dissertation greift diese Fragestellung auf und untersucht, ob KIG-D4/D5-Patienten vergleichbare Merkmale wie Angle-Klasse-II/1-Patienten aufweisen oder ob alternative strukturelle Muster identifiziert werden können. Diese Erkenntnisse sind von hoher klinischer Relevanz, da sie nicht nur das Verständnis der Klassifikationen verbessern, sondern auch die Grundlage für individualisierte Therapieansätze liefern können.

Im Fokus stehen insbesondere folgende Fragestellungen:

1. Welche charakteristischen skelettalen und dentalen Merkmale lassen sich bei den KIG-D4- und D5-Einzelanomalien anhand kephalometrischer Analysen und Modelanalysen identifizieren?
2. Gibt es signifikante Unterschiede in der Ausprägung der Fehlstellungen zwischen den beiden Gruppen?
3. Lassen sich bei den KIG-D4- und D5-Einzelanomalien ähnliche ursächliche Faktoren beobachten wie bei der Angle-Klasse II/1?

3 Material und Methode

3.1 Patienten

Die vorliegende Studie umfasst 225 gesetzlich versicherten Patienten, die nach den Kriterien der Kieferorthopädischen Indikationsgruppen (KIG) in die Einzelanomalien D4 oder D5 eingestuft wurden. Die Patienten wurden in einer kieferorthopädischen Fachzahnarztpraxis in Nordrhein-Westfalen behandelt. Der Erhebungszeitraum erstreckte sich für Patienten mit KIG D4 von 2017 bis 2021, während Patienten mit KIG D5 über einen erweiterten Zeitraum von 2012 bis 2021 erfasst wurden, da diese Einstufung seltener vorkommt.

Alle Daten wurden vor der Analyse vollständig anonymisiert, sodass keine Rückverfolgung einzelner Patienten möglich ist. Ein Votum der Ethikkommission war für diese Studie daher nicht erforderlich, da es sich um eine retrospektive und anonymisierte Studie handelt.

Eine detaillierte Übersicht zur Alters- und Geschlechtsverteilung der untersuchten Patienten ist in **Tabelle 2** dargestellt.

Tabelle 2: Alters- und Geschlechtsverteilung der untersuchten Patienten in den KIG-Gruppen D4 und D5

Zeitraum	KIG	Weiblich	Männlich	Gesamt	M ± SD
2012-2021	D5	35	34	69	11.21 ± 1.80
2017-2021	D4	81	75	156	11.50 ± 1.75
Gesamt	-	116	109	225	11.41 ± 1.77

(KIG = Kieferorthopädische Indikationsgruppe, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

Innerhalb der Gesamtstichprobe wurden insgesamt 225 Patienten in die Untersuchung einbezogen, davon waren 116 weiblich und 109 männlich. Das durchschnittliche Alter der gesamten Patientengruppe beträgt $11,41 \pm 1,77$ Jahre.

Die KIG-D4-Gruppe umfasst 156 Patienten (81 weiblich, 75 männlich), mit einem durchschnittlichen Alter von $11,50 \pm 1,75$ Jahren. Die Altersverteilung zeigt eine klare Konzentration der Patienten im Alter zwischen 9 und 12 Jahren, wie in **Abbildung 5** dargestellt. Der höchste Anteil der Patienten liegt dabei im Altersbereich zwischen 10 und 12 Jahren.

Die Gruppe der Patienten mit KIG D5 umfasst insgesamt 69 Patienten, die über den Erhebungszeitraum von 2012 bis 2021 hinweg erfasst wurden. Von diesen Patienten sind 35 weiblich und 34 männlich. Das durchschnittliche Alter innerhalb dieser Gruppe beträgt 11,21

$\pm 1,80$ Jahre. Die altersbezogene Verteilung zeigt, dass sich zum Zeitpunkt der Erstbefundung der größte Teil der Patienten im Alter zwischen 9 und 12 Jahren befindet, mit einer deutlichen Häufung bei den 10- bis 11-Jährigen. Die Altersverteilung der D5-Gruppe ist in **Abbildung 6** dargestellt.

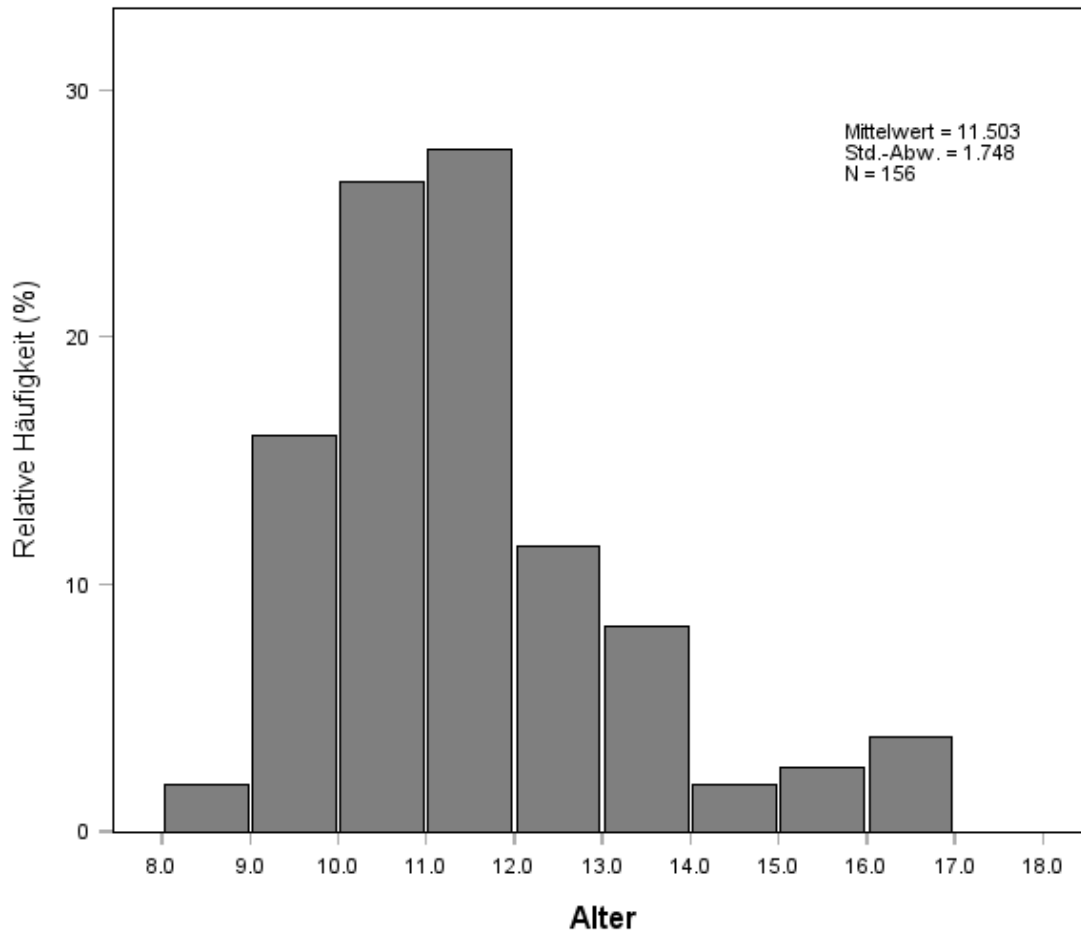


Abbildung 5: Altersverteilung der Patienten mit KIG D4 (2017–2021). Das Histogramm zeigt die relative Häufigkeit der Altersgruppen der Patienten mit KIG D4. Der größte Anteil der Patienten befindet sich im Altersbereich zwischen 9 und 12 Jahren. Das Durchschnittsalter beträgt $11,50 \pm 1,75$ Jahre bei einer Stichprobengröße von $n = 156$.

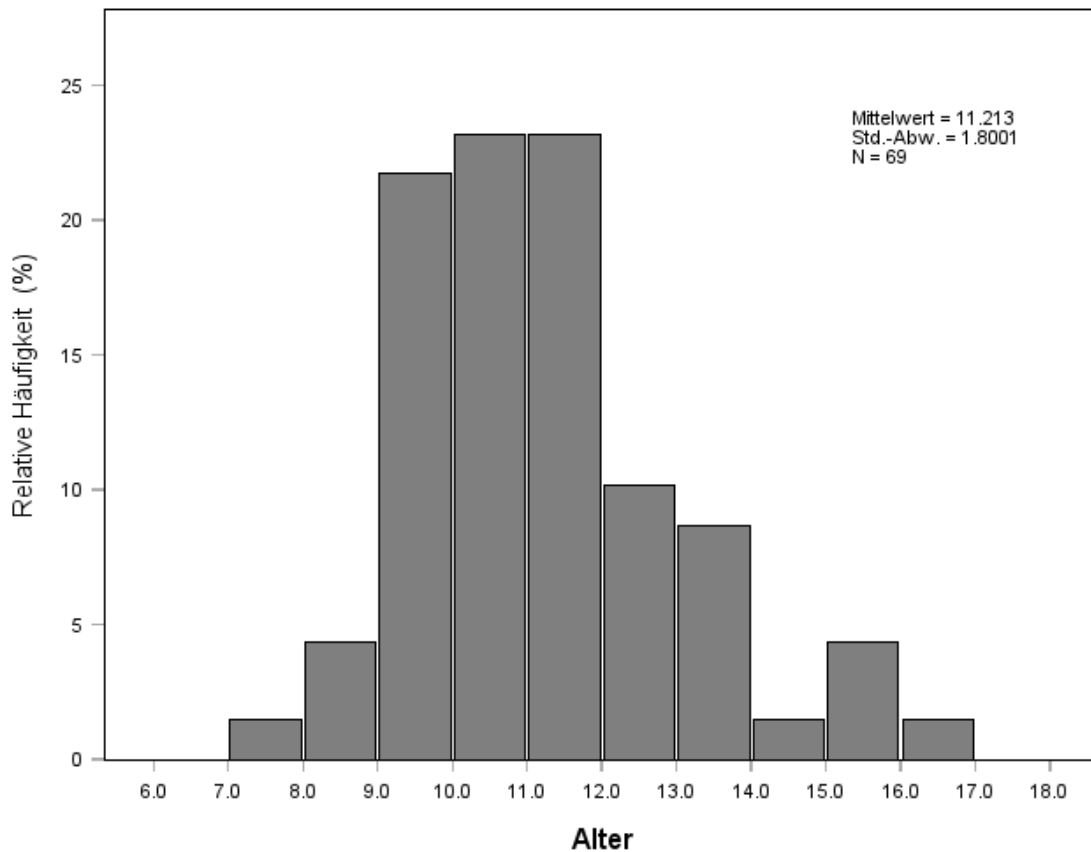


Abbildung 6: Altersverteilung der Patienten mit KIG D5 (2012–2021). Das Histogramm zeigt die relative Häufigkeit der Altersgruppen der Patienten mit KIG D5. Der höchste Anteil der Patienten befindet sich zwischen 10 und 12 Jahren. Das Durchschnittsalter beträgt $11,21 \pm 1,80$ Jahre bei einer Stichprobengröße von $n = 69$.

Die Histogramme verdeutlichen, dass etwa 70 % der Patienten in dem zentralen Altersbereich zwischen 9 und 12 Jahren liegen. Nur wenige Patienten befinden sich außerhalb dieses Bereichs, was für die typische kieferorthopädische Diagnosestellung in der späten Wechselgebissphase spricht.

3.1.1 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Als Einschlusskriterium galt die Diagnosestellung einer KIG D4- oder D5-Einzelanomalie im Rahmen einer Hauptbehandlungsindikation. Da bei Patientinnen und Patienten mit kieferorthopädischer Frühbehandlung im klinischen Alltag in der Regel keine Fernröntgenseitenbilder (FRS) in der Anfangsdiagnostik angefertigt werden, konnten diese Fälle nicht berücksichtigt werden. Zusätzlich wurden auch alle weiteren Patientinnen und Patienten ausgeschlossen, bei denen eine Frühbehandlung jeglicher Art dokumentiert war. Diese Vorgehensweise ermöglichte eine einheitliche Altersstruktur innerhalb der untersuchten Gruppen und verhinderte potenzielle Verzerrungen durch vorangegangene therapeutische Eingriffe.

3.2 Methoden

Zur Bestimmung der skelettalen und dentalen Strukturen wurden sowohl Modell- als auch kephalometrische Analysen von den 225 gesetzlich versicherten Patienten herangezogen. Die diagnostischen Gipsmodelle wurden mittels digitaler Schieblehre (Modell HSL 246-15, Karl Hammacher GmbH, Solingen, Deutschland, Messgenauigkeit 0,01mm) sowie unter Verwendung einer Messplatte nach Schmuth (Ref. 003-366-00, Dentaforum GmbH & Co. KG, Ispringen, Deutschland) manuell vermessen.

Die Fernröntgenseitenbilder wurden mit einem VistaPano S Ceph (Dürr Dental, Deutschland) angefertigt. Die Auswertung der FRS-Bilder erfolgte mit der Software *ivoris*® Diagnostik (Computer Konkret AG, Falkenstein, Deutschland).

3.2.1 Modellanalyse

3.2.1.1 Sagittale Parameter

SIOK, SIUK, Tonn'scher Index

Zur Bewertung sagittaler Frontzahndiskrepanzen wurde in der vorliegenden Arbeit der Tonn'sche Index verwendet. Dieser beschreibt das Verhältnis der summierten mesio-distalen Zahnbreiten der vier oberen (SIOK) zu den vier unteren (SIUK) Schneidezähnen mit einem Idealwert von 1,33 ($SIOK/SIUK = 4/3$) [79]. Der Tonn'sche Index ist insbesondere im deutschsprachigen Raum ein etabliertes Beurteilungsinstrument in der kieferorthopädischen Literatur und Lehre und bietet eine praxisnahe Grundlage zur Analyse anteriorer Relationen.

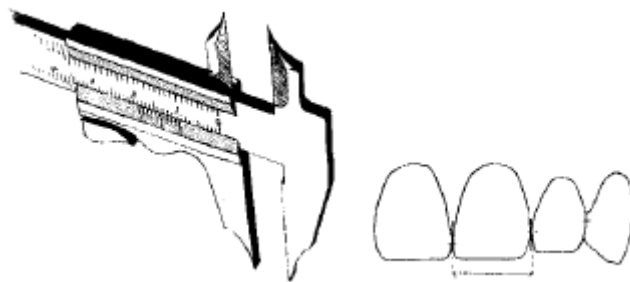


Abbildung 7: Messung der mesio-distalen Zahnbreiten der Schneidezähne [53].

Für die klinische Auswertung wurde ein funktioneller Toleranzbereich von 1,30 bis 1,36 definiert. Die obere Grenze ergibt sich aus der Arbeit von Neff (1957), der ein harmonisches Zahngrößenverhältnis bei einem Breitenvorteil der OK-Schneidezähne von 22–36 % beschreibt [78]. Ein Breitenvorteil von 36 % ergibt dabei unabhängig von der absoluten Zahngröße stets einen Index von 1,36, da sich der Breitenvorteil direkt im Verhältnis widerspiegelt:

$$\frac{SIOK}{SIUK} = \frac{SIUK \times (1 + 0,36)}{SIUK} = 1,36$$

Eine Übernahme von Neffs unterer Grenze (1,22) wurde bewusst nicht vorgenommen, da sie sehr großzügig ausfällt und auch deutlich ausgeprägte Frontzahndiskrepanzen noch als harmonisch werten würde. Ziel war es, einen Bereich zu definieren, der funktionell orientiert ist, aber klinisch relevante Unterschiede nicht relativiert.

Der gewählte Toleranzbereich von 1,30 bis 1,36 basiert auf einer symmetrischen Abweichung von $\pm 0,03$ um den Tonn'schen Idealwert von 1,33. Diese Streubreite lässt sich durch die Standardabweichung des anterioren Bolton-Index (1958) stützen, der für den Frontzahnbereich ein ideales Verhältnis von 77,2 % mit einer akzeptierten Varianz von $\pm 1,65$ SD (ca. $\pm 2,1$ %) beschreibt [17,78]. Obwohl sich der Bolton-Index auf eine größere Zahngruppe (Eckzahn bis Eckzahn) bezieht, basiert auch er auf dem Verhältnis summierter mesiodistaler Zahnbreiten im Frontzahnbereich. Überträgt man diese relative Toleranz auf den Tonn'schen Index, ergibt sich rechnerisch ein Bereich von 1,30 bis 1,36, was die Wahl des Grenzbereichs in beide Richtungen untermauert.

Ergänzend beschreibt Ballard (1944), dass Zahngrößendifferenzen ab 0,5 mm klinisch wahrnehmbar sein können [10]. Eine Abweichung von $\pm 0,03$ im Tonn'schen Index führt, bei einem beispielhaftem SIUK von 25 mm, zu einer absoluten Veränderung im SIOK von rund $\pm 0,75$ mm. Auch dies bestätigt, dass der gewählte Bereich funktionell sinnvoll ist.

Die Notwendigkeit, funktionelle Toleranzgrenzen festzulegen, wird auch durch die Arbeit von Cordato (1995) gestützt. In seiner mathematischen Modellierung anteriorer Zahnrelationen zeigt er, dass bereits geringfügige Zahngrößenunterschiede deutliche Auswirkungen auf Overjet und Okklusionsverhalten haben können und dass die großen biologischen Variabilitäten, die individuelle Zahnanatomie und geringfügige Messungenauigkeiten eine exakte Übereinstimmung mit Idealwerten selten machen, weshalb eine gewisse Schwankungsbreite nicht nur tolerierbar, sondern notwendig sei [23].

Der Normbereich von $1,33 \pm 0,03$ berücksichtigt genau diese natürlichen Abweichungen innerhalb eines physiologisch akzeptablen Rahmens. Er vermeidet eine übermäßige Sensitivität gegenüber minimalen Differenzen, die diagnostisch nicht relevant sind. Ein engerer Bereich könnte natürliche Variationen pathologisieren, ein zu weiter Bereich könnte die Aussagekraft der Diagnose verringern. Die gewählte Spannbreite stellt daher ein Gleichgewicht zwischen diagnostischer Relevanz und biologischer Realität dar.

Raphe-Papillen-Transversale (RPT)

Ergänzend wurde die Raphe-Papillen-Transversale (RPT) als statische Bezugsebene herangezogen, die durch ihre stabile anatomische Lage als zusätzlicher Parameter zur Beurteilung sagittaler Relationen dient. Sie wird als senkrechte Linie zur Raphe-Median-Ebene (RME) definiert und verläuft durch den distalen Rand der Papilla incisiva. Anatomisch entspricht die RPT dem ersten Gaumenfaltenpaar.

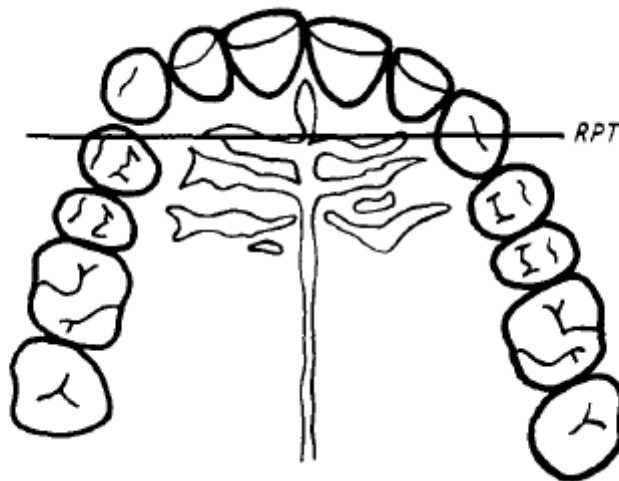


Abbildung 8: Die Raphe-Papillen-Transversale (RPT) nach Schmuth [51].

In der kieferorthopädischen Diagnostik wird die Position der RPT relativ zu den oberen Eckzähnen beurteilt. Liegt die RPT mesial der Eckzähne, kann dies auf eine unterentwickelte apikale Basis hinweisen, die zu einer kompensatorischen Protrusion und Engstände im Frontzahnbereich führen kann. Ein Verlauf durch die Mitte der Eckzähne wird als normal interpretiert. Befindet sich die RPT weiter distal, insbesondere auf Höhe der Prämolaren, deutet dies auf eine mögliche Aufwanderung des Seitenzahnsegments [50].

Overjet

Der Overjet stellt ein zentrales Merkmal der sagittalen Bisslage dar. Aufgrund seiner klinischen Bedeutung im Rahmen dieser Dissertation wurde er bereits zu Beginn der Arbeit im **Kapitel 2.3.1** erläutert. Die Messung erfolgte als horizontale Distanz zwischen der Schneidekante der oberen und unteren mittleren Inzisivi, parallel zur Kauebene. Es wurde jeweils der größte gemessene Wert dokumentiert.

Okklusion

Zur Beurteilung der sagittalen Okklusionsverhältnisse wurde die Okklusion im Molarenbereich auf beiden Seiten (rechts und links) anhand der im **Kapitel 2.2.2** dargestellten Angle-Klassifikation dokumentiert. Dabei wurde erfasst, ob die Molarenrelation als Neutralokklusion

(Angle-Klasse I), Distalokklusion (Angle-Klasse II) oder Mesialokklusion (Angle-Klasse III) vorliegt.

3.2.1.2 Transversale Parameter

Vordere und hintere Zahnbogenbreite

Die transversalen Parameter wurden anhand der Zahnbogenbreiten im Prämolaren- und Molarenbereich des Ober- und Unterkiefers erhoben. Grundlage der Messungen bildete eine etablierte Methodik, die auf dem von Pont (1909) postulierten Zusammenhang zwischen der Summe der Schneidezahnbreiten (SI) und der transversalen Ausdehnung des Zahnbogens im Seitenzahnggebiet basiert [74].

Obwohl die von Pont definierten anatomischen Referenzpunkte bis heute breite Anwendung finden, gelten seine ursprünglichen Richtwerte in der modernen kieferorthopädischen Diagnostik als kritisch zu bewerten. Zahlreiche spätere Untersuchungen haben gezeigt, dass die von Pont ermittelten Zahnbogenbreiten, basierend auf einer südfranzösischen, eher breitgesichtigen Population, für mitteleuropäische Patientengruppen tendenziell zu groß angesetzt sind [19,58].

Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Arbeit die Richtwerte nach Weise verwendet, die besser an die mitteleuropäische Population angepasst sind und eine differenzierte Beurteilung erlauben. Die Messpunkte selbst entsprechen weiterhin den klassischen Pont'schen Landmarken: Im Oberkiefer erfolgt die Messung der hinteren Zahnbogenbreite an der Schnittstelle der bukkalen Querfissur mit der vorderen Längsfissur der ersten Molaren, im Unterkiefer an der Spitze des mediobukkalen Höckers dieser Zähne. Die vordere Zahnbogenbreite wird im Oberkiefer an der Mitte der Fissur der Prämolaren und im Unterkiefer am Kontaktpunkt zwischen erstem und zweitem Prämolaren gemessen (**Abb. 9**) [63].

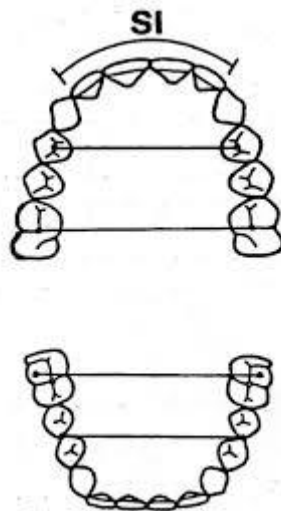


Abbildung 9: Messpunkte zur Erhebung der transversalen Zahnbogenbreiten nach Pont [75].

Zur Beurteilung wurden die ermittelten Ist-Werte mit den Richtwerten nach Weise verglichen, die als Sollgrößen dienen. Diese stellen eine diagnostische Orientierung dar, sind jedoch nicht als starre Norm zu verstehen [83].

Um eine differenzierte Klassifikation der Patientendaten zu ermöglichen, wurden im Rahmen dieser Untersuchung spezifische Normbereiche definiert. Abweichungen von $\pm 1,0$ mm gegenüber den Sollwerten wurden als klinisch relevant eingestuft – ein Grenzwert, der sich an der praktischen Erfahrung orientiert und eine klare Trennung zwischen physiologischer Variation und behandlungsbedürftiger Abweichung erlaubt. Daraus ergibt sich für jede Zahnbogenbreite ein Normbereich von Sollwert $\pm 1,0$ mm. Werte oberhalb dieses Bereichs deuten auf eine transversale Erweiterung, während Werte unterhalb dieser Grenze auf eine transversale Enge hinweisen. Die Richtwerte nach Weise sind in **Tabelle 3** dargestellt.

Tabelle 3: Richtwerte in Millimeter der transversalen Zahnbogenbreiten nach Weise in Abhängigkeit vom SIOK

SIOK	Vordere Zahnbogenbreite	Hintere Zahnbogenbreite
27	34,8	47.1
27.5	35,2	47.5
28	35,5	47.8
28.5	35,8	48.2
29	36,2	48.6
29.5	36,5	48.9
30	36,8	49.3
30.5	37,2	49.7
31	37,5	50.1
31.5	37,8	50.4
32	38,2	50.8
32.5	38,5	51.1
33	38,8	51.5
33.5	39,2	51.8
34	39,5	52.2
34.5	39,8	52.6
35	40,2	53.0
35.5	40,5	53.3
36	40,8	53.7
36.5	41,2	54.1

3.2.1.3 Vertikale Parameter

Overbite

Der Overbite beschreibt die vertikale Überlappung der oberen und unteren Schneidezähne. Die Messung erfolgt parallel zur Kauebene, indem die Distanz zwischen der Schneidekante der oberen Inzisivi zur labialen Oberfläche der unteren Inzisivi bestimmt wird. Ein physiologischer Overbite beträgt 2-3 mm, während Werte über 3 mm als Tiefbiss klassifiziert werden. Ein offener Biss wird in negativen Werten angegeben. Je nach Lokalisation kann ein offener Biss frontal oder lateral auftreten [59]. Um die maximale vertikale Überlappung der Schneidezähne zu erfassen, wurde in dieser Analyse auch für den Overbite der jeweils größte gemessene Wert dokumentiert.

3.2.2 Kephalometrische Analyse

In diesem Abschnitt werden die, im Rahmen der kephalometrischen Analyse, verwendeten Referenzpunkte, -linien sowie die gemessenen Winkel, Strecken und Verhältnisse definiert und dargestellt.

3.2.2.1 Referenzpunkte der kephalometrischen Analyse

Punkt	Definition
S (Sella)	Mittelpunkt der knöchernen Sella turcica, dient als stabiler Bezugspunkt für kephalometrische Messungen.
N (Nasion)	Ventrokranialster Punkt der Sutura nasofrontalis in der Median-Sagittal-Ebene, dient als Referenz für Schädelbasisrelationen.
A (A-Punkt)	Tiefster konkaver Punkt der anterioren Maxillakontur (Subspinale), relevanter Messpunkt für sagittale Oberkieferrelation.
B (B-Punkt)	Tiefster konkaver Punkt der anterioren Mandibulakontur (Supramentale), relevanter Messpunkt für sagittale Unterkieferrelation.
Pog (Pogonion)	Ventralster Punkt des knöchernen Kinns, dient der Bestimmung der skelettalen Kinnpotentialposition.
Pog' (Weichteil-Pogonion)	Ventralster Punkt des Weichteilkinns, wird durch eine Tangente vom Weichteil-Nasion

	zur Kinnkontur bestimmt.
LS (Labrale superius)	Am weitesten anterior gelegener Punkt der Oberlippe, dient der Beurteilung der Lippenposition.
Me (Menton)	Tiefster Punkt der Unterkiefersymphyse.
Go (Gonion)	Konstruktionspunkt: Tangentenschnittpunkt der Ramuslinie mit der Mandibularlinie.
Ar (Artikulare)	Schnittpunkt der Schädelbasis (Clivus) mit dem dorsalen Rand des aufsteigenden UK-Astes.
Ba (Basion)	Kaudalster und posteriorster Punkt am vorderen Rand des Foramen magnum, dient zur Beurteilung der hinteren Schädelbasis.
vPOcP (anteriorer Punkt der Okklusionsebene)	vPOcP konstruierter anteriorer Punkt des Okklusalplanums, der durch Halbierung der Strecke des Schneidezahnüberbisses definiert ist
hPOcP (posteriorer Punkt der Okklusionsebene)	hPOcP konstruierter posteriorer Punkt des Okklusalplanums, der durch den distalsten okklusalen Molarenkontaktpunkt definiert ist
Is1 _┐	Schneidekante des am weitesten labial stehenden mittleren oberen Incisivus.
Is1 _┘	Schneidekante des am weitesten labial stehenden mittleren unteren Incisivus.
Ap1 _┐	Wurzelspitze des am weitesten labial stehenden mittleren oberen Incisivus.
Ap1 _┘	Wurzelspitze des am weitesten labial stehenden mittleren unteren Incisivus.
T1 (Ramustangentenpunkt)	Punkt zur Konstruktion der Ramuslinie, definiert durch die hintere Begrenzung des aufsteigenden UK-Astes.
T2 (Corpustangentenpunkt)	Punkt zur Konstruktion der Mandibularlinie, definiert durch die untere Begrenzung der Mandibularkontur.

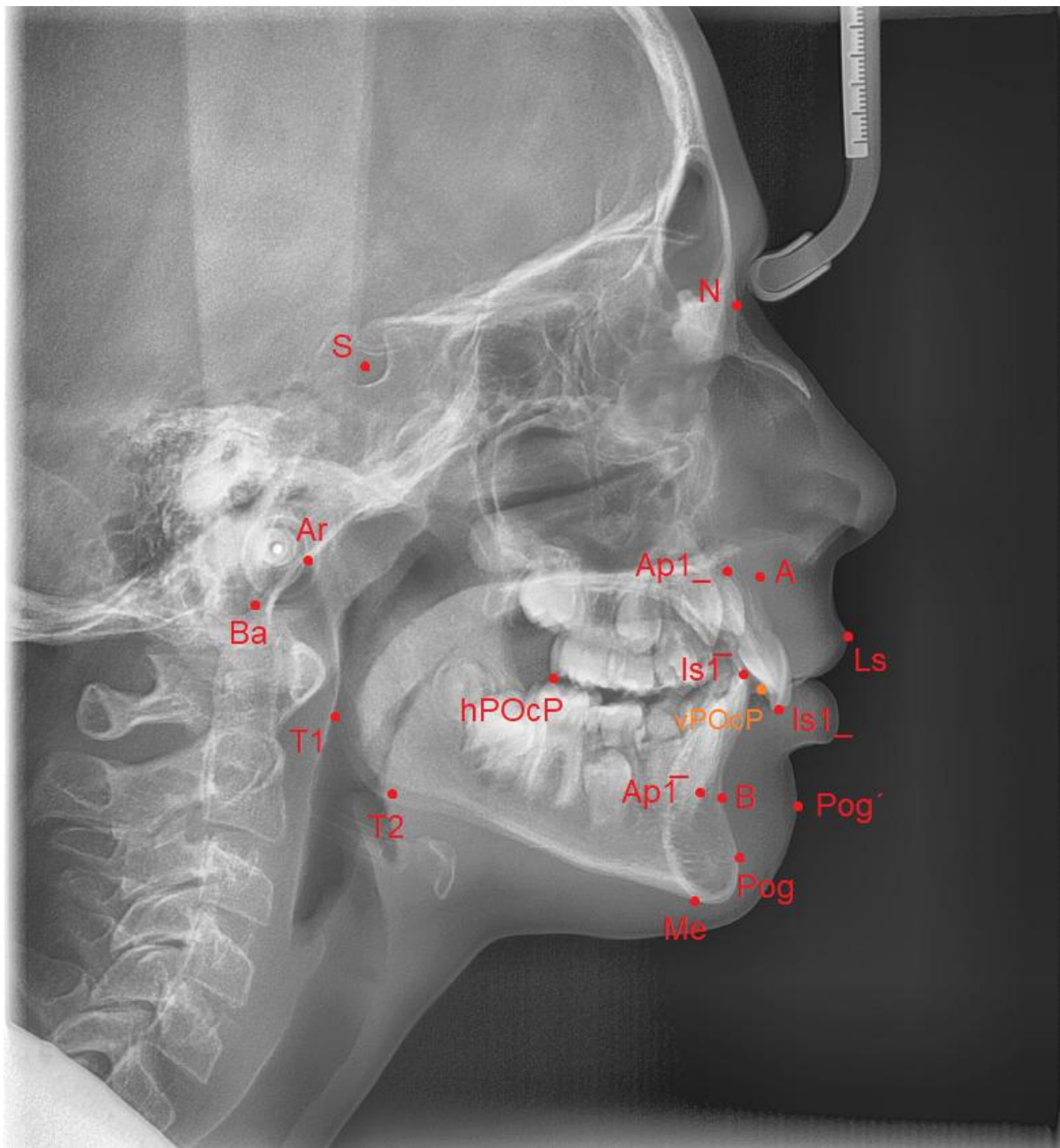


Abbildung 10: Referenzpunkte der kephalometrischen Analyse.

3.2.2.2 Referenzlinien der kephalometrischen Analyse

Horizontale Referenzlinien

Linie	Definition
N-S (Nasion-Sella-Linie)	Horizontale Referenzlinie zwischen Nasion (N) und Sella (S), dient als stabile Bezugsebene für viele kephalometrische Messungen.
OcP (Okklusionsebene)	Verbindungsline zwischen dem anterioren

	Punkt der Okklusionsebene (vPOcP) und dem posterioren Punkt der Okklusionsebene (hPOcP)
ML (Mandibularlinie)	Verbindungsline zwischen dem Corpustangentenpunkt (T2) und Menton (Me), dient als Referenz für die Unterkieferneigung und das vertikale Wachstum.

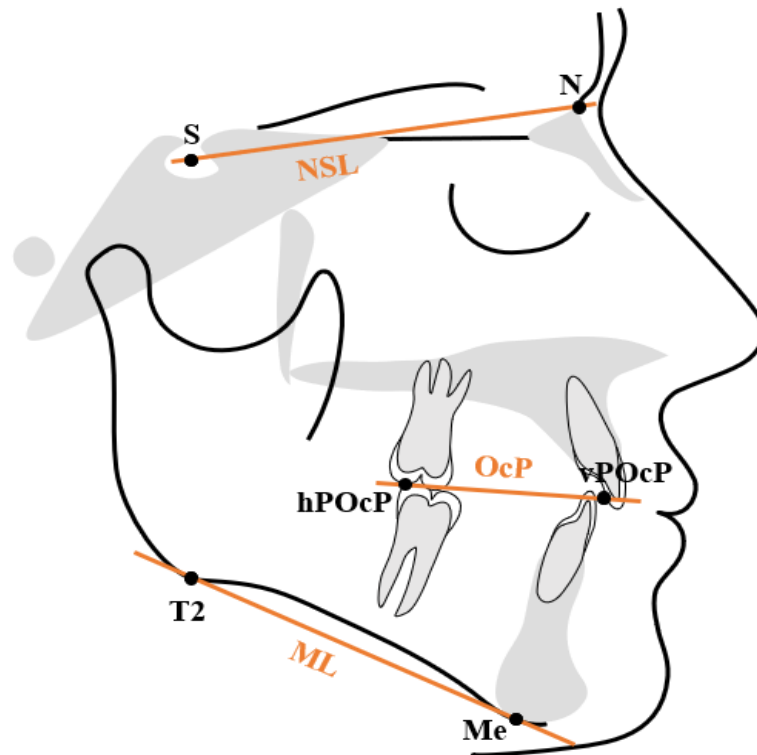


Abbildung 11: Horizontale Referenzlinien der kephalometrischen Analyse.

Vertikale Referenzlinien

NA	Verbindungsline zwischen Nasion (N) und A-Punkt (A), zur Beurteilung der sagittalen Lage des Oberkiefers.
NB	Verbindungsline zwischen Nasion (N) und B-Punkt (B), zur Beurteilung der sagittalen Lage des Unterkiefers.
RL (Ramuslinie)	Verbindungsline zwischen dem Ramustangentenpunkt (T1) und Gonion (Go).
S-Go	Strecke zwischen Sella (S) und Gonion (Go), dient zur Beurteilung der hinteren Gesichtshöhe.

N-Me	Strecke von Nasion (N) zu Menton (Me), zur Beurteilung der vorderen Gesichtshöhe.
H-Linie (Holdaway-Linie)	Verbindung zwischen Weichteil-Pogonion (Pog') und Labrale superius (Ls), dient zur Profilanalyse nach Holdaway.

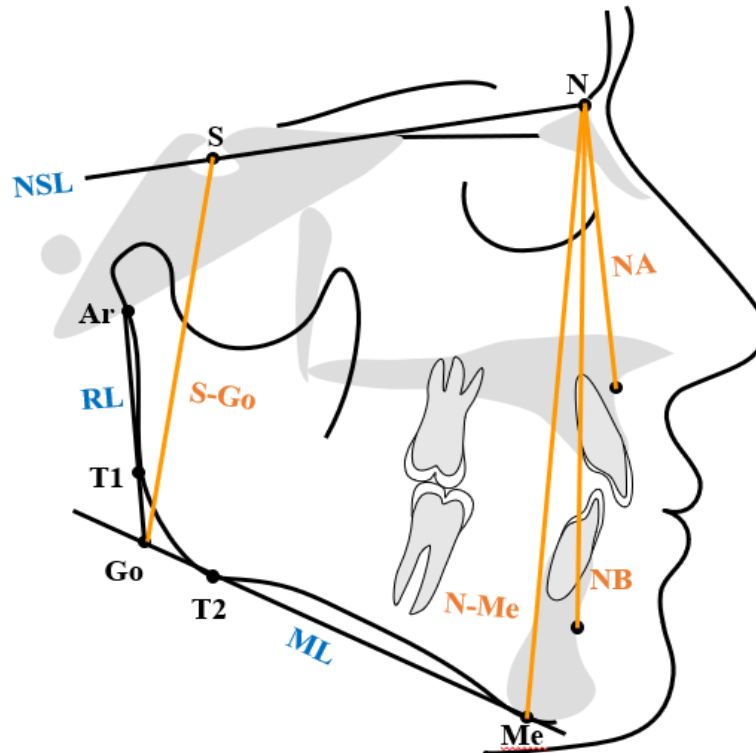


Abbildung 12: Vertikale Referenzlinien der kephalometrischen Analyse.

Frontzahnachsen

OK1 (Oberkiefer Frontzahnachse)	Verbindungsline zwischen der Schneidekante (Is1_) und der Wurzelspitze (Ap1_) der übereinander projizierten oberen mittleren Schneidezähne, beschreibt die Achse der oberen Frontzähne.
UK1 (Unterkiefer Frontzahnachse)	Verbindungsline zwischen der Schneidekante (Is1̄) und der Wurzelspitze (Ap1̄) der übereinander projizierten unteren mittleren Schneidezähne, definiert die Achse der unteren Frontzähne.

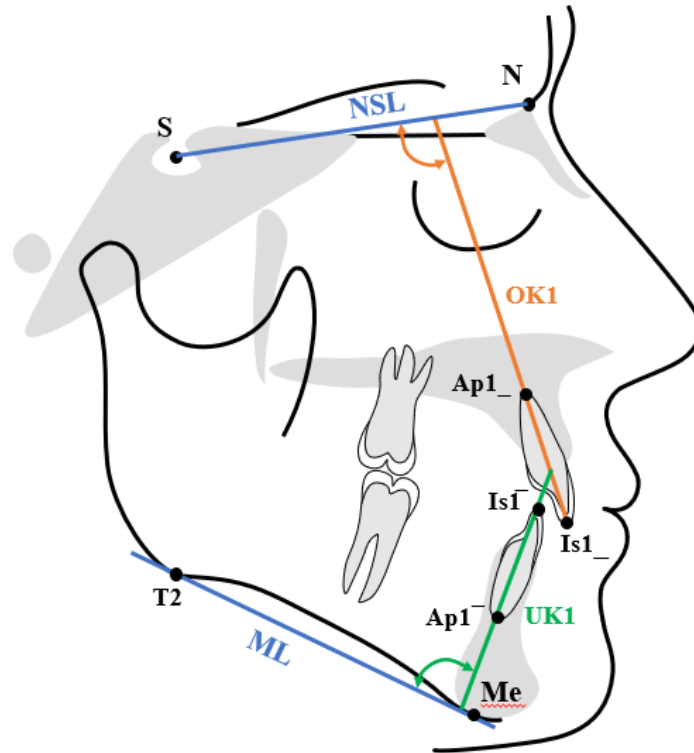


Abbildung 13: Frontzahnachsen und die Winkel OK1-N-S und UK1-GoMe.

3.2.2.3 Sagittale Messungen

Anhand den im **Kapitel 3.2.2.1** definierten Referenzpunkten und den im **Kapitel 3.2.2.2** definierten Referenzlinien werden die nachfolgenden Winkel, Strecken und Verhältnisse definiert.

Winkel	Definition
SNA	Winkel zwischen der Nasion-Sella-Linie (N-S) und der Nasion-A-Linie (NA), zur Beurteilung der sagittalen Maxillaposition.
SNB	Winkel zwischen der Nasion-Sella-Linie (N-S) und der Nasion-B-Linie (NB), zur Bestimmung der sagittalen Lage des Unterkiefers.
ANB	Winkel zwischen NA und NB, beschreibt die sagittale Relation zwischen Ober- und Unterkiefer.
Wits-Wert	Lot-Abstand zwischen A- und B-Punkt auf der Okklusionsebene, zur Klassifikation der sagittalen Bisslage.
OK1-N-S	Winkel zwischen der Achse der oberen Front-

zähne (OK1) und der Nasion-Sella-Linie (N-S), zur Bestimmung der oberen Schneidezahninklination.

UK1-GoMe

Winkel zwischen der Achse der unteren Frontzähne (UK1) und der Mandibularlinie. (Go-Me), zur Beurteilung der unteren Frontzahnneigung.

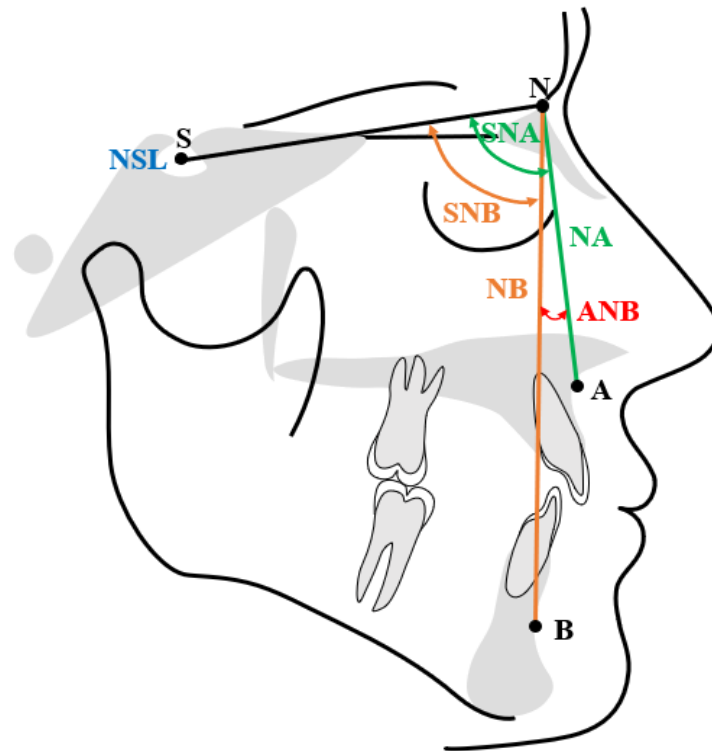


Abbildung 14: Die Winkel SNA, SNB und ANB.

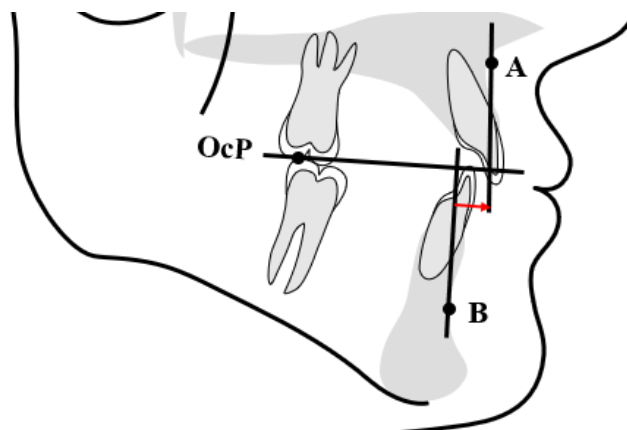


Abbildung 15: Der Wits-Wert.

3.2.2.4 Vertikale Messungen

Parameter	Definition
Björk-Summenwinkel	Summe der Winkel NSAr, SArGo und ArGo-Me, zur Bestimmung des Wachstumsmusters.
S-Go zu N-Me	Verhältnis (in %) der hinteren (S-Go) zur vorderen Gesichtshöhe (N-Me), als Indikator für vertikale Wachstumsrelationen.

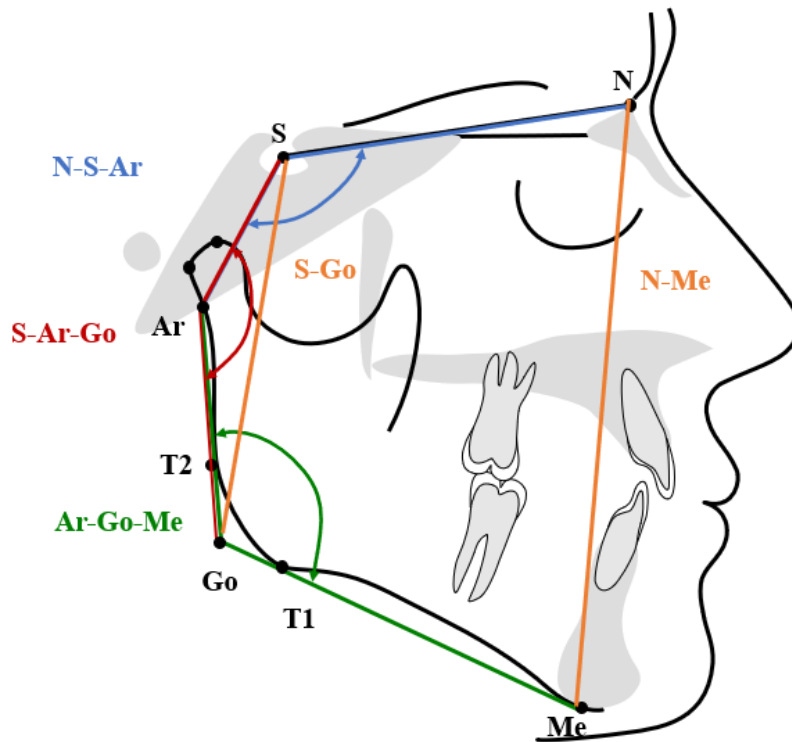


Abbildung 16: Die vertikalen Messungen. Der Björk-Summenwinkel ergibt sich aus der Addition der drei dargestellten Winkel: N-S-Ar, S-Ar-Go und Ar-Go-Me.

3.2.2.5 Normalbereiche der kephalometrischen Messwerte

In **Tabelle 4** sind die Normalbereiche der Messwerte definiert. Die Einordnung erfolgt in drei Kategorien: Werte, die unterhalb des Normalbereichs liegen, Werte im Normalbereich und Werte oberhalb der Norm.

Tabelle 4: Definition der Normalbereiche der kephalometrischen Messwerte und diagnostische Interpretationen

Variable	Unterhalb der Norm	Normalbereich	Oberhalb der Norm
SNA	< 80,0° retrognath	80,0° - 84,0°	> 84,0° prognath
SNB	< 78,0° retrognath	78,0° - 82,0°	> 82,0° prognath
OK1-N-S	< 101,0° retroinkliniert	101,0° - 105,0°	> 105,0° prokliniert
UK1-Go-Me	< 87,0° retroinkliniert	87,0° - 93,0°	> 93,0° prokliniert

ANB	< 0,0° mesiobasale KBR	0,0° - 4,0°	> 4,0° distobasale KBR
Wits	< -1,0 mm skel. Klasse III	-1,0 mm - 1,0 mm	> 1,0 mm skel. Klasse II
Björk-Summe	< 394,0° horizontales WM	394,0° - 398,0°	> 398,0° vertikales WM
S-Go:N-Me	< 60 % vertikales WM	60 % - 64 %	> 64 % horizontales WM

(KBR = Kieferbasenrelation, skel. Klasse = skelettale Klasse, WM = Wachstumsmuster)

3.2.3 Kephalometrische Profilanalyse

Messungen der kephalometrischen Profilanalyse:

NB-Pog-Strecke	Lot-Abstand zwischen Pogonion (Pog) und der NB-Linie, beschreibt die sagittale Kinnprominenz.
H-Winkel (Holdaway-Winkel)	Winkel zwischen der Holdaway-Linie (Pog'-Ls) und der NB-Linie, beschreibt die Relation zwischen Weichteil- und Hartgewebsprofil.

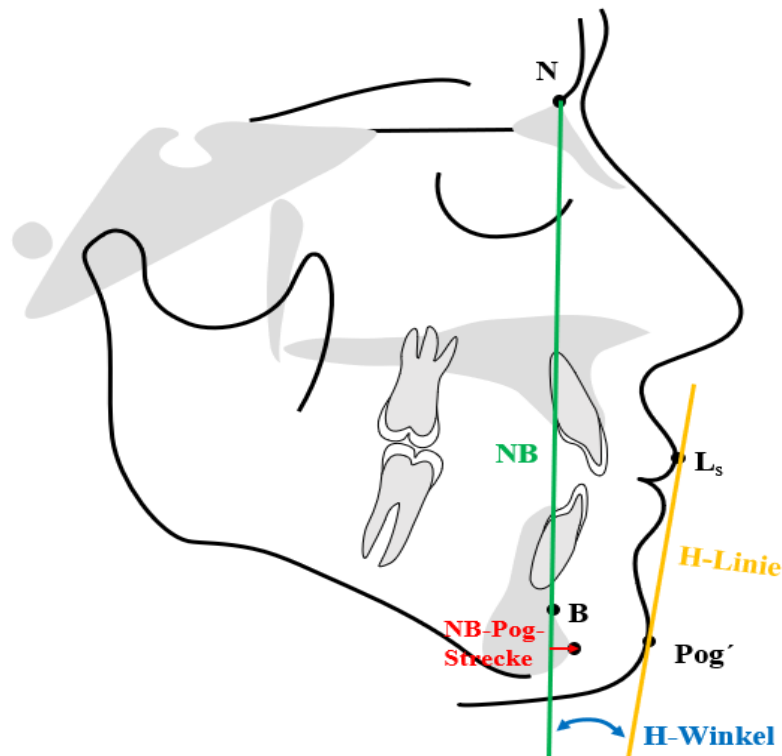


Abbildung 17: Der H-Winkel und die NB-Pog-Strecke.

Die kephalometrische Profilanalyse basierte im Rahmen dieser Studie auf dem Holdaway-Winkel. Der H-Winkel nach Holdaway beschreibt die Neigung der H-Linie in Relation zur NB-Linie und setzt die bedeckenden Weichteile in Bezug zum Hartgewebsprofil.

Holdaway entwickelte fließende Normen für den H-Winkel und postulierte, dass bei einem ANB-Winkel zwischen 1° und 3° der H-Winkel zwischen 7° und 9° liegen sollte. Eine Zunah-

me des ANB-Winkels um 1° führt typischerweise zu einer Erhöhung des H-Winkels um 1°. Diese Normwerte gelten jedoch für Patienten mit einem ANB-Winkel im normalen Bereich (1°–3°).

Segner und Hasund führten Korrelationsanalysen durch, um die Haupteinflussfaktoren des H-Winkels zu bestimmen. Ihre Untersuchungen ergaben, dass insbesondere der ANB-Winkel und die NB-Pog-Strecke den H-Winkel signifikant beeinflussen [36,77].

Da innerhalb unseren Patientenkollektivs die ANB-Werte unbekannt waren und tendenziell höhere Werte erwartet wurden, aufgrund der erwartenden skelettalen Klasse-II Tendenz, wurde die von Segner und Hasund erstellte Regressionsgleichung für den erwartenden H-Winkel zur Beurteilung herangezogen. Der erwartete H-Winkel wurde nicht pauschal mit 7°–9° als normal bewertet, sondern für jeden Patienten individuell berechnet.

Die erwarteten Werte für den H-Winkel wurden mit folgender Regressionsgleichung berechnet [77]:

$$\text{H-Winkel} = 1.0 \text{ ANB} - 1.3 \text{ NB-Pog}_{\text{mm}} + 10.5$$

Basierend auf dieser Methode wird der H-Winkel nicht nur mit dem berechneten Soll-Wert verglichen, sondern auch mit dem Idealwert von 8°:

- Falls der berechnete H-Soll-Wert unterhalb von 8° liegt, wird der ästhetisch günstige Bereich zwischen H-Soll und 8° definiert.
- Falls der berechnete H-Soll-Wert oberhalb von 8° liegt, wird der ästhetisch günstige Bereich zwischen 8° und H-Soll definiert.
- Profile außerhalb dieser Bereiche gelten als über- oder unterkompensiert und können als konkav oder konvex eingestuft werden.

Tabelle 5: Klassifikation der Profilbewertung anhand des berechneten H-Winkels

Ist-H-Winkel	Interpretation	Profilbeschreibung
Falls H-Soll < 8°: Zwischen H-Soll und 8°	Günstige Weichteiladaptation	Harmonisch
Falls H-Soll > 8°: Zwischen 8° und H-Soll	Günstige Weichteiladaptation	Harmonisch
Unterhalb des H-Soll-Werts (H-Soll < 8°) oder unterhalb von 8°	Überkompensation	Konkav

Ist-H-Winkel	Interpretation	Profilbeschreibung
(H-Soll > 8°)		
Oberhalb von H-Soll (H-Soll > 8°) oder oberhalb von 8° (H-Soll < 8°)	Unterkompensation	Konvex

3.2.4 Statistische Auswertung

Alle erhobenen Messwerte wurden mit Microsoft Excel 16.0 (Microsoft, Redmond, USA) dokumentiert und für die weitere statistische Analyse aufbereitet. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit IBM SPSS Statistics 30.0.0.0 (IBM, Armonk, USA). Die Daten wurden in FRS-Analyse, FRS-Profilanalyse und Modellanalyse unterteilt, gruppenspezifisch für D4 und D5 ausgewertet und mithilfe geeigneter statistischer Tests auf Unterschiede zwischen den Gruppen überprüft.

Vor der Anwendung statistischer Verfahren wurde die Normalverteilung der metrischen Variablen überprüft. Hierfür kamen sowohl der Kolmogorov-Smirnov-Test als auch der Shapiro-Wilk-Test zur Anwendung, um die Verteilungseigenschaften möglichst zuverlässig beurteilen zu können [18]. Zusätzlich wurde eine Signifikanzkorrektur nach Lilliefors berücksichtigt. Bei unklarer Befundlage wurden ergänzend Q-Q-Plots erstellt, um die Normalverteilung visuell zu überprüfen [29].

Für die deskriptive Analyse der metrischen Variablen wurden je nach Verteilungsform unterschiedliche statistische Maßzahlen berechnet. Für normalverteilte Variablen wurden der Mittelwert (M) und die Standardabweichung (SD) berechnet, um die zentrale Tendenz und die Streuung der Daten zu beschreiben. Da Mittelwert und Standardabweichung anfällig für Ausreißer sind, wurden für nicht normalverteilte Variablen der Median sowie der Interquartilsabstand (IQR) bestimmt. Zusätzlich wurden das Minimum und Maximum zur Darstellung der Spannweite der Daten angegeben [18,29].

Die kategorialen Variablen wurden mithilfe von Häufigkeitsverteilungen und Prozentangaben analysiert. Hierbei wurden die einzelnen Merkmalsausprägungen in vordefinierte Gruppen eingeteilt und ihre relative Häufigkeit innerhalb der Stichprobe berechnet.

Zur Analyse von typischen Kombinationsmustern innerhalb der FRS- und Modellanalysen wurden die häufigsten Ausprägungskombinationen kategorialer Merkmale zusammengefasst, um strukturelle Zusammenhänge innerhalb der Gruppen D4 und D5 zu identifizieren.

Für den Gruppenvergleich kamen unterschiedliche Testverfahren zum Einsatz, abhängig von der Verteilung und Varianzhomogenität der Daten. Bei normalverteilten Variablen mit homogenen Varianzen (getestet via Levene Test) wurde der t-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Bei Verstößen gegen die Voraussetzungen wurde der Mann-Whitney-U-Test angewendet, welcher auf Rangordnungen basiert und für nicht-normalverteilte Daten geeignet ist [29].

Zur Untersuchung von Zusammenhängen zwischen metrischen Variablen wurden Korrelationsanalysen durchgeführt. Bei normalverteilten Daten wurde die Pearson-Korrelation verwendet, bei nicht-normalverteilten Variablen kam die Spearman-Korrelation zum Einsatz [18]. Eine Signifikanz wurde auf dem Niveau von $p < 0,05$ bzw. $p < 0,01$ als statistisch bedeutsam bzw. hoch signifikant interpretiert.

4 Ergebnisse

4.1 Normalverteilungstests

In den **Tabellen 6 bis 11** sind die Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung dargestellt. Angegeben sind die jeweiligen p-Werte der Tests. Ein p-Wert größer als 0,05 spricht gegen eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung und somit für das Vorliegen einer Normalverteilung. Bei Kolmogorov-Smirnov-p-Werten von genau 0,200 handelt es sich um die untere Grenze des tatsächlichen p-Wertes, da hier eine Signifikanzkorrektur nach Lilliefors vorgenommen wurde.

Die Ergebnisse der kephalometrischen Analyse und der Profilanalyse zeigten durchweg p-Werte $> 0,05$, sodass von einer Normalverteilung ausgegangen wurde und entsprechend parametrische Verfahren zur Anwendung kamen. In Grenzfällen wurden zusätzlich Q-Q-Plots zur visuellen Prüfung herangezogen.

Im Gegensatz dazu wiesen die Daten der Modellanalyse in mehreren Variablen signifikante Abweichungen von der Normalverteilung auf ($p \leq 0,05$), sodass für diesen Teil der Auswertung nicht-parametrische Testverfahren eingesetzt wurden.

Tabelle 6: Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung der kephalometrischen Variablen bei D4-Patienten. Angegeben sind die p-Werte der jeweiligen Tests. Die p-Werte beider Tests liegen für alle Variablen über 0,05, sodass keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung festgestellt wurde. Die Nullhypothese einer Normalverteilung kann somit beibehalten werden. Bei Kolmogorov-Smirnov-p-Werten von exakt 0,200 handelt es sich um die untere Grenze des tatsächlichen p-Werts (Lilliefors-Korrektur)

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Signifikanz	Signifikanz
SNA	0.200	0.784
OK1-N-S	0.200	0.362
SNB	0.200	0.188
UK1-Go-Me	0.200	0.050
ANB	0.200	0.076
Wits	0.200	0.908
Björk-Summe	0.200	0.705
S-Go:N-Me	0.200	0.802

Tabelle 7: Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung der kephalometrischen Variablen bei D5-Patienten. Angegeben sind die p-Werte der jeweiligen Tests. Bei drei Variablen (UK1-GoMe, Björk-Summe und S-Go:N-Me) zeigte der Shapiro-Wilk-Test p-Werte unter 0,05, was zunächst auf eine Abweichung von der Normalverteilung hindeutet. Die entsprechenden Q-Q-Plots zeigten jedoch lediglich einzelne Ausreißer bei ansonsten linearer Punktverteilung. Daher wurde insgesamt von einer ausreichenden Normalverteilung der Daten ausgegangen

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Signifikanz	Signifikanz
SNA	0.200	0.747
OK1-N-S	0.200	0.321
SNB	0.200	0.291
UK1-Go-Me	0.200	0.028
ANB	0.200	0.887
Wits	0.200	0.166
Björk-Summe	0.200	0.027
S-Go:N-Me	0.200	0.040

Tabelle 8: Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung der kephalometrischen Profilvariablen bei D4-Patienten. Angegeben sind die p-Werte der jeweiligen Tests. Die p-Werte beider Tests liegen für alle Variablen über 0,05, sodass keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung festgestellt wurde. Die Nullhypothese einer Normalverteilung kann somit beibehalten werden. Bei Kolmogorov-Smirnov-p-Werten von exakt 0,200 handelt es sich um die untere Grenze des tatsächlichen p-Werts (Lilliefors-Korrektur)

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Signifikanz	Signifikanz
ANB	0.200	0.076
NB-Pog-Strecke	0.200	0.472
H-Winkel Ist	0.200	0.119
H-Winkel Soll	0.200	0.491

Tabelle 9: Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung der kephalometrischen Profilvariablen bei D5-Patienten. Angegeben sind die p-Werte der jeweiligen Tests. Bei einer Variable (H-Winkel Ist) zeigte der Shapiro-Wilk-Test einen p-Wert unter 0,05, was zunächst auf eine Abweichung von der Normalverteilung hindeutet. Die entsprechenden Q-Q-Plots zeigten jedoch lediglich einzelne Ausreißer bei ansonsten linearer Punktverteilung. Daher wurde insgesamt von einer ausreichenden Normalverteilung der Daten ausgegangen

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Signifikanz	Signifikanz
ANB	0.200	0.887
NB-Pog-Strecke	0.055	0.195
H-Winkel Ist	0.200	0.006
H-Winkel Soll	0.200	0.078

Tabelle 10: Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung der Variablen der Modellanalyse-Daten von D4-Patienten. Angegeben sind die p-Werte der jeweiligen Tests. Mehrere Variablen, darunter SIOK, SIUK, Overjet und Overbite, zeigten in beiden Tests signifikante Abweichungen von der Normalverteilung ($p < 0,05$). Aufgrund dieser Ergebnisse wurden die Modellanalyse-Daten insgesamt als nicht normalverteilt eingestuft und mithilfe nicht-parametrischer Verfahren weiter analysiert

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Signifikanz	Signifikanz
SIOK	<0,001	0.002
SIUK	<0,001	<0,001
Tonn'scher Index	0.002	0.098
OK 4-4 Ist	0.028	0.120
OK 6-6 Ist	0.200	0.066
UK 4-4 Ist	0.200	0.804
Overbite	0.200	0.091
Overjet	<0,001	<0,001

Tabelle 11: Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung der Variablen der Modellanalyse-Daten von D5-Patienten. Angegeben sind die p-Werte der jeweiligen Tests. Mehrere Variablen, darunter SIOK, SIUK, OK 4-4 Ist und Overjet, zeigten in beiden Tests signifikante Abweichungen von der Normalverteilung ($p < 0,05$). Aufgrund dieser Ergebnisse wurden die Modellanalyse-Daten insgesamt als nicht normalverteilt eingestuft und mithilfe nicht-parametrischer Verfahren weiter analysiert

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Signifikanz	Signifikanz
SIOK	0.016	0.079
SIUK	<0,001	0.016
Tonn'scher Index	0.200	0.396
OK 4-4 Ist	0.006	<0,001
OK 6-6 Ist	0.200	0.551
UK 4-4 Ist	0.200	0.272
Overbite	0.200	0.415
Overjet	<0,001	<,0001

4.2 Methodenfehler

4.2.1 Methodenfehler der Modellanalyse

Zur Überprüfung der Messgenauigkeit wurden die Modellmessungen bei einer zufällig ausgewählten Stichprobe von 30 Patienten nach einem Intervall von zwei Wochen erneut durchgeführt. Die Wiederholungsmessung erfolgte unter identischen Bedingungen und mit denselben Messinstrumenten, um systematische Fehlerquellen zu minimieren und eine optimale Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Der Methodenfehler wurde für die klinisch relevanten Messgrößen berechnet, da bei bestimmten Parametern, insbesondere der Schneidezahnsummenbreite im Ober- (SIOK) und Unterkiefer (SIUK), keine nennenswerten Abweichungen beobachtet wurden.

Die Auswertung der Messgenauigkeit basierte auf der Formel von Dahlberg (1940) [24]:

$$MF = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

MF = Methodenfehler

d = Differenz zwischen Erst- und Zweitmessung

n = Anzahl der durchgeführten Doppelmessungen

Die Ergebnisse der Methodenfehleranalyse sind in **Tabelle 12** dargestellt.

Tabelle 12: Methodenfehler nach Dahlberg für die Modellanalyse

Variable	Methodenfehler
OK vZBB (mm)	0.11
OK hZBB (mm)	0.11
UK vZBB (mm)	0.13
UK hZBB (mm)	0.17
Overjet (mm)	0.05
Overbite (mm)	0.11

(OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, vZBB = vordere Zahnbogenbreite, hZBB = hintere Zahnbogenbreite)

Die dargestellten Methodenfehler nach Dahlberg zeigen, dass die Messabweichungen für alle analysierten Modellparameter gering ausfallen. Die Fehlerwerte liegen zwischen 0,05 mm und 0,17 mm und bewegen sich damit in einem Bereich, der als klinisch unbedenklich einzustufen ist.

4.2.2 Methodenfehler der kephalometrischen Analyse

Zur Überprüfung der Messgenauigkeit im Rahmen der kephalometrischen Analyse wurden 30 Fernröntgenseitenbilder nach einem Intervall von zwei Wochen erneut ausgewertet. Die Wiederholungsmessungen erfolgten mit derselben Auswertesoftware (*ivoris® Diagnostik*, Computer Konkret AG, Falkenstein, Deutschland).

Die Auswertung orientierte sich an der zuvor beschriebenen Vorgehensweise bei der Modellanalyse und umfasste ebenfalls die Berechnung des Methodenfehlers nach Dahlberg [24]. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 13** zusammengefasst.

Tabelle 13: Methodenfehler nach Dahlberg für die kephalometrische Analyse

Variable	Methodenfehler
SNA (°)	0,51
OK1-N-S (°)	0,68
SNB (°)	0,68
UK1-Go-Me (°)	1,19
ANB (°)	0,40
Wits (mm)	0,47
Björk-Summe (°)	1,23
S-Go: N-Me (%)	0,77
NB-Pog-Strecke (mm)	0,32
H-Winkel (Ist) (°)	0,57

Die dargestellten Methodenfehler nach Dahlberg zeigen, dass auch bei der kephalometrischen Analyse eine insgesamt gute Reproduzierbarkeit der Messwerte gegeben ist. Die berechneten Fehlerwerte der Winkelmessungen reichen von 0,40° bis 1,23°, wobei die Mehrzahl der Variablen Fehler unterhalb von 1° aufweist. Die beiden Streckenmessungen liegen unter 0,5 mm.

4.3 Kephالometrische Analyse

4.3.1 Deskriptive Statistik

Die deskriptive Statistik der metrischen Variablen der kephalometrischen Daten der D4- und D5-Patienten ist in den **Tabellen 14 und 15** dargestellt.

Tabelle 14: Deskriptive Kennwerte der kephalometrischen Messgrößen in der D4-Patientengruppe (n = 156)

Variable	Min.	Max.	M	SD
SNA (°)	73.0	92.8	83.1	3.3
OK1-N-S (°)	87.2	127.1	107.7	8.0
SNB (°)	70.4	86.8	77.8	3.4
UK1-Go-Me (°)	77.4	127.0	100.1	7.9

Ergebnisse

ANB (°)	0.3	10.5	5.3	1.9
Wits (mm)	-1.6	8.6	3.2	2.0
Björk-Summe (°)	374.7	405.6	389.8	6.0
S-Go:N-Me (%)	55.1	82.7	67.8	5.2

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

Oberkiefer (SNA, OK1-N-S)

Die Werte für SNA liegen zwischen 73,0° und 92,8°, mit einem Mittelwert von 83,1° und einer Standardabweichung von 3,3°. Die Messwerte für OK1-N-S reichen von 87,2° bis 127,1°, wobei der Mittelwert 107,7° und die Standardabweichung 8,0° beträgt.

Unterkiefer (SNB, UK1-Go-Me)

Für SNB wurden Werte zwischen 70,4° und 86,8° erfasst, mit einem Mittelwert von 77,8° und einer Standardabweichung von 3,4°. Die Werte für UK1-Go-Me variieren zwischen 77,4° und 127,0°, mit einem Mittelwert von 100,1° und einer Standardabweichung von 7,9°.

Kieferbasenrelation (ANB-Winkel, Wits-Wert)

Die Messwerte für ANB liegen zwischen 0,3° und 10,5°, mit einem Mittelwert von 5,3° und einer Standardabweichung von 1,9°. Für den Wits-Wert wurden Werte zwischen -1,6 mm und 8,6 mm erfasst, mit einem Mittelwert von 3,2 mm und einer Standardabweichung von 2,0 mm.

Wachstumsmuster (Björk-Summenwinkel, S-Go:N-Me)

Die Werte für die Björk-Summe bewegen sich zwischen 374,7° und 405,6°, mit einem Mittelwert von 389,8° und einer Standardabweichung von 6,0°. Die Messwerte für S-Go:N-Me (%) liegen zwischen 55,1 % und 82,7 %, mit einem Mittelwert von 67,8 % und einer Standardabweichung von 5,2 %.

Tabelle 15: Deskriptive Kennwerte der kephalometrischen Messgrößen in der D5-Patientengruppe (n = 69)

Variable	Min.	Max.	M	SD
SNA	72.8	90.9	82.5	3.6
OK1-N-S	97.5	135.3	113.9	8.2
SNB	67.3	86.8	76.5	3.9
UK1-Go-Me	75.1	128.8	96.8	9.6

Ergebnisse

ANB	0.9	12.2	6.0	2.3
Wits	-1.4	10.5	5.1	2.5
Björk-Summe	374.7	417.0	390.2	7.6
S-Go:N-Me	50.9	81.6	68.2	5.9

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

Oberkiefer (SNA, OK1-N-S)

Die Werte für SNA liegen zwischen 72,8° und 90,9°, mit einem Mittelwert von 82,5° und einer Standardabweichung von 3,6°. Die Messwerte für OK1-N-S reichen von 97,5° bis 135,3°, wobei der Mittelwert 113,9° und die Standardabweichung 8,2° beträgt.

Unterkiefer (SNB, UK1-Go-Me)

Für SNB wurden Werte zwischen 67,3° und 86,8° erfasst, mit einem Mittelwert von 76,5° und einer Standardabweichung von 3,9°. Die Werte für UK1-Go-Me variieren zwischen 75,1° und 128,8°, mit einem Mittelwert von 96,8° und einer Standardabweichung von 9,6°.

Kieferbasenrelation (ANB-Winkel, Wits-Wert)

Die Messwerte für ANB liegen zwischen 0,9° und 12,2°, mit einem Mittelwert von 6,0° und einer Standardabweichung von 2,3°. Für Wits wurden Werte zwischen -1,4 mm und 10,5 mm erfasst, mit einem Mittelwert von 5,1 mm und einer Standardabweichung von 2,5 mm.

Wachstumsmuster (Björk-Summenwinkel, S-Go:N-Me)

Die Werte für die Björk-Summe bewegen sich zwischen 374,7° und 417,0°, mit einem Mittelwert von 390,2° und einer Standardabweichung von 7,6°. Die Messwerte für S-Go:N-Me (%) liegen zwischen 50,9 % und 81,6 %, mit einem Mittelwert von 68,2 % und einer Standardabweichung von 5,9 %.

4.3.2 Häufigkeitsverteilungen

Tabelle 16 gibt eine Übersicht über die Häufigkeitsverteilungen der kategorialen Variablen innerhalb der kephalometrischen Daten für die Gruppe D4 und D5.

Tabelle 16: Verteilung diagnostischer Kategorien der kephalometrischen Parameter in den Patienten-
gruppen D4 und D5

Variable		D4		D5	
		n	%	n	%
SNA	Maxilla orthognath	67	42,9	29	42,0
	Maxilläre Prognathie	61	39,1	24	34,8
	Maxilläre Retrognathie	28	17,9	16	23,2
OK1-N-S	Norminklination Oberkieferfront	34	21,8	6	8,7
	Protrusion Oberkieferfront	96	61,5	59	85,5
	Steilstand Oberkieferfront	26	16,7	4	5,8
SNB	Mandibula orthognath	62	39,7	12	17,4
	Mandibuläre Prognathie	12	7,7	8	11,6
	Mandibuläre Retrognathie	82	52,6	49	71,0
UK1-Go-Me	Norminklination Unterkieferfront	25	16,0	14	20,3
	Protrusion Unterkieferfront	127	81,4	45	65,2
	Steilstand Unterkieferfront	4	2,6	10	14,5
ANB	Distobasale Kieferbaserelation	117	75,0	54	78,3
	Neutrale Kieferbaserelation	39	25,0	15	21,7
Wits	Skelettale Klasse I	25	16,0	8	11,6
	Skelettale Klasse II	131	84,0	61	88,4
Björk-Summe	Horizontales MW	112	71,8	50	72,5
	Neutrales WM	28	17,9	8	11,6
	Vertikales WM	16	10,3	11	15,9
S-Go:N-Me	Horizontales WM	120	76,9	55	79,7
	Neutrales WM	25	16,0	12	17,4
	Vertikales WM	11	7,1	2	2,9

(n = absolute Häufigkeit, % = relative Häufigkeit, WM = Wachstumsmuster)

Oberkiefer (SNA, OK1-N-S)

D4

Für die Variable SNA wurde bei 67 Patienten (42,9 %) eine maxilläre Orthognathie festgestellt. Eine maxilläre Prognathie wurde bei 61 Patienten (39,1 %) erfasst, während 28 Patienten (17,9 %) eine maxilläre Retrognathie aufwiesen.

Die Werte für OK1-N-S zeigen, dass 34 Patienten (21,8 %) eine Norminklination der Oberkieferfront hatten. Eine Protrusion der Oberkieferfront wurde bei 96 Patienten (61,5 %) dokumentiert, während 26 Patienten (16,7 %) eine Steilstellung der Oberkieferfront aufwiesen.

D5

Für SNA wurde bei 29 Patienten (42,0 %) eine maxilläre Orthognathie festgestellt. Eine maxilläre Prognathie wurde bei 24 Patienten (34,8 %) erfasst, während 16 Patienten (23,2 %) eine maxilläre Retrognathie aufwiesen.

Die Werte für OK1-N-S zeigen, dass 6 Patienten (8,7 %) eine Norminklination der Oberkieferfront hatten. Eine Protrusion der Oberkieferfront wurde bei 59 Patienten (85,5 %) dokumentiert, während 4 Patienten (5,8 %) eine Steilstellung der Oberkieferfront aufwiesen.

Unterkiefer (SNB, UK1-Go-Me)

D4

Bei der Variable SNB lag eine mandibuläre Orthognathie bei 62 Patienten (39,7 %) vor. Eine mandibuläre Prognathie wurde bei 12 Patienten (7,7 %) erfasst, während 82 Patienten (52,6 %) eine mandibuläre Retrognathie aufwiesen.

Für die Variable UK1-Go-Me wurde eine Norminklination der Unterkieferfront bei 25 Patienten (16,0 %) festgestellt. Eine Protrusion der Unterkieferfront lag bei 127 Patienten (81,4 %) vor, während eine Steilstellung der Unterkieferfront bei 4 Patienten (2,6 %) beobachtet wurde.

D5

Bei der Variable SNB lag eine mandibuläre Orthognathie bei 12 Patienten (17,4 %) vor. Eine mandibuläre Prognathie wurde bei 7 Patienten (10,1 %) erfasst, während 49 Patienten (71,0 %) eine mandibuläre Retrognathie aufwiesen.

Für die Variable UK1-Go-Me wurde eine Norminklination der Unterkieferfront bei 14 Patienten (20,3 %) festgestellt. Eine Protrusion der Unterkieferfront lag bei 45 Patienten (65,2 %) vor, während eine Steilstellung der Unterkieferfront bei 10 Patienten (14,5 %) beobachtet wurde.

Kieferbasenrelation (ANB-Winkel, Wits-Wert)

D4

Die Werte für den ANB-Winkel zeigen, dass bei 117 Patienten (75,0 %) eine distobasale Kieferbaserelation festgestellt wurde. Eine neutrale Kieferbaserelation wurde bei 39 Patienten (25,0 %) erfasst.

Für den Wits-Wert wurde bei 25 Patienten (16,0 %) eine skelettale Klasse I festgestellt, während 131 Patienten (84,0 %) eine skelettale Klasse II aufwiesen.

D5

Die Werte für den ANB-Winkel zeigen, dass bei 54 Patienten (78,3 %) eine distobasale Kieferbaserelation festgestellt wurde. Eine neutrale Kieferbaserelation wurde bei 15 Patienten (21,7 %) erfasst.

Für den Wits-Wert wurde bei 8 Patienten (11,6 %) eine skelettale Klasse I festgestellt, während 61 Patienten (88,4 %) eine skelettale Klasse II aufwiesen.

Wachstumsmuster (Björk-Summenwinkel, S-Go:N-Me)

D4

Die Björk-Summe zeigt eine horizontale Wachstumsrichtung bei 112 Patienten (71,8 %), eine neutrale Wachstumsrichtung bei 28 Patienten (17,9 %) und eine vertikale Wachstumsrichtung bei 16 Patienten (10,3 %).

Die Werte für S-Go:N-Me zeigen, dass 120 Patienten (76,9 %) eine horizontale Wachstumsrichtung aufwiesen, während bei 25 Patienten (16,0 %) eine neutrale Wachstumsrichtung dokumentiert wurde. Eine vertikale Wachstumsrichtung wurde bei 11 Patienten (7,1 %) festgestellt.

D5

Die Björk-Summe zeigt eine horizontale Wachstumsrichtung bei 50 Patienten (72,5 %), eine neutrale Wachstumsrichtung bei 11 Patienten (15,9 %) und eine vertikale Wachstumsrichtung bei 8 Patienten (11,6 %).

Die Werte für S-Go:N-Me zeigen, dass 55 Patienten (79,7 %) eine horizontale Wachstumsrichtung aufwiesen, während bei 12 Patienten (17,4 %) eine neutrale Wachstumsrichtung dokumentiert wurde. Eine vertikale Wachstumsrichtung wurde bei 2 Patienten (2,9 %) festgestellt.

4.3.3 Die 10 häufigsten Gruppen von diagnostischen Kombinationen

Zur systematischen Analyse der diagnostischen Kombinationen wurden die am häufigsten auftretenden Merkmalskombinationen ermittelt. Die 10 am häufigsten auftretenden Kombinationsgruppen innerhalb jeder Gruppe wurden daraufhin extrahiert und in den **Tabellen 17 und 18** dargestellt.

In der D4-Gruppe konnten insgesamt 72 verschiedene Kombinationen skelettaler und dentaler Merkmale identifiziert werden, in der D5-Gruppe waren es 45 Kombinationen.

Tabelle 17: Die 10 häufigsten Gruppen von diagnostischen Kombinationen der kephalometrischen Daten der D4-Gruppe. Insgesamt beinhalten diese 10 häufigsten Gruppen 45,5 % aller Patienten in der D4-Gruppe.

Maxilla skelettal	OK- Frontzähne	Mandibula skelettal	UK- Frontzähne	KBR	skel. Klasse	WM	n
prognath	protrudiert	orthognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	19
orthognath	protrudiert	retrognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	13
orthognath	normal	retrognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	8
orthognath	protrudiert	orthognath	protrudiert	neutral	II	horizontal	7
retrognath	retrudiert	retrognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	4
orthognath	retrudiert	retrognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	4
prognath	protrudiert	prognath	protrudiert	neutral	II	horizontal	4
orthognath	protrudiert	orthognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	4
prognath	protrudiert	prognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	4
prognath	protrudiert	orthognath	protrudiert	neutral	II	horizontal	4

(KBR = Kieferbasenrelation, skel. Klasse = skelettale Klasse, WM = Wachstumsmuster, n = Anzahl)

Die häufigste Kombination wurde bei 19 Patienten (12,2 %) beobachtet und besteht aus einer maxillären Prognathie, einer protrudierten Oberkieferfront und einer distobasalen Kieferrelation. Eine ähnliche Gruppe mit einer orthognathen Maxilla, aber ebenfalls einer protrudierten Oberkieferfront und einer distobasalen Kieferrelation, umfasst 13 Patienten (8,3 %).

Eine weitere Gruppe mit 8 Patienten (5,1 %) zeigt eine retrognathe Maxilla, kombiniert mit einer distobasalen Kieferrelation. Zudem sind drei Gruppen mit einer neutralen Kieferbasenrelation vertreten.

Hinsichtlich des Wachstumsmusters weisen alle 10 häufigsten Gruppen ein horizontales Wachstumsmuster auf.

Die Protrusion der oberen Schneidezähne ist in den meisten Gruppen vorhanden, insbesondere bei den häufigsten Kombinationen, wobei eine Protrusion der Unterkieferfront bei allen Gruppen zu beobachten ist.

Die Mehrheit der häufigsten Kombinationen zeigt eine distobasale Kieferrelation, wobei sowohl orthognathe als auch retrognathe Unterkieferlagen vertreten sind. Die häufigsten Kombinationen innerhalb der FRS-Daten der D4-Gruppe beinhalten somit eine Vielfalt an skelettalen und dentalen Faktoren, die in ihrer jeweiligen Zusammensetzung unterschiedlich häufig auftreten.

Tabelle 18: Die 10 häufigsten Gruppen von diagnostischen Kombinationen der kephalometrischen Daten der D5-Gruppe. Insgesamt beinhalten diese 10 häufigsten Gruppen 47,8 % aller Patienten in der D5-Gruppe.

Maxilla skelettal	OK- Frontzähne	Mandibula skelettal	UK- Frontzähne	KBR	skel. Klasse	WM	n
orthognath	Protrudiert	retrognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	10
retrognath	Protrudiert	retrognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	4
orthognath	Normal	orthognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	3
prognath	Protrudiert	orthognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	3
retrognath	Protrudiert	retrognath	protrudiert	neutral	II	horizontal	3
orthognath	Normal	orthognath	normal	distobasal	II	vertikal	2
orthognath	Protrudiert	retrognath	normal	distobasal	II	neutral	2
retrognath	Retrudiert	retrognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	2
orthognath	Protrudiert	orthognath	protrudiert	distobasal	II	vertikal	2
retrognath	Retrudiert	retrognath	protrudiert	distobasal	II	horizontal	2

(KBR = Kieferbasenrelation, skel. Klasse = skelettale Klasse, WM = Wachstumsmuster, n = Anzahl)

Die häufigste Gruppe wurde bei 10 Patienten (14,5 %) beobachtet. Diese Gruppe weist eine orthognathe Maxilla, eine protrudierte Oberkieferfront, eine retrognathe Mandibula, eine protrudierte Unterkieferfront und eine distobasale Kieferrelation auf.

Eine weitere Gruppe mit 4 Patienten (5,8 %) zeigte eine retrognathe Maxilla, eine protrudierte Oberkieferfront, eine retrognathe Mandibula, eine protrudierte Unterkieferfront und eine distobasale Kieferrelation.

Mehrere kleinere Gruppen mit jeweils 2 oder 3 Patienten zeigen verschiedene Kombinationen von skelettalen und dentalen Merkmalen, darunter orthognathe und retrognathe Unterkieferlagen, begleitet von unterschiedlichen Inklinationsmustern der Frontzähne. Insgesamt

dominiert das horizontale Wachstumsmuster, jedoch treten auch Gruppen mit vertikalen und neutralen Wachstumsmuster auf.

4.3.4 Korrelationsanalyse

Zur Analyse der Zusammenhänge zwischen den diagnostischen Parametern wurden Korrelationsanalysen durchgeführt. Die **Tabellen 19 und 20** zeigen die berechneten Pearson-Korrelationskoeffizienten.

Tabelle 19: Korrelationsanalyse zwischen den diagnostischen kephalometrischen Parametern der D4-Gruppe. Dargestellt sind Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) zur Erfassung linearer Zusammenhänge zwischen den untersuchten Variablen. Positive Werte zeigen gleichsinnige, negative gegensinnige Relationen. Statistisch signifikant: $p < 0,05$ (*); hoch signifikant: $p < 0,01$ (**)

	SNA	OK1-N-S	SNB	UK1-Go-Me	ANB	Wits	Björk-Summe	S-Go:N-Me
SNA	--							
OK1-N-S	0.405**	--						
SNB	0.849**	0.589**	--					
UK1-Go-Me	0.210**	0.146	0.064	--				
ANB	0.266**	-0.343**	-0.273**	0.244**	--			
Wits	0.032	-0.171*	-0.276**	0.364**	0.540**	--		
Björk-Summe	-0.438**	-0.349**	-0.587**	-0.500**	0.275**	-0.152	--	
S-Go:N-Me	0.431**	0.337**	0.564**	0.471**	-0.245**	0.172*	-0.959**	--

Signifikante diagnostisch relevante Korrelationen (D4)

Es ist zu beachten, dass nicht alle signifikanten Korrelationen diagnostisch bedeutsam sind. Besonders enge mathematische oder definitionsbedingte Beziehungen (z. B. zwischen SNA/ SNB und ANB oder zwischen Björk-Summe und S-Go:N-Me) sind erwartbar und dienen primär der Bestätigung der internen Konsistenz.

Zwischen der sagittalen Kieferrelation und der Frontzahnstellung ergaben sich mehrere signifikante Zusammenhänge. So zeigte der ANB-Wert eine negative Korrelation mit dem OK1-N-S-Winkel ($r = -0,343$; $p < 0,01$) und eine positive Korrelation mit dem UK1-GoMe-Winkel ($r = 0,244$; $p < 0,01$). Der Wits-Wert korrelierte ebenfalls negativ mit OK1-N-S ($r = -0,171$; $p < 0,05$) und positiv mit UK1-GoMe ($r = 0,364$; $p < 0,01$).

Bezogen auf die Vertikalkomponenten zeigte der ANB-Wert eine signifikant positive Korrelation zur Björk-Summe ($r = 0,275$; $p < 0,01$) sowie eine negative Korrelation zum S-Go:N-Me-

Verhältnis ($r = -0,245$; $p < 0,01$). Auch der Wits-Wert korrelierte signifikant mit dem vertikalen Wachstumsparameter S-Go:N-Me ($r = 0,172$; $p < 0,05$).

Die Stellung der Frontzähne zeigte ebenfalls deutliche Zusammenhänge mit vertikalen Parametern. Der OK1-N-S-Winkel korrelierte negativ mit der Björk-Summe ($r = -0,349$; $p < 0,01$) und positiv mit dem S-Go:N-Me-Verhältnis ($r = 0,337$; $p < 0,01$). Für den UK1-GoMe-Winkel fanden sich signifikante negative Korrelationen mit der Björk-Summe ($r = -0,500$; $p < 0,01$) und positive Korrelationen mit S-Go:N-Me ($r = 0,471$; $p < 0,01$).

Weitere relevante Zusammenhänge betrafen insbesondere den SNB-Wert. Dieser korrelierte signifikant positiv mit dem OK1-N-S-Winkel ($r = 0,589$; $p < 0,01$), negativ mit dem Wits-Wert ($r = -0,276$; $p < 0,01$), negativ mit der Björk-Summe ($r = -0,587$; $p < 0,01$) und positiv mit dem S-Go:N-Me-Verhältnis ($r = 0,564$; $p < 0,01$).

Zwischen ANB und Wits bestand eine starke positive Korrelation ($r = 0,540$; $p < 0,01$). Der Zusammenhang zwischen SNA und SNB war sehr hoch ($r = 0,849$; $p < 0,01$) und bestätigt die gemeinsame skelettale Orientierung beider Werte.

Die hohe negative Korrelation zwischen Björk-Summe und S-Go:N-Me ($r = -0,959$; $p < 0,01$) reflektiert die gegensätzliche Definitionsweise beider vertikaler Wachstumsindikatoren.

Tabelle 20: Korrelationsanalyse zwischen den diagnostischen kephalometrischen Parametern der D5-Gruppe. Dargestellt sind Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) zur Erfassung linearer Zusammenhänge zwischen skelettalen, dentalen und wachstumsbezogenen Variablen. Positive Werte zeigen gleichsinnige, negative gegensinnige Relationen. Statistisch signifikant: $p < 0,05$ (*); hoch signifikant: $p < 0,01$ (**)

	SNA	OK1-N-S	SNB	UK1-Go-Me	ANB	Wits	Björk-Summe	S-Go:N-Me
SNA	--							
OK1-N-S	0.346**	--						
SNB	0.824**	0.590**	--					
UK1-Go-Me	-0.065	0.217	-0.001	--				
ANB	0.134	-0.483**	-0.452**	-0.098	--			
Wits	-0.154	-0.244*	-0.531**	-0.091	0.688**	--		
Björk-Summe	-0.314**	-0.494**	-0.615**	-0.291*	0.578**	0.277*	--	
S-Go:N-Me	0.300*	0.482**	0.610**	0.306*	-0.591**	-0.284*	-0.971**	--

Signifikante diagnostisch relevante Korrelationen (D5)

Analog zur D4-Gruppe werden im Folgenden die signifikanten, diagnostisch relevanten Korrelationen für die D5-Gruppe dargestellt.

Auch in der D5-Gruppe zeigten sich deutliche Zusammenhänge zwischen der sagittalen Kieferrelation und der Frontzahnstellung. Der ANB-Wert korrelierte negativ mit dem OK1-N-S-Winkel ($r = -0,483$; $p < 0,01$), der Wits-Wert ebenfalls negativ mit OK1-N-S ($r = -0,244$; $p < 0,05$).

Bezüglich der Vertikalkomponenten fanden sich beim ANB-Wert signifikant positive Korrelationen zur Björk-Summe ($r = 0,578$; $p < 0,01$) sowie signifikant negative Korrelationen zum S-Go:N-Me-Verhältnis ($r = -0,591$; $p < 0,01$). Der Wits-Wert korrelierte negativ mit S-Go:N-Me ($r = -0,284$; $p < 0,05$).

Auch die Frontzahnstellung zeigte in der D5-Gruppe klare Zusammenhänge mit den Vertikalkomponenten: Der OK1-N-S-Winkel korrelierte negativ mit der Björk-Summe ($r = -0,494$; $p < 0,01$) und positiv mit dem S-Go:N-Me-Verhältnis ($r = 0,482$; $p < 0,01$). Der UK1-GoMe-Winkel wies ebenfalls signifikante Korrelationen auf: negativ mit der Björk-Summe ($r = -0,291$; $p < 0,05$) und positiv mit dem S-Go:N-Me-Verhältnis ($r = 0,306$; $p < 0,05$).

Der SNB-Wert zeigte auch in dieser Gruppe relevante Zusammenhänge: positiv mit OK1-N-S ($r = 0,590$; $p < 0,01$), negativ mit dem Wits-Wert ($r = -0,531$; $p < 0,01$), negativ mit der Björk-Summe ($r = -0,615$; $p < 0,01$) und positiv mit S-Go:N-Me ($r = 0,610$; $p < 0,01$).

Zwischen ANB und Wits bestand eine starke positive Korrelation ($r = 0,688$; $p < 0,01$), die die funktionelle Kopplung beider sagittaler Parameter bestätigt. Die Korrelation zwischen SNA und SNB fiel auch in der D5-Gruppe deutlich aus ($r = 0,824$; $p < 0,01$).

Die negative Korrelation zwischen Björk-Summe und S-Go:N-Me ($r = -0,971$; $p < 0,01$) bestätigt erneut die entgegengesetzte Definitionsweise beider vertikaler Indikatoren.

4.4 Kephalometrische Profilanalyse

4.4.1 Deskriptive Statistik

Eine Übersicht über die deskriptiven Statistiken der erfassten Variablen für die Profilbeurteilung der D4- und D5-Gruppe ist in den **Tabellen 21 und 22** dargestellt.

Tabelle 21: Deskriptive Statistik der metrischen Variablen der kephalometrischen Profilanalyse-Daten von D4-Patienten (n = 156)

Variable	Min.	Max.	M	SD
ANB (°)	0.3	10.5	5.3	1.9
NB-Pog-Strecke (mm)	-2.6	6.7	1.5	1.6
H-Winkel Ist (°)	-3.7	26.5	14.0	5.1
H-Winkel Soll (°)	4.0	22.0	13.9	3.3

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

Die deskriptive Analyse der Profilparameter für die D4-Patienten zeigt die Verteilung der untersuchten Variablen anhand von Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung. Der ANB-Wert wurde bereits in **Kapitel 4.3.1** erläutert. Da die hier betrachteten Variablen jedoch in direktem Zusammenhang mit dem ANB-Wert stehen, wird er in dieser Analyse erneut berücksichtigt, um die Zusammenhänge innerhalb der Profilbewertung darzustellen.

Die Werte für ANB liegen zwischen 0,3° und 10,5°, mit einem Mittelwert von 5,3° und einer Standardabweichung von 1,9°. Die NB-Pog-Strecke variiert zwischen -2,6 mm und 6,7 mm, mit einem Mittelwert von 1,5 mm und einer Standardabweichung von 1,6 mm.

Die Werte für den gemessenen H-Winkel (Ist) liegen im Bereich von -3,7° bis 26,5°, mit einem Mittelwert von 14,0° und einer Standardabweichung von 5,1°. Die berechneten H-Winkel (Soll) variieren zwischen 4,0° und 22,0°, mit einem Mittelwert von 13,9° und einer Standardabweichung von 3,3°.

Tabelle 22: Deskriptive Statistik der metrischen Variablen der kephalometrischen Profilanalyse-Daten von D5-Patienten (n = 69)

Variable	Min.	Max.	M	SD
ANB (Messung)	0.9	12.2	6.0	2.3
NB-Pog-Strecke (mm)	-3.7	8.8	2.1	2.1
H-Winkel Ist (Messung)	-4.8	26.5	15.2	6.2
H-Winkel Soll	1.6	24.0	13.8	3.9

(Min. = Minimum, Max. = Maximum, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

Die deskriptive Analyse der Profilparameter für die D5-Patienten erfolgte analog zu der Analyse der D4-Gruppe.

Die Werte für ANB liegen zwischen $0,9^\circ$ und $12,2^\circ$, mit einem Mittelwert von $6,0^\circ$ und einer Standardabweichung von $2,3^\circ$. Die NB-Pog-Strecke variiert zwischen $-3,7$ mm und $8,8$ mm, mit einem Mittelwert von $2,1$ mm und einer Standardabweichung von $2,1$ mm.

Die Werte für den gemessenen H-Winkel (Ist) liegen im Bereich von $-4,8^\circ$ bis $26,5^\circ$, mit einem Mittelwert von $15,2^\circ$ und einer Standardabweichung von $6,2^\circ$. Die berechneten H-Winkel (Soll) variieren zwischen $1,6^\circ$ und $24,0^\circ$, mit einem Mittelwert von $13,8^\circ$ und einer Standardabweichung von $3,9^\circ$.

4.4.2 Häufigkeitsverteilungen

Die **Abbildungen 18 und 19** veranschaulichen die prozentuale Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Profiltypen innerhalb der untersuchten Stichproben.

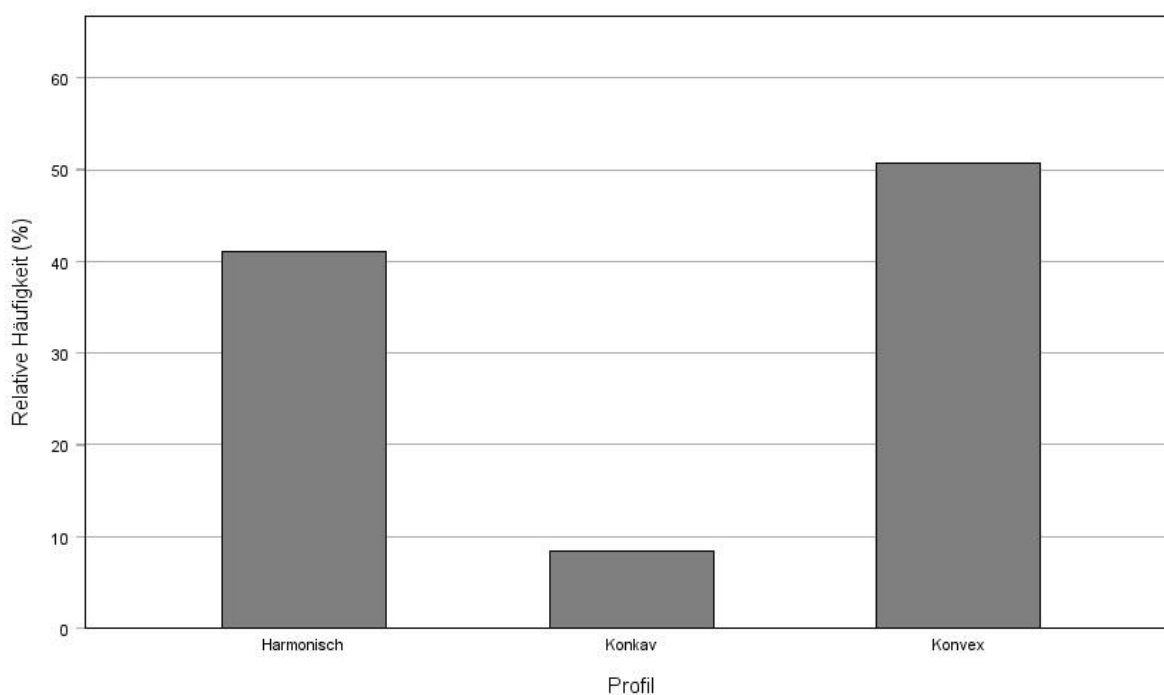


Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung der Profilklassifikationen in der D4-Gruppe ($n = 156$). Ein harmonisches Profil wurde bei 42,0 % der Patienten der D4-Gruppe beobachtet. Ein konkaves Profil tritt selten auf und wurde bei 8,7 % der Patienten festgestellt, während ein konvexes Profil mit 49,3 % die häufigste Erscheinungsform in dieser Gruppe ist.

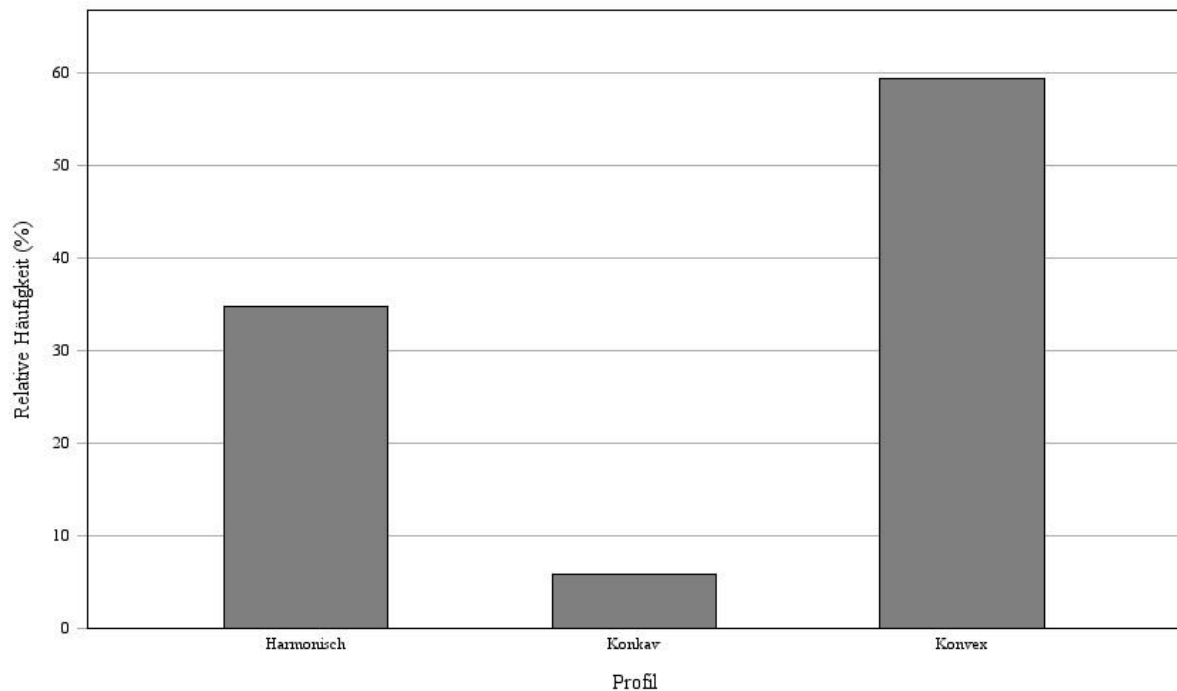


Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der Profilklassifikationen in der D5-Gruppe (n = 69). In der D5-Gruppe wurde ein harmonisches Profil bei 34,8 % der Patienten beobachtet. Ein konkaves Profil tritt auch hier selten auf und wurde bei 6,5 % der Patienten festgestellt, während ein konvexes Profil mit 58,7 % auch in dieser Gruppe die häufigste Erscheinungsform ist.

4.5 Modellanalyse

4.5.1 Deskriptive Statistik

Da die Modellanalyse-Daten der D4- und der D5-Gruppen nicht normalverteilt waren, wurden in der deskriptiven Statistik der Median als Maß für die zentrale Tendenz sowie der Interquartilsabstand (IQR) zur Beschreibung der Streuung berechnet. Zusätzlich sind die Spannweite, das Minimum und das Maximum jeder Variable aufgeführt, um die gesamte Variabilität der Messwerte darzustellen. Die Ergebnisse sind jeweils in den **Tabellen 23 und 24** zusammengefasst.

Tabelle 23: Deskriptive Kennwerte der der modellanalytischen Messgrößen in der D4-Patientengruppe (n = 156)

	SIOK	SIUK	T. I	OK vZBB	OK hZBB	UK vZBB	UK hZBB	Overjet	Overbite
Median	32.0	23.0	1.36	35.0	46.3	34.5	46.9	7.0	4.5
IQR	3.0	2.0	0.07	2.7	3.5	2.8	3.9	1.4	1.1

Ergebnisse

Spannweite	9.0	7.0	0.40	12.7	13.5	10.9	15.0	2.9	12.0
Minimum	27.0	20.0	1.17	29.2	41.0	29.6	41.3	6.1	-3.9
Maximum	36.0	27.0	1.57	41.9	54.5	40.5	56.3	9.0	8.1

(*T. I* = Tonn'scher Index, *IQR* = Interquartilsabstand, *OK* = Oberkiefer, *UK* = Unterkiefer, *vZBB* = vordere Zahnbogenbreite, *hZBB* = hintere Zahnbogenbreite)

Der Tonn'sche Index weist mit einem Median von 1,36 eine geringe Variabilität auf (*IQR* = 0,07), was auf eine relativ homogene Verteilung dieses Parameters hinweist. Die *SIOK*- und *SIUK*-Werte zeigen hingegen eine große Spannweite (*SIOK*: 27–36, *SIUK*: 20–27), bei einem Median von 32.0 mm (*SIOK*) und 23.0 mm (*SIUK*).

Die transversalen Zahnbogenbreiten zeigen im Oberkiefer mediane Werte von 35,0 mm (*OK vZBB*) und 46,3 mm (*OK hZBB*) sowie im Unterkiefer 34,5 mm (*UK vZBB*) und 46,9 mm (*UK hZBB*). Der Overjet weist einen Median von 7,0 mm. Der Overbite (Median = 4,5 mm) zeigt eine gewisse Variabilität, mit einer Spannweite von -3,9 bis 8,1 mm, was sowohl Fälle mit Tiefbiss als auch offene Bisse einschließt.

Tabelle 24: Deskriptive Kennwerte der der modellanalytischen Messgrößen in der D5-Patientengruppe (n = 69)

	SIOK	SIUK	T. I	OK vZBB	OK hZBB	UK vZBB	UK hZBB	Overjet	Overbite
Median	31.0	23.0	1.3	34.5	45.6	34.3	47.3	10.2	5.0
IQR	2.0	2.0	0.1	2.9	4.2	2.5	4.3	1.2	1.4
Spannweite	9.0	6.5	.28	21.5	12.5	11.8	16.6	4.9	10.8
Minimum	27.0	19.5	1.24	22.5	39.0	29.1	40.4	9.1	-3.0
Maximum	36.0	26.0	1.52	44.0	51.5	40.9	57.0	14.0	7.8

(*T. I* = Tonn'scher Index, *IQR* = Interquartilsabstand, *OK* = Oberkiefer, *UK* = Unterkiefer, *vZBB* = vordere Zahnbogenbreite, *hZBB* = hintere Zahnbogenbreite)

Der Tonn'sche Index weist in der D5-Patientengruppe mit einem Median von 1,30 und einem sehr kleinen Interquartilsabstand (*IQR* = 0,1) auf eine äußerst geringe Streuung hin, was auf eine stark konzentrierte Verteilung dieses Werts schließen lässt. Im Gegensatz dazu zeigen die *SIOK*- und *SIUK*-Werte eine breitere Streuung mit Spannweiten von 9,0 mm (*SIOK*: 27,0–36,0 mm) bzw. 6,5 mm (*SIUK*: 19,5–26,0 mm).

Die transversalen Zahnbogenbreiten im Oberkiefer liegen median bei 34,5 mm (*OK vZBB*) und 45,6 mm (*OK hZBB*), im Unterkiefer bei 34,3 mm (*UK vZBB*) und 47,3 mm (*UK hZBB*).

Auch hier zeigt sich eine gewisse Bandbreite, insbesondere bei den vorderen Zahnbogenbreiten des Oberkiefers (Spannweite: 21,5 mm).

Beim Overjet wurde ein Median von 10,2 mm gemessen, was auf die stärkere Ausprägung im Vergleich zur D4-Gruppe hinweist. Der Overbite zeigt mit einem Median von 5,0 mm ebenfalls eine moderate Ausprägung. Die Spannweite reicht von -1,0 mm bis 7,8 mm, was sowohl Tiefbisse als auch offene Bisse abbildet und somit eine breite klinische Varianz erkennen lässt.

4.5.1.1 Deskriptive Statistik der Differenzen der Zahnbogenbreiten

Zur Beurteilung der transversalen Zahnbogenbreiten wurden die Differenzen zwischen den gemessenen Werten der untersuchten Patienten und den Referenzwerten nach Weise berechnet. Diese Differenzen bildeten die Grundlage für die Einteilung der Probanden in Gruppen mit normaler, verminderter oder vergrößerter Zahnbogenbreite und werden im nachfolgenden Kapitel in **Tabelle 29** dargestellt. Da für die Referenzwerte nach Weise keine Streuungsmaße vorliegen, wurde zur pragmatischen Einordnung ein klinisch-empirischer Toleranzbereich von ± 1 mm definiert.

Ergänzend zu dieser Gruppeneinteilung (**Tab. 29**) wurden für jede Messstrecke (OK-UK vZBB und hZBB) der Mittelwert (M) und die Standardabweichung (SD) der Differenzen berechnet, um die Verteilung der Abweichungen gegenüber den Referenzwerten zusätzlich statistisch zu beschreiben (**Tab. 27, 28**). Diese ergänzende Auswertung dient der objektiveren Einschätzung, wie stark die gemessenen Werte im Durchschnitt vom Normwert abweichen und wie homogen oder streuend sich die Patientengruppe in den jeweiligen Regionen präsentiert.

Da die Einteilung im Normbereich, Verbreiterung oder Verengung auf einem empirisch festgelegten Schwellenwert basiert, liefert die Darstellung über M und SD eine zusätzliche, rein datenbasierte Perspektive auf die Verteilung innerhalb der Stichprobe. Sie stellt somit eine sinnvolle Erweiterung der Analyse dar, ohne die klinisch definierte Gruppeneinteilung zu ersetzen.

Die Differenzwerte wurden mittels Shapiro-Wilk- und Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft (**Tab. 25, 26**).

Tabelle 25: Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung der Differenzwerte zwischen den Messwerten der Patienten der D4-Gruppe und den Referenzwerten für die transversalen Zahnbogenbreiten nach Weise. Angegeben sind die p-Werte der jeweiligen Tests. Bei der Messung UK vZBB Diff. zeigte der Shapiro-Wilk-Test eine signifikante Abweichung ($p < 0,001$); die visuelle Prüfung mittels Q-Q-Plot ergab jedoch lediglich einen einzelnen Ausreißer, weshalb auch hier insgesamt von einer ausreichenden Normalverteilung ausgegangen wurde

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Signifikanz	Signifikanz
OK vZBB Diff.	0.200	0.242
OK hZBB Diff.	0.200	0.764
UK vZBB Diff.	0.200	<0,001
UK hZBB Diff.	0.200	0.453

(OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, vZBB = vordere Zahnbogenbreite, hZBB = hintere Zahnbogenbreite, Diff. = Differenz)

Tabelle 26: Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung der Differenzwerte zwischen den Messwerten der Patienten der D5-Gruppe und den Referenzwerten für die transversalen Zahnbogenbreiten nach Weise. Angegeben sind die p-Werte der jeweiligen Tests. Für die Messung OK vZBB Diff. zeigten sowohl der Kolmogorov-Smirnov-Test ($p = 0,019$) als auch der Shapiro-Wilk-Test ($p = 0,004$) eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung. In den anderen Messstrecken konnte anhand der Testergebnisse und visueller Prüfung mittels Q-Q-Plots insgesamt von einer ausreichenden Normalverteilung ausgegangen werden

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
	Signifikanz	Signifikanz
OK vZBB Diff.	0.019	0.004
OK hZBB Diff.	0.200	0.650
UK vZBB Diff.	0.200	0.694
UK hZBB Diff.	0.200	0.854

(OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, vZBB = vordere Zahnbogenbreite, hZBB = hintere Zahnbogenbreite, Diff. = Differenz)

Tabelle 27: Mittelwerte (M), Standardfehler der Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Differenzen der Zahnbogenbreiten im Vergleich zu den Referenzwerten nach Weise in der D4-Gruppe (n = 156)

Variable	M	Standardfehler	SD
OK vZBB Diff.	-2.6	0.19	2.4
OK hZBB Diff.	-4.1	0.20	2.5
UK vZBB Diff.	-3.4	0.18	2.3
UK hZBB Diff.	-3.4	0.21	2.6

(OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, vZBB = vordere Zahnbogenbreite, hZBB = hintere Zahnbogenbreite, Diff. = Differenz)

Die Differenz der gemessenen vorderen Zahnbogenbreite im Oberkiefer (OK vZBB) der D4-Gruppe wies einen Mittelwert von $-2,6$ mm (SE = 0,19, SD = 2,4) auf und für die hintere Zahnbogenbreite (OK hZBB) ergab sich ein Mittelwert von $-4,1$ mm (SE = 0,20, SD = 2,5). Die Differenzen in der Messstrecke der vorderen Zahnbogenbreite im Unterkiefer (UK vZBB) zeigten einen Mittelwert von $-3,4$ mm bei einem Standardfehler von 0,18 und einer Standardabweichung von 2,3, und für die hintere Zahnbogenbreite (UK hZBB) lag der Mittelwert der Differenzen ebenfalls bei $-3,4$ mm (SE = 0,21, SD = 2,6).

Tabelle 28: Mittelwerte (M), Standardfehler der Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Differenzen der Zahnbogenbreiten im Vergleich zu den Referenzwerten nach Weise in der D5-Gruppe (n = 69). Für die Variable OK vZBB Diff. wurden zusätzlich Median und Interquartilsabstand (IQR) angegeben, da aufgrund fehlender Normalverteilung ergänzende Lagemaße erforderlich waren

Variable	M	Standardfehler	SD	Median	IQR
OK vZBB Diff.	-3,1	0,38	3,2	-3.2	3,8
OK hZBB Diff.	-4,4	0,32	2,7	-	-
UK vZBB Diff.	-3,2	0,28	2,4	-	-
UK hZBB Diff.	-2,8	0,36	3,0	-	-

(OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, vZBB = vordere Zahnbogenbreite, hZBB = hintere Zahnbogenbreite, IQR = Interquartilsabstand)

In der D5-Gruppe zeigten sich folgende Werte: Für die vordere Zahnbogenbreite im Oberkiefer (OK vZBB) wurde ein Mittelwert von $-3,1$ mm (SE = 0,38, SD = 3,2) ermittelt. Die hintere Zahnbogenbreite im Oberkiefer (OK hZBB) wies einen Mittelwert von $-4,4$ mm (SE = 0,32, SD = 2,7) auf. Die vordere Zahnbogenbreite im Unterkiefer (UK vZBB) zeigte eine durch-

schnittliche Differenz von $-3,2$ mm (SE = 0,28, SD = 2,4) und die hintere Zahnbogenbreite (UK hZBB) eine Differenz von $-2,8$ mm (SE = 0,36, SD = 3,0).

4.5.2 Häufigkeitsverteilungen

Tabelle 29 gibt eine Übersicht über die Häufigkeitsverteilungen der kategorialen Variablen innerhalb der Modellanalyse-Daten für die D4- und D5-Gruppe.

Tabelle 29: Verteilung der diagnostischen Klassifikationen basierend auf den Modellanalyse-Daten der D4- und D5-Gruppe

Variable		D4		D5	
		n	%	n	%
Tonn'scher Index	harmonisch	53	34,0	26	37,7
	vergrößerter SIOK	81	51,9	30	43,5
	vergrößerter SIUK	22	14,1	13	18,8
OK vZBB	obere vZBB breit	9	5,8	6	8,7
	obere vZBB eng	114	73,1	58	84,1
	obere vZBB normal	33	21,2	5	7,2
OK hZBB	obere hZBB breit	2	1,3	1	1,4
	obere hZBB eng	136	87,2	63	91,3
	obere hZBB normal	18	11,5	5	7,2
UK vZBB	untere vZBB breit	5	3,2	3	4,3
	untere vZBB eng	136	87,2	56	81,2
	untere vZBB normal	15	9,6	10	14,5
UK hZBB	untere hZBB breit	6	3,8	7	10,1
	untere hZBB eng	130	83,3	53	76,8
	untere hZBB normal	20	12,8	9	13,0
Overjet	Overjet vergrößert	156	100,0	69	100,0
RPT	Distal	9	5,8	2	2,9
	Mesial	47	30,1	46	66,7
	Neutral	100	64,1	21	30,4

Ergebnisse

Variable		D4		D5	
		n	%	n	%
Overbite	Overbite normal	18	11,5	6	8,7
	Overbite vergrößert	131	84,0	57	82,6
	Overbite verkleinert	7	4,5	6	8,7
Okklusion rechts	Distalokklusion	149	95,5	68	98,6
	Neutralokklusion	7	4,5	1	1,4
Okklusion links	Distalokklusion	140	89,7	64	92,8
	Neutralokklusion	16	10,3	5	7,2
beidseitige Distalokklusion		136	87,2%	64	92,8%

(n = absolute Häufigkeit, % = relative Häufigkeit, vZBB: vordere Zahnbogenbreite, hZBB: hintere Zahnbogenbreite, RPT = Raphe-Papillen-Transversale)

D4

Ein vergrößerter Overjet kommt, wie erwartet, bei allen Patienten (100 %) vor, was das zentrale Merkmal der KIG D-Indikationsgruppe ist.

Der Tonn'sche Index zeigt, dass ein Überschuss im Zahnmaterial im Frontzahnbereich des Oberkiefers (vergrößerter SIOK) in mehr als die Hälfte der Patienten vorkommt (51,9 %), während 34,0 % der Patienten eine harmonische Tonn'sche Relation aufweisen.

Die transversalen Zahnbogenbreiten sind sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer mehrheitlich eingeengt. Im Oberkiefer weisen 73,1 % der Patienten im Prämolarenbereich (OK vZBB eng) und 87,2 % im Molarenbereich (OK hZBB eng) eine Einengung auf, während eine verbreiterte Zahnbogenbreite nur bei 5,8 % (OK vZBB breit) bzw. 1,3 % (OK hZBB breit) der D4-Patienten vorkommt. Ähnlich zeigt sich im Unterkiefer eine transversale Einengung bei 87,2 % (UK vZBB eng) und 83,3 % (UK hZBB eng) der Patienten, während eine Verbreiterung nur in 3,2 % (UK vZBB breit) bzw. 3,3 % (UK hZBB breit) der Fälle vorhanden ist.

Die Raphe-Papillen-Transversale (RPT) weist in der Mehrheit der Patienten eine neutrale Position (64,1 %) auf. Eine mesiale Position ist bei 30,1 % der Patienten vorhanden, während eine distale Position nur bei 5,8 % auftritt.

Auch in der vertikalen Dimension zeigt sich eine deutliche Tendenz, da 84,0 % der Patienten einen vergrößerten Overbite aufweisen, während nur 11,5 % einen normalen Überbiss haben. Ein verkleinerter Overbite tritt bei 4,5 % der Patienten auf.

Die Okklusion im Molarenbereich ist überwiegend distal, mit 95,5 % auf der rechten und 89,7 % auf der linken Seite. Eine neutrale Okklusion ist selten (rechts 4,5 %, links 10,3 %). Eine beidseitige Distalokklusion kommt bei 87,2 % der D4-Patienten vor.

D5

Auch in der D5-Gruppe weisen alle Patienten, wie erwartet, einen vergrößerten Overjet (100 %) auf.

Der Tonn'sche Index verdeutlicht, dass auch in der D5-Gruppe bei über der Hälfte der Patienten (51,9 %) ein Zahnmaterialüberschuss im Frontzahnbereich des Oberkiefers (vergrößerter SIOK) vorliegt, während bei 34,0 % eine ausgewogene Tonn'sche Relation besteht.

Im Oberkiefer sind 84,1 % der Prämolarenregion (OK vZBB eng) und 91,3 % der Molarenregion (OK hZBB eng) eingeeengt, während eine verbreiterte Zahnbogenbreite selten ist (OK vZBB breit: 4,3 %, OK hZBB breit: 1,4 %). Im Unterkiefer zeigen 81,2 % der Patienten eine Einengung in der Prämolarenregion (UK vZBB eng) und 76,8 % in der Molarenregion (UK hZBB eng), wobei eine verbreiterte Zahnbogenbreite nur in 5,8 % (UK vZBB breit) bzw. 10,1 % (UK hZBB breit) der Fälle vorkommt.

Die Raphe-Papillen-Transversale (RPT) zeigt in der Mehrheit der Patienten eine mesiale Position (66,7 %), während 30,4 % eine neutrale und nur 2,9 % eine distale Position aufweisen.

82,6 % der Patienten weisen einen vergrößerten Overbite auf, während nur 8,7 % einen verkleinerten Overbite haben und 8,7 % einen normalen.

Die Okklusion im Molarenbereich ist überwiegend distal, mit 92,8 % auf der linken und 94,2 % auf der rechten Seite. Eine beidseitige Distalokklusion kommt bei 92,8 % der D5-Patienten vor.

4.5.3 Die 5 häufigsten Gruppen von diagnostischen Kombinationen

Es wurden, analog zu den FRS-Daten, die am häufigsten auftretenden Merkmalskombinationen innerhalb der Modellanalyse-Daten der D4- und D5-Gruppe ermittelt. Die fünf am häufigsten auftretenden Gruppen wurden daraufhin extrahiert und in den **Tabellen 30 und 31** dargestellt. Aufgrund des hohen Anteils wurde die Analyse diesmal auf die 5 häufigsten Gruppen beschränkt, da sie einen repräsentativen Überblick über die Merkmalsverteilung innerhalb jeder Stichprobe bieten.

Insgesamt traten 69 unterschiedliche Kombinationen in der D4-Gruppe und 33 Kombinationen in der D5-Gruppe auf.

Tabelle 30: Die 5 häufigsten Gruppen von diagnostischen Kombinationen in den Modellanalyse-Daten der D4-Gruppe. Insgesamt beinhalten diese fünf Gruppen 42,95 % aller Patienten in der D4-Gruppe

Tonn'scher Index	OK transversal	UK transversal	Overjet	RPT	Overbite	Okklusion	n
Vergrößerter SIOK	Schmalkiefer	Schmalkiefer	vergrößert	neutral	vergrößert	Distalokklusion bds.	27
Harmonisch	Schmalkiefer	Schmalkiefer	vergrößert	neutral	vergrößert	Distalokklusion bds.	19
Vergrößerter SIOK	Schmalkiefer	Schmalkiefer	vergrößert	mesial	vergrößert	Distalokklusion bds.	11
Vergrößerter SIOK	Schmalkiefer	ant. Schmalkiefer	vergrößert	neutral	vergrößert	Distalokklusion bds.	5
Vergrößerter SIUK	Schmalkiefer	Schmalkiefer	vergrößert	neutral	vergrößert	Distalokklusion bds.	5

(ant. Schmalkiefer = anteriorer Schmalkiefer, RPT = Raphe-Papillen-Transversale, n = Anzahl der Patienten)

Die größte Gruppe (27 Fälle) weist einen Überschuss an Zahnmaterial im Oberkiefer, eine transversale Einengung beider Zahnbögen, einen vergrößerten Overjet und Overbite sowie eine neutrale RPT und eine beidseitige Distalokklusion auf. Die zweithäufigste Gruppe (19 Fälle) zeigt einen harmonischen Tonn'schen Index bei ebenfalls schmalen Zahnbögen, vergrößertem Overjet und Overbite sowie einer neutralen RPT und Distalokklusion beidseits. Die dritthäufigste Gruppe (11 Fälle) zeigt im Vergleich eine mesiale RPT anstelle der sonst überwiegend neutralen RPT. Die vierthäufigste Gruppe (5 Fälle) weist eine anterior betonte transversale Enge im Unterkiefer auf, während die restlichen Merkmale mit der häufigsten Gruppe übereinstimmen. Die fünfhäufigste Gruppe (ebenfalls 5 Fälle) unterscheidet sich durch einen vergrößerten SIUK anstelle eines vergrößerten oder harmonischen SIOK.

Tabelle 31: Die 5 häufigsten Gruppen von diagnostischen Kombinationen in den Modellanalyse-Daten der D5-Gruppe. Insgesamt beinhalten diese fünf Gruppen 59,42 % aller Patienten in der D5-Gruppe

Tonn'scher Index	OK transversal	UK transversal	Overjet	RPT	Overbite	Okklusion	n
Vergrößerter SIOK	Schmalkiefer	Schmalkiefer	vergrößert	mesial	vergrößert	Distalokklusion bds.	14
Harmonisch	Schmalkiefer	Schmalkiefer	vergrößert	mesial	vergrößert	Distalokklusion bds.	10
Vergrößerter SIOK	Schmalkiefer	Schmalkiefer	vergrößert	neutral	vergrößert	Distalokklusion bds.	7
Vergrößerter SIUK	Schmalkiefer	Schmalkiefer	vergrößert	mesial	vergrößert	Distalokklusion bds.	4
Harmonisch	Schmalkiefer	Schmalkiefer	vergrößert	neutral	vergrößert	Distalokklusion bds.	4

(ant. Schmalkiefer = anteriorer Schmalkiefer, RPT = Raphe-Papillen-Transversale, n = Anzahl der Patienten)

Die am häufigsten vorkommende Gruppe besteht aus Patienten mit einem Zahnmaterialüberschuss im Oberkiefer, einer transversalen Einengung beider Zahnbögen, vergrößertem Overjet und Overbite sowie einer mesialen RPT und beidseitiger Distalokklusion (14 Fälle). Eine ähnlich häufige Gruppe mit harmonischem Tonn'schen Index, aber ansonsten vergleichbarer Befundlage, tritt bei 10 Patienten auf. In weiteren Gruppen zeigt sich eine neutrale RPT, entweder in Kombination mit einem vergrößerten SIOK (7 Fälle) oder einem vergrößerten SIUK (6 Fälle). Die fünfte Gruppe (4 Fälle) weist ebenfalls eine neutrale RPT auf, unterscheidet sich jedoch durch einen harmonischen Tonn'schen Index. In allen Gruppen liegen ein vergrößerter Overjet und Overbite, Schmalkiefer im Ober- und Unterkiefer und eine beidseitige Distalokklusion vor.

4.5.3.1 Transversale Enge und vergrößerter SIOK

Die transversale Enge im anterioren Bereich sowie ein Überschuss an Zahnmaterial im Frontzahnbereich des Oberkiefers (vergrößerter SIOK) wurden gezielt hinsichtlich ihrer Gesamtprävalenz untersucht. Erstere liefert potenzielle Hinweise auf die zugrunde liegende skelettale Struktur, während Letzterer eine zentrale dentale Komponente darstellt. Beide Parameter wurden daher im Rahmen der Modellanalyse als potenziell ursächliche bzw. mitverursachende Faktoren für die Ausprägung einer vergrößerten sagittalen Stufe in den Fokus genommen. Andere erhobene Merkmale wie der Overbite, der Overjet und die Okklusionsverhältnisse wurden hingegen als Folgeerscheinungen der bestehenden skelettalen und dentalen Symptomatik interpretiert. **Tabelle 32** veranschaulicht die Häufigkeit der Kombination aus vergrößertem SIOK und anteriorer transversaler Enge sowie deren Zusammenhang mit einer Verengung der posterioren Zahnbogenbreite in den Gruppen D4 und D5.

Tabelle 32: Häufigkeit der Kombination aus vergrößertem SIOK und anteriorer transversaler Enge sowie deren Zusammenhang mit der posterioren Zahnbogenbreite

Gruppe	n	SIOK + ant. SK	%	hZBB auch eng	hZBB normal
D4	156	59	37,8 %	58	1
D5	69	25	36,2 %	25	0

(n = Anzahl, ant. SK = anteriorer Schmalkiefer, hZBB = hintere Zahnbogenbreite)

Die Kombination aus vergrößertem SIOK und anteriorer transversaler Enge wurde in der D4-Gruppe bei 59 von 156 Patienten beobachtet, entsprechend 37,8 %. In der D5-Gruppe lag diese Merkmalskombination bei 25 von 69 Patienten vor mit 36,2 %.

Bei nahezu allen dieser Patienten war zusätzlich auch die hintere Zahnbogenbreite des Oberkiefers eingengt. Lediglich bei einem Patienten der D4-Gruppe zeigte sich in diesem

Bereich eine normale Weite. Dieses konsistente Muster weist auf eine generalisierte transversale Enge des Oberkiefers im Sinne eines Schmalkiefers hin, die sich sowohl anterior als auch posterior manifestiert.

4.5.4 Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse der Modellanalyse-Daten von jeder Gruppe (D4 und D5) wurden durchgeführt, um mögliche Zusammenhänge zwischen den diagnostischen Parametern zu identifizieren. Da die Daten nicht normalverteilt waren, wurde die Spearman-Korrelation verwendet. **Tabelle 33 und 34** stellen die Ergebnisse der Korrelationsanalysen dar.

Tabelle 33: Spearman-Korrelationskoeffizienten (ρ) zwischen diagnostischen Parametern der Modellanalyse in der D4-Gruppe (n = 156). Statistisch signifikant: $p < 0,05$ (*); hoch signifikant: $p < 0,01$ (**)

	SIOK	SIUK	Tonn'scher Index	OK vZBB	OK hZBB	UK vZBB	UK hZBB	Overjet	Over- bite
Spearman-SIOK	--								
Rho									
SIUK	0.646**	--							
Tonn'scher Index	0.459**	-0.312**	--						
OK vZBB	0.201*	0.099	0.121	--					
OK hZBB	0.266**	0.179*	0.097	0.652**	--				
UK vZBB	0.222**	0.108	0.130	0.640**	0.670**	--			
UK hZBB	0.284**	0.156	0.159*	0.574**	0.843**	0.713**	--		
Overjet	0.209**	0.117	0.060	-0.117	-0.065	-0.003	0.003	--	
Overbite	0.065	0.147	-0.091	-0.012	-0.052	-0.192*	-0.133	0.060	--

(OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, vZBB = vordere Zahnbogenbreite, hZBB = hintere Zahnbogenbreite)

Signifikante diagnostisch relevante Korrelationen

Trotz der limitierten Variabilität von Overjet (6–9 mm) zeigte die Analyse eine signifikante positive Korrelation zwischen SIOK und Overjet ($\rho=0.209$, $p<0.01$). Zudem waren negative Korrelationen zwischen Overjet und den transversalen Kiefermaßen im Oberkiefer (OK vZBB/OK hZBB) erkennbar, auch wenn sie nicht signifikant waren. (-0.117, -0.065). Zu nennen ist auch die negative Korrelation zwischen Overbite und UK vZBB ($\rho = -0.192$, $p < 0.05$).

In der D4-Gruppe zeigten sich signifikante positive Korrelationen zwischen den vorderen und hinteren Zahnbogenbreiten im Oberkiefer (OK vZBB – OK hZBB: $\rho = 0,652$; $p < 0,01$) sowie im Unterkiefer (UK vZBB – UK hZBB: $\rho = 0,670$; $p < 0,01$). Diese Zusammenhänge deuten auf eine koordinierte Anpassung der Zahnbogenbreite im anterioren und posterioren Bereich hin. Eine weitere signifikante Korrelation bestand zwischen OK hZBB und UK hZBB ($\rho = 0,713$; $p < 0,01$), was für eine übergreifende Harmonie der Kieferbreite spricht.

Tabelle 34: Spearman-Korrelationskoeffizienten (ρ) zwischen diagnostischen Parametern der Modellanalyse in der D5-Gruppe (n = 69). Statistisch signifikant: $p < 0,05$ (*); hoch signifikant: $p < 0,01$ (**)

	SIOK	SIUK	Tonn'scher Index	OK vZBB	OK hZBB	UK vZBB	UK hZBB	Overjet	Over- bite
Spearman-SIOK	--								
Rho									
SIUK	0.724**	--							
Tonn'scher Index	0.525**	-0.149	--						
OK vZBB	0.226	0.184	0.145	--					
OK hZBB	0.269*	0.219	0.154	0.720**	--				
UK vZBB	0.160	0.175	0.063	0.738**	0.566**	--			
UK hZBB	0.265*	0.254*	0.097	0.610**	0.711**	0.595**	--		
Overjet	0.110	0.035	0.174	0.019	-0.056	0.094	0.027	--	
Overbite	0.008	-0.064	0.113	-0.139	-0.153	-0.344**	-0.269*	0.084	--

(OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, vZBB = vordere Zahnbogenbreite, hZBB = hintere Zahnbogenbreite)

Signifikante diagnostisch relevante Korrelationen

Auch in der D5-Gruppe zeigten sich signifikante positive Korrelationen zwischen den vorderen und hinteren Zahnbogenbreiten sowohl im Oberkiefer (OK vZBB – OK hZBB: $\rho = 0,720$; $p < 0,01$) als auch im Unterkiefer (UK vZBB – UK hZBB: $\rho = 0,738$; $p < 0,01$). Diese deutlichen Zusammenhänge weisen darauf hin, dass sich die Kieferform im anterioren und posterioren Bereich entsprechend anpasst. Auch zwischen OK hZBB und UK hZBB bestand eine starke Korrelation ($\rho = 0,595$; $p < 0,01$), was eine koordinierte Breitenentwicklung der Zahnbögen nahelegt.

4.6 Vergleich der D4- und D5-Daten

4.6.1 Kephalometrische Analyse

Zur Untersuchung von Unterschieden zwischen den kephalometrischen Daten der Gruppen D4 und D5 wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt, da die FRS-Daten beider Gruppen normalverteilt waren. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in **Tabelle 35** dargestellt. In der Tabelle werden für jede untersuchte Variable die Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) für die Gruppen D4 und D5 angegeben. Zudem sind die mittlere Differenz, das 95 %-Konfidenzintervall (KI), mit der unteren (95 %-KI unt. Grenze) und oberen Grenze (95 %-KI ob. Grenze), sowie der p-Wert aufgeführt, der angibt, ob der Unterschied zwischen den Gruppen statistisch signifikant ist.

Tabelle 35: Ergebnisse des t-Tests zum Vergleich der kephalometrischen Messwerte zwischen den Patientengruppen D4 und D5. Dargestellt sind die Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), die mittlere Differenz zwischen den Gruppen sowie die untere und obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls (KI) der Differenz. p-Werte <0,05 gelten als statistisch signifikant, p<0,01 als hoch signifikant

Variable	M-D4	SD-D4	M-D5	SD-D5	Mittlere Differenz	95%-KI unt. Grenze	95%-KI ob. Grenze	p-Wert (2-seitig)
SNA (°)	83.1	3.3	82.5	3.6	0.5	-4.24	1.52	0.267
OK1-N-S (°)	107.7	8.0	113.9	8.2	-6.2	-8.45	-3.86	<0.001
SNB (°)	77.8	3.4	76.5	3.9	1.3	0.24	2.26	0.015
UK1-Go-Me (°)	100.1	7.9	96.8	9.6	3.3	0.69	5.90	0.007
ANB (°)	5.3	1.9	6.0	2.3	-0.7	-1.31	-0.16	0.019
Wits (mm)	3.2	2.0	5.1	2.5	-1.9	-2.57	-1.19	<0.001
Björk-Summe (°)	389.8	6.0	390.2	7.6	0.4	-2.47	1.53	0.709
S-Go:N-Me (%)	67.8	5.2	68.2	5.9	-0.4	-2.03	1.23	0.628

Oberkiefer

Für den SNA-Wert wurde ein Mittelwert von 83,05° (SD = 3,35) in der D4-Gruppe und 82,5° (SD = 3,56) in der D5-Gruppe berechnet, mit einer mittleren Differenz von 0,55° (95 %-KI: [-4,24; 1,52], $p = 0,267$). Der OK1-N-S-Wert zeigt Mittelwerte von 107,7° (SD = 7,98) in der D4-Gruppe und 113,86° (SD = 8,15) in der D5-Gruppe, mit einer Differenz von -6,16° (95 %-KI: [-8,45; -3,86], $p < 0,001$).

Unterkiefer

Für den SNB-Wert wurden Mittelwerte von 77,76° (SD = 3,35) in der D4-Gruppe und 79,34° (SD = 3,95) in der D5-Gruppe ermittelt, mit einer Differenz von 1,26° (95 %-KI: [0,24; 2,26], $p = 0,015$). Der UK1-Go-Me-Wert beträgt in der D4-Gruppe 100,09° (SD = 7,93) und in der D5-Gruppe 96,79° (SD = 9,55), mit einer Differenz von 3,1° (95 %-KI: [0,69; 5,90], $p = 0,007$).

ANB-Winkel, Wits-Wert

Die ANB-Werte betragen 5,25° (SD = 1,82) in der D4-Gruppe und 5,99° (SD = 2,25) in der D5-Gruppe, mit einer Differenz von -0,74° (95 %-KI: [-1,31; -0,16], $p = 0,019$). Bei der Wits-Analyse beträgt der Mittelwert 2,3 mm (SD = 2,26) in der D4-Gruppe und 5,09 mm (SD = 2,54) in der D5-Gruppe, mit einer Differenz von -1,88 mm (95 %-KI: [-2,57; -1,19], $p < 0,001$).

Björk-Summenwinkel, S-Go:N-Me

Für die Björk-Summe wurden Mittelwerte von 389,82° (SD = 6,31) in der D4-Gruppe und 390,3° (SD = 7,57) in der D5-Gruppe berechnet, mit einer mittleren Differenz von 0,48° (95 %-KI: [-2,47; 1,53], $p = 0,71$). Die Werte für S-Go:N-Me betragen 67,82 % (SD = 5,23) in der D4-Gruppe und 68,22 % (SD = 5,91) in der D5-Gruppe, mit einer Differenz von -0,4 % (95 %-KI: [-2,03; 1,23], $p = 0,628$).

4.6.2 Kephalometrische Profilanalyse

Die FRS-Profilanalyse-Daten der Gruppen D4 und D5 wurden analog zu den FRS-Daten mit einem t-Test für unabhängige Stichproben verglichen, da die Normalverteilung der Daten bestätigt wurde. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in **Tabelle 36** dargestellt, die analog zur Tabelle der FRS-Daten aufgebaut ist.

Tabelle 36: Ergebnisse des t-Tests zum Vergleich der kephalometrischen Profilanalyse-Messwerte zwischen den Patientengruppen D4 und D5. Dargestellt sind die Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), die mittlere Differenz zwischen den Gruppen sowie die untere und obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls (KI) der Differenz. p-Werte < 0,05 gelten als statistisch signifikant, p < 0,01 als hoch signifikant

Variable	M-D4	SD-D4	M-D5	SD-D5	Mittlere Differenz	95%-KI unt. Grenze	95%-KI ob. Grenze	p-Wert (2-seitig)
ANB (°)	5.3	1.9	6.0	2.3	-0.7	-1.31	-0.16	0.019
NB-Pog-Strecke (mm)	1.5	1.6	2.1	2.1	-0.6	-1.43	-1.17	0.016
H-Winkel Ist (°)	14.0	5.1	15.2	6.2	-1.2	-2.75	0.37	0.135
H-Winkel Soll (°)	13.9	3.3	13.8	3.9	0.1	-0.99	1.15	0.886

ANB-Winkel

Der ANB-Wert wurde bereits in Kapitel 4.3.1 dargestellt. Da er jedoch ein zentraler Parameter der Profilanalyse ist, wurde er erneut in der Tabelle aufgenommen, um potenzielle Zusammenhänge innerhalb der Daten zu erkennen.

NB-Pog-Strecke

Die NB-Pog-Strecke zeigt Mittelwerte von 1,45 mm (SD = 1,65) in der D4-Gruppe und 2,08 mm (SD = 2,07) in der D5-Gruppe. Die mittlere Differenz beträgt -0,63 mm, mit einem 95 %-Konfidenzintervall von [-1,43; -1,17], und der p-Wert beträgt 0,016.

H-Winkel

Für den H-Winkel Ist beträgt der Mittelwert 14,01° (SD = 5,13) in der D4-Gruppe und 15,19° (SD = 6,21) in der D5-Gruppe. Die mittlere Differenz beträgt -1,19°, das 95 %-Konfidenzintervall liegt bei [-2,75; 0,37], und der p-Wert beträgt 0,135.

Die berechneten Werte für den H-Winkel Soll betragen 13,87° (SD = 3,33) in der D4-Gruppe und 13,79° (SD = 3,93) in der D5-Gruppe. Die mittlere Differenz beträgt 0,08°, mit einem 95 %-Konfidenzintervall von [-0,99; 1,15], und der p-Wert beträgt 0,886.

4.6.3 Modellanalyse

Da für die untersuchten Modellanalyse-Parameter keine Normalverteilung vorlag, wurde zur Analyse von Gruppenunterschieden zwischen D4 und D5 der nicht-parametrische Mann-Whitney-U-Test angewendet. Dieses Verfahren ermöglicht den Vergleich zweier unabhängiger

ger Stichproben auf Basis der Rangverteilungen, ohne dass Verteilungsannahmen erfüllt sein müssen.

Tabelle 37 enthält die mittleren Ränge beider Gruppen, die anzeigen, bei welcher Gruppe im Mittel höhere oder niedrigere Messwerte vorliegen. Der Z-Wert stellt den standardisierten Prüfwert dar, mit dem die Abweichung zwischen den Rangverteilungen quantifiziert wird. Der zugehörige p-Wert zeigt an, ob der Unterschied statistisch signifikant ist. Werte unter $p < 0,05$ gelten als signifikant, $p < 0,01$ als hoch signifikant.

Tabelle 37: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zum Vergleich der Modellanalyse-Parameter zwischen den Gruppen D4 und D5. Dargestellt sind die mittleren Ränge beider Gruppen, der jeweilige Z-Wert sowie der zweiseitige p-Wert. p-Werte $< 0,05$ gelten als statistisch signifikant, $p < 0,01$ als hoch signifikant

Variable	Mittlerer Rang D4	Mittlerer Rang D5	Z-Wert	p-Wert (2-seitig)
SIOK	117.59	102.63	-1.605	0.108
SIUK	115.50	107.36	-0.888	0.374
Tonn'scher Index	114.96	108.57	-0.681	0.496
OK vZBB	119.06	99.30	-2.1	0.036
OK hZBB	118.02	101.66	-1.739	0.082
UK vZBB	114.13	110.43	-0.393	0.694
UK hZBB	111.29	116.87	-0.593	0.553
Overjet	78.50	191.00	-11.964	<0.001
Overbite	106.1	128.61	-2.394	0.017

SIOK, SIUK, Tonn'scher Index

Zwischen den Gruppen D4 und D5 zeigten sich für die SIOK-Werte keine signifikanten Unterschiede ($Z = -1,605$; $p = 0,108$). Auch die Analyse der SIUK-Werte ergab keine statistisch signifikanten Differenzen ($Z = -0,888$; $p = 0,374$). Gleiches gilt für den Tonn'schen Index, bei dem ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt wurde ($Z = -0,681$; $p = 0,496$).

Transversale Zahnbogenbreiten

Bei den transversalen Breiten im Oberkiefer zeigte sich für den Abstand OK 4–4 ein signifikanter Gruppenunterschied zugunsten D4 ($Z = -2,100$; $p = 0,036$), während die Breite OK 6–

6 mit einem p-Wert von 0,082 knapp unterhalb des Signifikanzniveaus blieb. In Bezug auf die Unterkieferbreiten zeigten weder UK 4–4 ($Z = -0,393$; $p = 0,694$) noch UK 6–6 ($Z = -0,593$; $p = 0,553$) statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen.

Overjet, Overbite

Der Overjet unterschied sich hoch signifikant zwischen den Gruppen D4 und D5 ($Z = -11,964$; $p < 0,001$), was auf die deutlich ausgeprägtere sagittale Frontzahnstufe in der D5-Gruppe hinweist. Auch der Overbite war signifikant unterschiedlich ($Z = -2,394$; $p = 0,017$), wobei höhere Werte in der D5-Gruppe beobachtet wurden.

5 Diskussion

5.1 Patienten

Die vorliegende Studie basiert auf der Analyse der Anfangsunterlagen von insgesamt 225 gesetzlich versicherten Patienten, die gemäß den Kriterien der Kieferorthopädischen Indikationsgruppen (KIG) den Einzelanomalien D4 oder D5 zugeordnet wurden. Die Einteilung erfolgte im Rahmen der routinemäßigen Diagnostik und Behandlungsplanung in einer kieferorthopädischen Fachzahnarztpraxis in Nordrhein-Westfalen. Der Erfassungszeitraum erstreckte sich für die D4-Gruppe von 2017 bis 2021, während für die seltener vorkommende D5-Gruppe ein erweiterter Zeitraum von 2012 bis 2021 berücksichtigt wurde.

Die Geschlechtsverteilung ist in beiden Gruppen annähernd ausgeglichen, mit einem leichten Überhang weiblicher Patienten (116 weiblich vs. 109 männlich). Auch das Alter zum Zeitpunkt der Erhebung zeigt eine relativ homogene Verteilung innerhalb der Gesamtstichprobe mit einem Mittelwert von 11,41 Jahren ($\pm 1,77$ Jahre) (**Tab. 2**). Die Altersstruktur beider Gruppen weist eine klare Konzentration im Bereich zwischen 9 und 12 Jahren auf. Besonders häufig waren Patienten im Alter von 10 bis 12 Jahren vertreten, ein Befund, der der typischen Diagnosestellung und Behandlungsindikation in der späten Wechselgebissphase entspricht (**Abb. 5, 6**).

Die Altersverteilung in beiden Gruppen zeigt somit eine erwartungskonforme Häufung im sensiblen Zeitraum der kraniofazialen Entwicklung. Dies ist nicht nur für die therapeutische Planung relevant, sondern auch für die Interpretation der vorliegenden morphologischen Befunde: In dieser Phase können skelettale und dentale Abweichungen bereits klar diagnostiziert, aber noch wachstumsabhängig beeinflusst werden. Insbesondere bei Klasse-II-Dysgnathien mit vergrößerter sagittaler Stufe ist die frühe Diagnostik im Kontext des individuellen Reifungsgrades von hoher klinischer Bedeutung.

Die retrospektive und vollständig anonymisierte Erhebung ermöglichte eine unvoreingenommene Auswertung realer Versorgungsdaten aus dem Praxisalltag. Dadurch spiegeln die gewonnenen Ergebnisse nicht nur theoretische Idealbedingungen wider, sondern liefern praxisrelevante Erkenntnisse zur diagnostischen Verteilung und Altersstruktur bei D4- und D5-Patienten.

5.2 Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung

Das zentrale Alleinstellungsmerkmal dieser Studie stellt zugleich eine ihrer Limitationen dar. Bislang existieren keine vergleichbaren Untersuchungen zur dentoskelettalen Charakteristik

von Patienten mit den Einzelanomalien D4 oder D5 auf Basis des in Deutschland etablierten KIG-Systems. Aufgrund dieser fehlenden Referenzdaten ist ein direkter Vergleich mit Ergebnissen anderer Studien nicht möglich. Um dennoch eine aussagekräftige Einordnung der Befunde zu ermöglichen, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Vergleich mit der gut dokumentierten und in der Literatur vielfach untersuchten Angle-Klasse II/1 vorgenommen.

Trotz der sorgfältigen und umfassenden Datenerhebung und -auswertung sollten weiterhin einige methodischen Aspekte kritisch reflektiert werden.

In der vorliegenden Untersuchung wurden gezielt keine Frühbehandlungsfälle der Einzelanomalie KIG D5 einbezogen. Zum einen lagen für diese Patientinnen und Patienten keine Fernröntgenseitenbilder aus der Anfangsdiagnostik vor, zum anderen sollte durch den Ausschluss sichergestellt werden, dass alle einbezogenen Fälle ausschließlich aus der regulären Hauptbehandlung stammen. Zudem erfolgte der Ausschluss aller Fälle mit nachgewiesener Frühbehandlung, unabhängig von deren Umfang oder Indikation. Diese Vorgehensweise ermöglichte eine bessere Vergleichbarkeit der Altersstruktur zwischen den Gruppen D4 und D5 und hat dazu beigetragen, potenzielle Verzerrungen durch vorangegangene therapeutische Eingriffe zu vermeiden.

Die Bewertung der transversalen Zahnbogenbreiten im Rahmen der Modellanalyse erfolgte anhand eines selbst definierten Normbereichs von ± 1 mm, der sich auf klinische Erfahrung stützt. Um dieser subjektiven Grenze eine höhere diagnostische Objektivität zu verleihen, wurden zusätzlich die Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen zu den Richtwerten nach Weise berechnet und dargestellt. Diese ergänzende Auswertung stärkt die Aussagekraft der transversalen Analyse und ermöglicht eine differenziertere Interpretation im Kontext der klinischen Relevanz.

Bei der Beurteilung des Gesichtsprofils wurde ausschließlich der H-Winkel herangezogen. Eine ergänzende Erhebung des Nasolabialwinkels hätte, wie etwa von Segner und Hasund empfohlen, eine differenziertere Betrachtung der Weichteilästhetik ermöglicht [77]. Da der Schwerpunkt der vorliegenden Studie jedoch auf die Hauptmerkmale von D4- und D5-Patienten, wurde auf eine vertiefte Profilanalyse bewusst verzichtet. Für eine detaillierte Untersuchung der Weichteilanalogien wäre ein gesonderter Studienschwerpunkt notwendig.

5.3 Diskussion der Ergebnisse der kephalometrischen Analyse

Die kephalometrische Analyse der D4- und D5-Patienten zeigt, dass die vergrößerte sagittale Stufe innerhalb unseres Patientenkollektivs durch eine Kombination aus skelettalen und dentalen Faktoren entsteht. Durch die detaillierte Untersuchung der skelettalen sagittalen

Parameter, der Stellung der Schneidezähne sowie des Wachstumsverhaltens konnte eine zugrunde liegende Mechanik einer Klasse-II-Relation in dieser Population identifiziert werden. Auffällig ist, dass bei beiden Gruppen ähnliche Mechanismen an der Entstehung der vergrößerten sagittalen Stufe beteiligt sind. Während in beiden Gruppen eine mandibuläre Rücklage und eine ausgeprägte Protrusion der oberen Schneidezähne beobachtet wurden, zeigt die D5-Gruppe eine noch ausgeprägtere mandibuläre Retrognathie sowie eine verstärkte dentale Beteiligung.

Im untersuchten Patientenkollektiv mit vergrößerter sagittaler Stufe, wurden in der D4-Gruppe 72 und in der D5-Gruppe 45 unterschiedliche Kombinationen von kephalometrischen skelettalen und dentalen Merkmalen beobachtet. Die 10 häufigsten Konstellationen machen dabei bereits 45,5 % (D4) bzw. 47,8 % (D5) aller Fälle aus (**Tab. 17, 18**). Diese ausgeprägte morphologische Vielfalt trotz eines einheitlichen Leitsymptoms unterstreicht, dass Fälle mit vergrößerter sagittaler Stufe keine eindeutige homogene Patientengruppe darstellen. Vielmehr zeigt sich eine Vielzahl diagnostischer Untergruppen, was die Bedeutung einer individualisierten kieferorthopädischen Diagnostik und Therapieplanung betont.

Die folgende Diskussion basiert auf einer umfassenden Auswertung der erhobenen kephalometrischen Parameter, wobei alle relevanten Befunde aus dem **Kapitel 4.3** einbezogen wurden. Dies umfasst die deskriptive Statistik, die Häufigkeitsverteilungen, die zehn häufigsten diagnostischen Kombinationsgruppen sowie die Ergebnisse der Korrelationsanalyse. Die Interpretation erfolgt stets im Zusammenhang mit den spezifischen Abbildungen und Tabellen der jeweiligen Unterkapitel.

5.3.1 Skelettale Parameter

Sagittale Kieferbasenrelation

Die Untersuchung der sagittalen Basenrelation zeigt in beiden Gruppen eine klare Klasse-II-Tendenz, wobei sich in der D5-Gruppe eine tendenziell stärkere Ausprägung erkennen lässt. Der mittlere ANB-Wert liegt in der D4-Gruppe bei 5,3° (SD = 1,9) und in der D5-Gruppe bei 6,0° (SD = 2,3), was einer signifikanten mittleren Differenz von -0,7° entspricht ($p = 0,019$). Unterstützt wird diese Differenz durch den Wits-Wert, der in der D4-Gruppe im Mittel 3,2 mm (SD = 2,0) und in der D5-Gruppe 5,1 mm (SD = 2,5) beträgt. Auch dieser Unterschied ist signifikant mit einer mittleren Differenz von -1,9 mm ($p < 0,001$) (**Tab. 35**). Auch die Häufigkeitsverteilung verdeutlicht die skelettale Klasse II als zentrales Merkmal der untersuchten Population von D4- und D5-Patienten (**Tab. 16**). In der D4-Gruppe weisen 75 % der Patienten eine distobasale Kieferrelation auf und in der D5-Gruppe 78,3 % der Patienten. Der Wits-Wert klassifiziert zudem 84 % der D4-Patienten als skelettale Klasse II, in der D5-Gruppe

liegt dieser Anteil bei 88,4 %. Diese Zahlen zeigen, dass der Großteil der untersuchten Fälle in beiden Gruppen einer skelettalen Klasse-II entspricht, wenngleich mit graduellen Unterschieden in der Ausprägung.

Auch die Verteilung der häufigsten diagnostischen Kombinationen zeigt in beiden Gruppen eine Dominanz distobasaler Kieferrelationen (**Tab. 17, 18**). So weisen 8 der 10 häufigsten Kombinationen in der D4-Gruppe sowie 7 von 10 in der D5-Gruppe eine distobasale Relation auf. Diese Beobachtung stützt die statistischen Ergebnisse zu ANB und Wits und verdeutlicht erneut die zentrale Rolle der mandibulären Rücklage in der Entstehung der sagittalen Stufe.

Die signifikanten positiven Korrelationen zwischen ANB und Wits (D4: $r = 0,540$; D5: $r = 0,688$; $p < 0,01$) bestätigen die diagnostische Übereinstimmung beider sagittaler Parameter und stützen die Aussage, dass die skelettale Klasse-II in beiden Gruppen eine signifikante Rolle spielt (**Tab. 19, 20**). Ergänzend zeigt sich für beide Gruppen eine signifikante Korrelation zwischen SNA und SNB (D4: $r = 0,849$; D5: $r = 0,824$; $p < 0,01$), was auf eine gleichgerichtete Entwicklung beider Kieferbasen in Bezug auf der Schädelbasis hinweist.

Oberkiefer

Die Analyse der SNA-Werte zeigt, dass die sagittale Position der Maxilla innerhalb der D4- und D5-Gruppen eine Variabilität aufweist. Der durchschnittliche SNA-Wert beträgt in der D4-Gruppe $83,1^\circ$ (SD = 3,3) und in der D5-Gruppe $82,5^\circ$ (SD = 3,6), was einer nicht signifikanten Differenz von $0,5^\circ$ entspricht ($p = 0,267$) (**Tab. 35**). In beiden Gruppen liegt der durchschnittliche SNA-Wert innerhalb des Normbereichs ($82,0^\circ \pm 2^\circ$).

In der D4-Gruppe zeigten 42,9 % der Patienten eine orthognathe Maxillaposition, 39,1 % eine maxilläre Prognathie und 17,9 % eine Retrognathie. In der D5-Gruppe lagen die Anteile bei 42,0 % (orthognath), 34,8 % (prognath) und 23,2 % (retrognath) (**Tab. 16**).

Auch in den häufigsten Kombinationsgruppen zeigt sich eine überwiegende Präsenz einer orthognathen oder leicht prognathen Maxillaposition (**Tab. 17, 18**). In der D4-Gruppe sind z. B. 5 der 10 häufigsten Kombinationen mit einer orthognathen Maxilla verbunden, während 3 Gruppen eine prognathe Maxilla aufweisen. Dies deckt sich mit den deskriptiven Häufigkeiten und spricht für eine eher sekundäre Rolle des Oberkiefers bei der Entstehung der sagittalen Stufe.

Zusammenfassend lässt sich innerhalb des Patientenkollektivs eine orthognathe Maxilla mit einer leichten Tendenz zur maxillären Prognathie erkennen.

Unterkiefer

Der durchschnittliche SNB-Wert beträgt in der D4-Gruppe $77,8^\circ$ (SD = 3,4) und in der D5-Gruppe $76,5^\circ$ (SD = 3,9), was einer signifikanten Differenz von $1,3^\circ$ entspricht ($p = 0,015$) (**Tab. 35**). In beiden Gruppen liegt der durchschnittliche SNB-Wert unterhalb des Normbereichs ($80,0^\circ \pm 2^\circ$).

Auffällig ist, dass in der D4-Gruppe bei 52,6 % der Patienten eine mandibuläre Retrognathie vorliegt, kombiniert mit einem Anteil von 39,1 % prognather Oberkiefer. Diese Konstellation legt nahe, dass in dieser Gruppe sowohl der Ober- als auch der Unterkiefer zur sagittalen Diskrepanz beitragen können (**Tab. 16**).

In der D5-Gruppe ist der Anteil mandibulärer Rücklagen mit 71,0 % deutlich höher ausgeprägt, was auf eine primär unterkieferbezogene Problematik hinweist. Allerdings zeigt auch hier rund ein Drittel der Patienten (34,8 %) eine maxilläre Prognathie, sodass auch in dieser Gruppe die Rolle der Maxilla nicht vernachlässigt werden sollte.

In den häufigsten Kombinationen (**Tab. 17, 18**) zeigt sich auch auf Einzelebene der skelettalen Konstellationen eine Dominanz der mandibulären Retrognathie. In der D5-Gruppe sind 8 der 10 häufigsten Konstellationen mit einer retrognathen Mandibula verbunden, in der D4-Gruppe sind es 5. Diese Verteilung reflektiert die zuvor dargestellten Gruppenhäufigkeiten und unterstreicht die stärkere und häufigere mandibuläre Rücklage in der D5-Gruppe.

5.3.2 Dentale Parameter

Obere Schneidezähne

Die dentale Analyse ergänzt das skelettale Bild und gibt Hinweise auf kompensatorische oder verstärkende Zahnstellungen. Auffällig ist in beiden Gruppen die Protrusion der oberen Schneidezähne, die in der D5-Gruppe als ausgeprägter erscheint. In der D4-Gruppe ist bei 61,5 % der Patienten eine Protrusion der oberen Schneidezähne nachweisbar, während in der D5-Gruppe 85,5 % betroffen sind (**Tab. 16**). Die Frontzahninklination im Oberkiefer liegt in der D5-Gruppe mit $113,9^\circ$ (SD = 8,2) signifikant höher als in der D4-Gruppe ($107,7^\circ \pm 8,0$), mit einer mittleren Differenz von $-6,2^\circ$ ($p < 0,001$) (**Tab. 35**). In beiden Gruppen liegt der OK1-N-S-Wert deutlich oberhalb des Normbereichs ($103,0 \pm 2^\circ$).

Die in beiden Gruppen häufig vertretene Protrusion der oberen Frontzähne zeigt sich auch in den zehn häufigsten Kombinationsmustern beider Gruppen. In der D4-Gruppe ist bei 9 von 10 dieser Gruppen eine Protrusion der OK-Front dokumentiert, in der D5-Gruppe sind es ebenfalls 9 (**Tab. 17, 18**). Dies verdeutlicht die erhebliche Beteiligung der oberen Inzisivi an der vergrößerten sagittalen Stufe.

Interessant ist weiterhin die in beiden Gruppen auftretende negative Korrelation zwischen ANB und OK1-N-S-Winkel (D4: $r = -0,343$; D5: $r = -0,483$; $p < 0,01$). Sie weist darauf hin, dass bei Patienten mit stärkerer Klasse-II-Tendenz tendenziell eine geringere Protrusion der oberen Front vorliegt – ein mögliches Zeichen für eine dentale Kompensation der Dysgnathie. In Fällen mit starker mandibulärer Rücklage (z. B. in der D5-Gruppe) scheint diese Kompensation nicht ausreichend zu sein, was sich in der stärkeren sagittalen Stufe manifestiert. Darüber hinaus korreliert in beiden Gruppen auch der Wits-Wert signifikant negativ mit dem OK1-N-S-Winkel (D4: $r = -0,171$, $p < 0,05$; D5: $r = -0,244$, $p < 0,05$) (**Tab. 19, 20**).

Zusätzlich sind signifikante Korrelationen zwischen der Frontzahnstellung im Oberkiefer und vertikalen Wachstumsparametern zu verzeichnen: In beiden Gruppen bestehen signifikante Zusammenhänge zwischen dem OK1-N-S-Winkel und der Björk-Summe (D4: $r = -0,349$; D5: $r = -0,494$; $p < 0,01$) sowie dem S-Go:N-Me-Verhältnis (D4: $r = 0,337$; D5: $r = 0,482$; $p < 0,01$). Diese Korrelationen deuten darauf hin, dass eine zunehmende Protrusion der oberen Frontzähne mit einer Abnahme der Björk-Summe und gleichzeitig mit einem höheren posterior-anterioren Gesichtsverhältnis einhergeht. Dies könnte darauf hindeuten, dass eine stärkere Protrusion der OK-Frontzähne und eine resultierende fehlende inzisale Abstützung, das horizontale Wachstumsmuster funktionell verstärkt bzw. stabilisiert. Mit zunehmender Protrusion kann es somit zu einer mechanischen Limitierung der vertikalen Wachstumsentwicklung kommen, was sich in einem verstärkten horizontalen Wachstumsverhalten äußern könnte [15].

Untere Scheidezähne

Auch die Analyse der unteren Schneidezähne zeigt relevante Unterschiede. Während in der D4-Gruppe 81,4 % der Patienten eine Protrusion der UK-Front aufweisen (UK1-GoMe: $100,1^\circ \pm 7,9$), sind es in der D5-Gruppe nur noch 62,3 % (UK1-GoMe: $96,8^\circ \pm 9,6$). Die Differenz beträgt $3,3^\circ$ und ist signifikant ($p = 0,007$) (**Tab. 14, 15, 35**). In der D4-Gruppe besteht zudem eine positive Korrelation zwischen ANB und UK1-GoMe ($r = 0,244$, $p < 0,01$), was für einen wirksamen Kompensationsmechanismus spricht: Bei stärkerer skelettaler Klasse II erfolgt eine vermehrte Protrusion der unteren Front. In der D5-Gruppe zeigt sich dagegen eine negative Korrelation ($r = -0,452$, $p < 0,01$), was auf eine fehlende dentale Kompensation im Unterkiefer hinweist (**Tab. 19, 20**).

Die häufigsten Kombinationen zeigen auch im Bereich der unteren Frontzähne eine klare Tendenz zur Protrusion. In der D4-Gruppe weisen 9 der 10 häufigsten diagnostischen Gruppen protrudierte UK-Schneidezähne auf, in der D5-Gruppe trifft dies auf 7 der 10 häufigsten Kombinationen zu (**Tab. 17, 18**). Dies spiegelt die Ergebnisse der quantitativen Analyse wi-

der, in der eine stärkere Protrusion der unteren Front insbesondere in der D4-Gruppe festgestellt wurde.

Wachstumsmuster

Die Analyse des Wachstumsmusters zeigt in der Mehrheit der untersuchten Patienten ein horizontales Wachstumsmuster und keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Gruppen. In der D4-Gruppe weisen 71,8 % der Patienten ein horizontales Wachstumsmuster auf, in der D5-Gruppe sind es 72,5 %. Die Björk-Summe (D4: $389,8^\circ \pm 6,0$; D5: $390,2^\circ \pm 7,6$) unterscheidet sich nicht signifikant, die mittlere Differenz beträgt $0,4^\circ$ ($p = 0,709$). Auch das S-Go:N-Me-Verhältnis zeigt mit Werten von D4: $67,8 \% \pm 5,2$ und D5: $68,2 \% \pm 5,9$ keinen signifikanten Unterschied (mittlere Differenz: $-0,4 \%$, $p = 0,628$) (**Tab. 14, 15, 16, 35**).

Die starke negative Korrelation zwischen der Björk-Summe und dem S-Go:N-Me-Verhältnis (D4: $r = -0,959$; D5: $r = -0,971$; $p < 0,01$) bestätigt die gegensätzliche Definitionsrichtung beider Parameter und unterstreicht deren wechselseitige diagnostische Aussagekraft (**Tab. 19, 20**).

Das horizontale Wachstumsmuster dominiert auch in den häufigsten diagnostischen Gruppen: In der D4-Gruppe weisen alle zehn häufigsten Konstellationen ein horizontales Wachstum auf. In der D5-Gruppe zeigt sich ein ähnliches Bild mit 7 von 10 Gruppen mit horizontalem, 2 mit vertikalem und einer mit neutralem Wachstum (**Tab. 17, 18**).

5.3.3 Kephalometrische Profilanalyse

Die Profilanalyse der D4- und D5-Patienten zeigt eine klare Tendenz zu konvexen Gesichtsplänen, was mit der bestehenden Klasse-II-Relation übereinstimmt [66]. Die Häufigkeitsverteilungen der Profile verdeutlichen, dass in der D4-Gruppe 40 % der Patienten ein harmonisches Profil aufweisen, während dieser Anteil in der D5-Gruppe mit 30 % geringer ausfällt. Gleichzeitig zeigt die D5-Gruppe mit 67 % einen höheren Anteil an konvexen Profilen als die D4-Gruppe (52 %). Dies erscheint plausibel, da in der D5-Gruppe die Klasse-II-Komponenten ausgeprägter sind, was sich in einer häufigeren Profilkonvexität widerspiegelt. (**Abb. 18, 19**).

Ein zentraler Parameter zur Beurteilung der sagittalen Weichteilbalance ist die NB-Pog-Strecke, welche die Distanz zwischen dem knöchernen Pogonion und dem B-Punkt beschreibt. In der D5-Gruppe beträgt dieser Wert 2,1 mm (SD = 2,1) und liegt damit signifikant über dem Wert der D4-Gruppe (1,5 mm, SD = 1,6), bei einer mittleren Differenz von $-0,6$ mm ($p = 0,016$) (**Tab. 36**). Dennoch befinden sich beide Werte im Bereich des erwartbaren Normwerts von etwa 1-2 mm, sodass die NB-Pog-Strecke im Gesamtkontext nicht als auffäl-

lig verlängert zu bewerten ist. Ihre Bedeutung für die Profilkonvexität erscheint daher nachgeordnet, insbesondere im Vergleich zum deutlich erhöhten ANB-Wert, der in beiden Gruppen maßgeblich zur Ausprägung konvexer Profilmerkmale beiträgt.

Die NB-Pog-Strecke sollte in Zusammenhang mit dem zweiten zentralen Parameter der Profilanalyse betrachtet werden, den ANB-Wert. Der ANB-Wert ist in der D5-Gruppe mit $6,0^\circ$ (SD = 2,3) signifikant höher als in der D4-Gruppe mit $5,3^\circ$ (SD = 1,9), was einer Differenz von $-0,7^\circ$ entspricht ($p = 0,019$) (**Tab. 35**). Die gleichzeitig gemessene Verlängerung der NB-Pog-Strecke könnte mit der reduzierten Inklination der unteren Schneidezähne in Zusammenhang stehen. Dieser Zusammenhang wird durch die Ergebnisse der FRS-Analyse gestützt, in der ein signifikant geringerer UK1-GoMe-Winkel in der D5-Gruppe gemessen wurde (D5: $96,8^\circ$ vs. D4: $100,1^\circ$, $p = 0,007$), was auf eine retrudierte UK-Front hinweist (**Tab. 35**). Diese Retrusion kann den B-Punkt nach dorsal verlagern und dadurch die NB-Pog-Strecke verlängern, ohne eine strukturelle Veränderung der Kinnposition.

Tatsächlich zeigt sich im Vergleich der H-Winkel-Werte nur ein geringer Unterschied: Der gemessene H-Winkel (Ist) liegt in der D4-Gruppe bei $14,0^\circ$ (SD = 5,1) und in der D5-Gruppe bei $15,2^\circ$ (SD = 6,2), wobei die Differenz nicht signifikant ist ($p = 0,135$). Auch der berechnete H-Winkel (Soll) unterscheidet sich kaum zwischen den Gruppen (D4: $13,9^\circ$; D5: $13,8^\circ$; $p = 0,886$) (**Tab. 36**). Die breite individuelle Spannweite des gemessenen H-Winkels (D5: $-4,8^\circ$ bis $26,5^\circ$; D4: $-3,7^\circ$ bis $26,5^\circ$) verdeutlicht die hohe interindividuelle Variabilität der Weichteilreaktion (**Tab. 21, 22**). Der H-Winkel spiegelt ein komplexes Zusammenspiel skelettaler, dentoalveolärer und weichteilbedingter Einflüsse wider und sollte nur im Gesamtzusammenhang mit den übrigen Parametern interpretiert werden.

5.3.3.1 Interpretation konkaver Profile

Konkave Profile werden üblicherweise mit einer Klasse-III-Relation assoziiert, sodass ihre Existenz in einer Gruppe mit vergrößerter sagittaler Stufe und distobasaler Kieferrelation hinterfragt werden muss. Um die zugrunde liegenden Mechanismen besser zu verstehen, wurden die entscheidenden Einflussfaktoren auf die Gesichtsprofilgestaltung betrachtet. Die folgende Analyse dient dazu, den Einfluss von ANB-Winkel und NB-Pog-Strecke auf die Gestaltung des Weichteilprofils zu untersuchen. Anhand der spezifischen Betrachtung konkaver Profile, die innerhalb eines grundsätzlich distobasalen Patientenkollektivs auftreten, lässt sich der diagnostische Stellenwert dieser beiden Parameter besonders deutlich herausarbeiten.

Bereits in **Kapitel 4.4.1** wurde gezeigt, dass in der Gesamtgruppe, trotz deutlich erhöhter ANB-Werte, die NB-Pog-Strecke im Durchschnitt nicht auffällig vergrößert war. Die gemessenen Mittelwerte lagen in beiden Gruppen (D4: 1,5 mm; D5: 2,1 mm) im Bereich des er-

wartbaren Normwerts von etwa 1-2 mm, was für eine ausgeglichene Front-Kinn-Beziehung in der Mehrzahl der Fälle spricht (**Tab. 21, 22**) [77]. Die Profilkonvexität in diesen Gruppen war daher vor allem durch die skelettale Klasse-II (ANB) bedingt, während die NB-Pog-Strecke keinen dominierenden Einfluss hatte.

Im Kontrast dazu zeigt die gezielte Betrachtung konkaver Profile innerhalb desselben Kollektivs ein abweichendes Muster. Hier werden Fälle sichtbar, in denen bei nur leicht erhöhtem ANB-Wert eine deutlich vergrößerte NB-Pog-Strecke auftritt, was zu einer veränderten Wahrnehmung der Kinnprojektion und damit zu einer konkaven Gesichtsform führt, trotz distobasaler Kieferrelation. Die Analyse dieser Konstellationen liefert somit einen empirischen Beitrag zur Bestätigung der in der Literatur beschriebenen Theorie, dass der ANB-Winkel und die NB-Pog-Strecke in Kombination maßgeblich die Ausprägung des Profils bestimmen [77].

Die grafische Darstellung der Mittelwerte von ANB und NB-Pog-Strecke in Bezug auf unterschiedliche Profilkategorien (**Abb. 20, 21**) verdeutlicht signifikante Unterschiede zwischen den drei Profilgruppen.

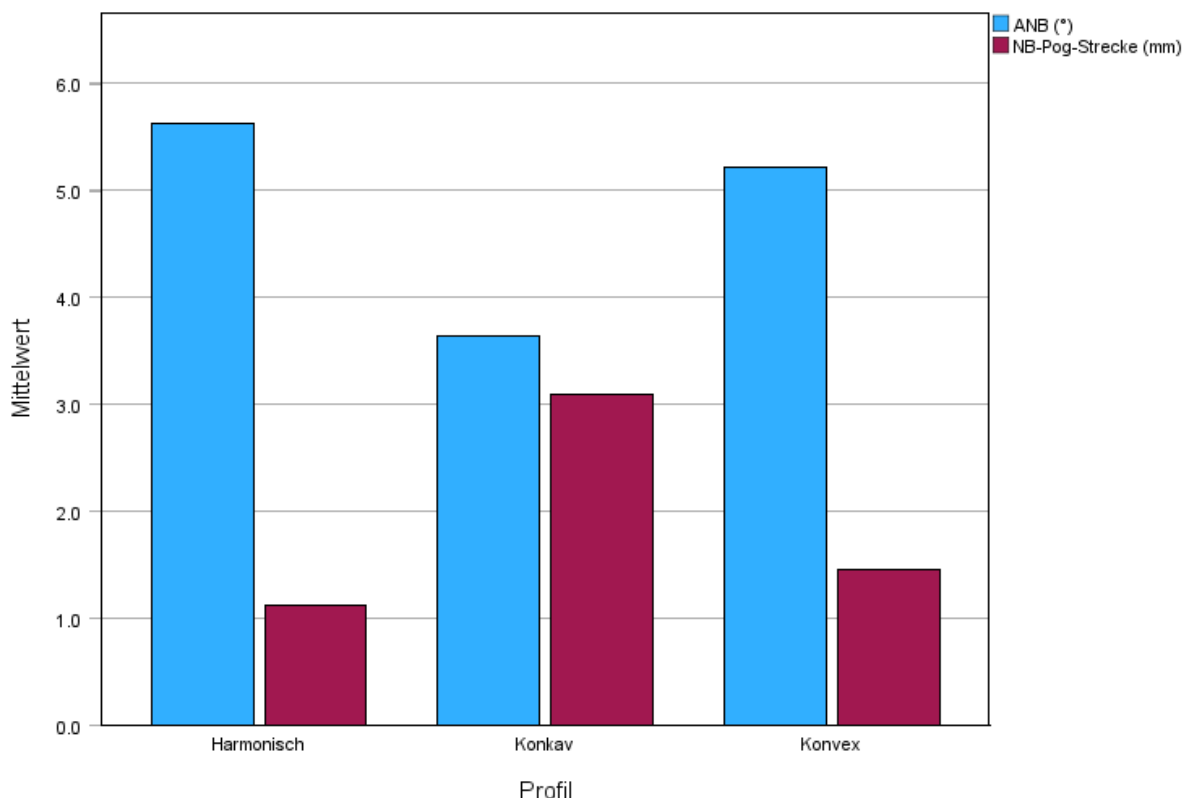


Abbildung 20: Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem ANB-Winkel und der NB-Pog-Strecke in den verschiedenen Profilklassen der D4-Gruppe

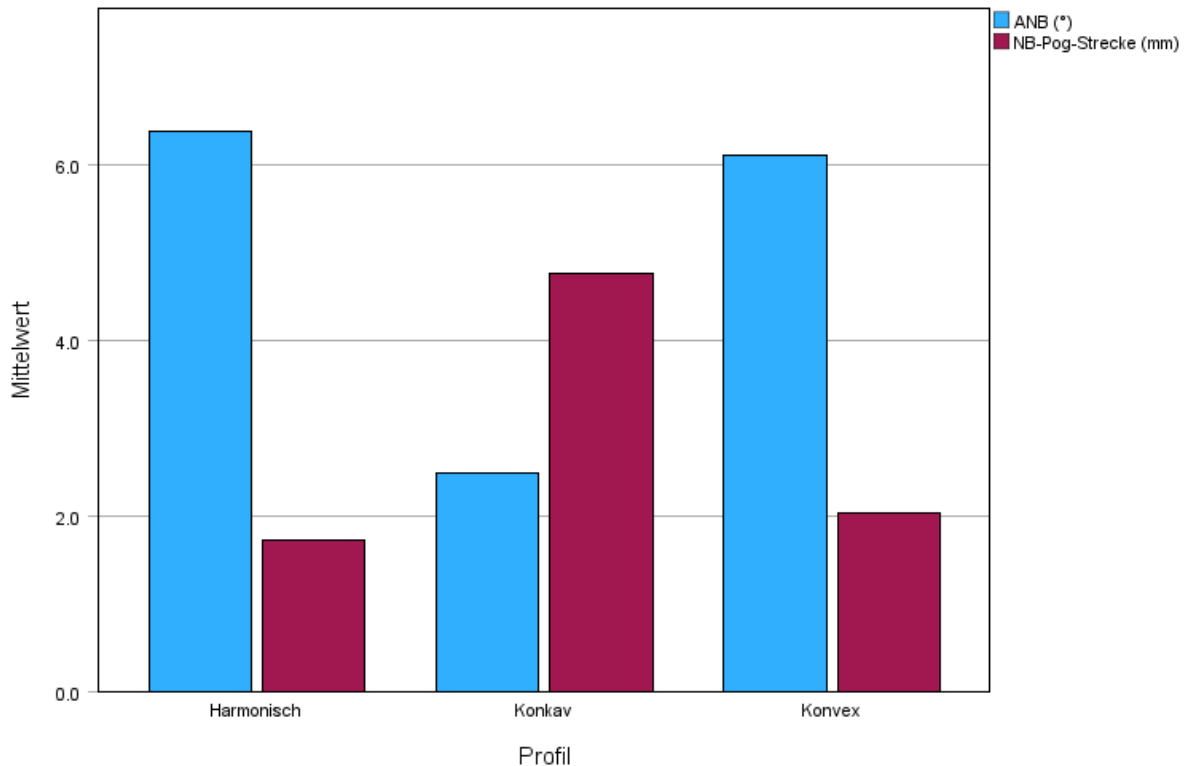


Abbildung 21: Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem ANB-Winkel und der NB-Pog-Strecke in den verschiedenen Profilklassen der D5-Gruppe

Ein Vergleich der unterschiedlichen Profilgruppen anhand den **Abbildungen 21 und 22** zeigt, dass konkave Gesichtsprofile innerhalb der Klasse-II-Population ein besonderes Merkmal aufweisen: Ihr ANB-Wert liegt mit durchschnittlich $3,8^\circ$ im grenznormalen Bereich, was nur eine leichte Tendenz zur Klasse II erkennen lässt [82]. Gleichzeitig ist die NB-Pog--Strecke mit 3,2 mm im Vergleich zu den anderen Gruppen vergrößert und über den Normbereich von 1-2 mm.

Die vergrößerte NB-Pog-Strecke bei Patienten mit konkavem Profil könnte auf zwei unterschiedliche Mechanismen zurückzuführen sein [77]. Eine naheliegende Erklärung ist eine retrudierte Stellung der unteren Schneidezähne, die zu einer dorsalen Verlagerung des B-Punkts und der Unterlippe führt, ohne dass sich das Pogonion selbst signifikant verändert. Also verursacht eine reduzierte Inklination der unteren Frontzähne eine verlängerte NB-Pog-Strecke. Dies kann eine vermeintlich prominente Kinnlage und damit ein konkaves Profil entstehen lassen, obwohl skelettal eine leichte distobasale Relation vorliegt. Die Daten zeigen, dass selbst bei Patienten mit normnaher ANB-Konfiguration eine ausgeprägte sagittale Stufe vorkommen kann, ein Hinweis darauf, dass in diesen Fällen nicht die skelettale Basis, sondern dentale Faktoren, zur Vergrößerung der Stufe beitragen. Alternativ wäre auch eine strukturelle Kinnprominenz denkbar, im Sinne einer Progenie, die das Profil optisch konkav erscheinen lässt, unabhängig von der Zahnstellung. Während eine echte skelettale Kinnpro-

minenz eventuell durch eine chirurgische Intervention korrigiert werden müsste, sollte bei dentoalveolären Ursachen die Stellung der unteren Schneidezähne gezielt angepasst werden, um eine Harmonisierung des Profils zu erreichen.

Gerade im Kontext der Therapieplanung ist die Profilanalyse von entscheidender Bedeutung: Wird bei einer Patientin oder einem Patienten mit skelettaler Klasse-II-Tendenz ein funktionsschieferorthopädisches Gerät eingesetzt, ohne zuvor das Profil sorgfältig zu beurteilen, kann dies, insbesondere bei bereits konkav wirkendem Weichteilprofil, zu einer erheblichen ästhetischen Verschlechterung führen. Daher sollte die Profilbeurteilung stets integraler Bestandteil der individuellen Therapieentscheidung sein, um funktionelle Verbesserungen nicht durch unerwünschte Veränderungen im Gesichtsprofil zu konterkarieren. Aktuelle Studien unterstreichen diese Notwendigkeit: Sowohl die ästhetische Bewertung von Gesichtsprofilen vor und nach funktioneller Therapie als auch die Analyse der Weichteilposition, insbesondere der Oberlippe und der Kinnregion, zeigen, dass ungünstige Profilveränderungen ohne sorgfältige Vorabdiagnostik auftreten können und die Gesamtwirkung einer Behandlung negativ beeinflussen können [33,71].



Abbildung 22: Die NB-Pog-Strecke [77].

5.3.3.2 Weichteilkompensation

Ein weiterer interessanter Befund ergibt sich beim Vergleich harmonischer und konvexer Gesichtsprofile innerhalb der D4- und D5-Gruppen, wie in den **Abbildungen 20 und 21** dargestellt. Trotz Unterschiede im äußeren Profilbild zeigen harmonische und konvexe Profile in beiden Gruppen ähnliche skelettale Parameter. Diese Beobachtung unterstreicht die zentrale Rolle der Weichteiladaptation bei der Profilgestaltung.

Die Ergebnisse legen nahe, dass bei harmonischen Profilen eine ausreichende Weichteilkompensation der skelettalen Klasse-II-Relation vorliegt, die das Profil optisch ausgleicht. Bei konvexen Profilen hingegen scheint diese Weichteilkompensation weitgehend zu fehlen oder unzureichend zu sein, sodass die skelettale Diskrepanz im Profil deutlicher sichtbar wird.

Dieser Zusammenhang wird durch die Studien von Guo et al. (2023) und Kielczykowski et al. (2024) gestützt, die übereinstimmend berichten, dass Weichteilstrukturen im Bereich von Lippen und Kinn maßgeblich das äußere Erscheinungsbild bei Patienten mit skelettaler Klasse II beeinflussen und kompensieren können [33,47].

5.4 Diskussion der Ergebnisse der Modellanalyse

Die Modellanalyse bildet nach der dentoskelettalen FRS-Analyse den zweiten Baustein zur systematischen Untersuchung der dentoalveolären Merkmale von D4- und D5-Patienten. Im Fokus steht dabei die detaillierte Erfassung dentaler, okklusaler und raumstruktureller Verhältnisse im Zahnbogen sowie deren Einfluss auf die sagittale Abweichung. Ziel ist es, anhand der erhobenen Modellparameter jene Faktoren zu identifizieren, die zur Entstehung und Aufrechterhaltung einer vergrößerten sagittalen Stufe beitragen, die alle untersuchten Patienten gemäß KIG-Klassifikation (D4/D5) aufweisen.

Die kombinierte Analyse der häufigsten Merkmalskombinationen liefert weitere wichtige Hinweise zur multifaktoriellen Genese der vergrößerten sagittalen Stufe. Die fünf häufigsten Befundkombinationen, die über 40 % der Patienten in beiden Gruppen umfassen, beinhalten nahezu durchgehend eine transversale Enge, einen vergrößerten Overbite, einen vergrößerten SIOK, eine beidseitige Distalokklusion und einen ausgeprägten Overjet (**Tab. 30, 31**). Damit zeigt sich ein konsistentes dentoalveoläres Muster struktureller und funktioneller Merkmale, das unabhängig von der Gruppenzuordnung (D4 vs. D5) charakteristisch für die untersuchte Population ist.

5.4.1 Transversale Enge

Ein zentrales Ergebnis der Modellanalyse ist die in beiden Gruppen deutlich feststellbare transversale Enge. Häufigkeitsverteilungen zeigen, dass 73,1 % der D4-Patienten und 84,1 % der D5-Patienten eine Einengung im Interprämolarenabstand aufweisen. Im Molarenbereich sind die Werte mit 87,2 % (D4) bzw. 91,3 % (D5) nochmals höher. Auch im Unterkiefer zeigt sich eine signifikante Einengung (Tab. 29): In der vorderen Zahnbogenbreite (UK vZBB) wiesen 87,2 % (D4) bzw. 81,2 % (D5) der Patienten eine Einengung auf, im posterioren Bereich (UK hZBB) betrugen die Werte 83,3 % (D4) bzw. 76,8 % (D5) (**Tab. 29**). Diese

Ergebnisse werden durch die zusätzlich berechneten Mittelwerte der Differenzen zu den Referenzwerten nach Weise bestätigt: In allen vier Messstrecken lagen die Mittelwerte im negativen Bereich, was auf eine durchschnittlich reduzierte Zahnbogenbreite sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer hinweist (**Tab. 27, 28**).

Die transversale Einschränkung der vorderen Zahnbogenbreite im Oberkiefer stellt eine entscheidende Voraussetzung für die Entwicklung eines frontalen Engstands und protrusiver Frontzahnstellungen dar. Die Verengung zwingt die oberen Schneidezähne zu einer vestibulären Ausweichbewegung, wodurch der sagittale Abstand zwischen Ober- und Unterkieferfront vergrößert wird. Diese Zusammenhänge werden auch von McNamara (1996) bestätigt, der einen engen Zusammenhang zwischen einer reduzierten transpalatinalen Weite und der Entwicklung von Frontengstand und protrusiven Zahnstellungen aufzeigt. [55]. Der Mann-Whitney-U-Test belegte eine signifikant stärkere Einengung der vorderen Zahnbogenbreite (vZBB) in der D5-Gruppe ($Z = -2,10$; $p = 0,036$), was auf die verstärkte und häufiger auftretende Protrusion der Oberkieferinzisivi in dieser Gruppe hinweisen könnte (**Tab. 37**).

Die transversale Einengung im posterioren Oberkieferbereich stellt einen relevanten funktionellen Faktor für eine posteriore mandibuläre Positionierung dar, die nicht auf eine echte skelettale Unterkieferrücklage zurückzuführen ist (dorsaler Zwangsbiss) oder als verstärkender Faktor einer echten skelettalen Diskrepanz. Kapoor et al. (2015) bestätigen die zentrale Rolle der posterioren transversalen Einengung im Oberkiefer bei der Entstehung einer mandibulären Rücklage im Rahmen einer Angle-Klasse II/1-Malokklusion bereits im Wechselgebiss [45]. Auch in der vorliegenden Untersuchung zeigt sich, dass in beiden Gruppen (D4 und D5) die größte transversale Einengung im posterioren Bereich des Oberkiefers auftritt. In der D4-Gruppe betrug die durchschnittliche Differenz im Bereich der hinteren Zahnbogenbreite (OK hZBB) $-4,1$ mm ($SE = 0,20$, $SD = 2,5$), während sie in der D5-Gruppe $-4,4$ mm ($SE = 0,32$, $SD = 2,7$) erreichte (**Tab. 27, 28**). Diese Befunde unterstreichen die Bedeutung der posterioren Oberkieferereinengung als Schlüsselfaktor für die sagittale Diskrepanz zwischen Ober- und Unterkiefer.

Raphe-Papillen-Transversale (RPT)

Ergänzend liefert die Analyse der Raphe-Papillen-Transversale (RPT) einen entwicklungsbezogenen Hinweis auf die Oberkieferausprägung. In der D5-Gruppe wurde bei 66,7 % der Patienten eine mesiale RPT-Position festgestellt, in D4 hingegen überwiegend eine neutrale Lage (64,1 %) (**Tab. 29**). Eine mesiale RPT-Position entspricht laut Schmuth einer sagittalen Unterentwicklung der Oberkieferbasis [50]. Im Kontext der Modellanalyse stellt dieser Befund keine eigenständige diagnostische Kategorie dar, bestätigt jedoch retrospektiv die strukturel-

len Entwicklungsdefizite im Oberkiefer, wie sie durch transversale Enge und Platzmangel bereits beschrieben wurden.

5.4.2 Vergrößerter SIOK

Besonders relevant erscheint weiterhin der häufige Zahnmaterialüberschuss im Oberkiefer. In der D4-Gruppe wiesen 51,9 % der Patienten laut Tonn'schem Index ein Überschuss an Zahnmaterial im Frontzahnbereich des Oberkiefers (vergrößerter SIOK) auf, in D5 lag der Anteil bei 43,5 % (**Tab. 29**). Ein solcher Überschuss kann unterschiedliche Auswirkungen auf die Okklusion haben. So wird er in der Literatur mit einer Zunahme des Overbites, einem vergrößerten Overjet, Engständen im Oberkiefer sowie einer insgesamt gestörten Verzahnung in Verbindung gebracht. Häufig treten dabei auch mehrere dieser Merkmale gleichzeitig auf [42,76].

Die vermehrte Zahnsubstanz bei gleichzeitig eingeschränkter Basalstruktur begünstigt zusätzlich die bukkale Auswanderung der oberen Schneidezähne. Besonders relevant ist in diesem Zusammenhang die Kombination aus transversaler Enge und SIOK-Überschuss: Die Kombination aus vergrößertem SIOK und anteriorer transversaler Enge wurde in der D4-Gruppe bei 59 von 156 Patienten beobachtet, entsprechend 37,8 % und in der D5-Gruppe bei 25 von 69 Patienten vor mit 36,2 %. Bei nahezu allen dieser Patienten war zusätzlich auch die hintere Zahnbogenbreite des Oberkiefers eingeengt (**Tab.32**).

5.4.3 Tiefbiss

Ein weiteres zentrales Merkmal ist die hohe Prävalenz eines vergrößerten Overbites. In der D4-Gruppe zeigten 84,0 % der Patienten, in der D5-Gruppe 82,6 % einen Tiefbiss (**Tab. 29**). Diese vertikale Überdeckung ist nicht als primärer Faktor, sondern als funktionelle Folge der vergrößerten sagittalen Stufe zu interpretieren. Die fehlende inzisale Abstützung zwischen Ober- und Unterkieferfrontzähnen erlaubt eine elongierte Entwicklung beider Frontzahnreihen. Damit verstärkt sich nicht nur die vertikale Stufe, sondern auch die visuelle Wirkung der sagittalen Abweichung. Die signifikant negativen Korrelationen zwischen Zahnbogenbreite im Unterkiefer und Overbite (UK 4-4 vs. Overbite: D4 $r = -0,192$, $p < 0,05$; D5 $r = -0,344$, $p < 0,01$) stützen diese Interpretation: Eine enge UK-Front verhindert die Abstützung zusätzlich und begünstigt damit die vertikale Überdeckung (**Tab. 33, 34**). Diese Tendenz wird zusätzlich durch den Mann-Whitney-U-Test untermauert, der für den Overbite einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen zeigt ($Z = -2,39$; $p = 0,017$), wobei die mittleren Ränge mit 128,61 in der D5-Gruppe systematisch höher liegen als in D4 (106,10) (**Tab. 37**).

5.4.4 Distalokklusion

Ein weiterer zentraler Aspekt der Modellanalyse betrifft die Okklusion. Die Häufigkeitsverteilungen zeigen, dass 87,2% der D4-Patienten und 92,8 % der D5-Patienten beidseitig eine Distalokklusion aufweisen (**Tab. 29**). Diese Okklusion, die klassischerweise mit einer Klasse-II-Relation assoziiert ist, spiegelt die zugrunde liegende skelettale Dysgnathie wider, wie sie bereits in der FRS-Analyse beschrieben wurde. Im Kontext der funktionellen Okklusion deutet dies darauf hin, dass neben dentoalveolären und transversalen Faktoren auch die sagittale Verzahnung der Seitenzähne einen strukturellen Beitrag zur Manifestation der Klasse-II-Dysgnathie liefert. Die beidseitige Distalokklusion zeigt sich zudem als Bestandteil der häufigsten Merkmalskombinationen innerhalb beider Gruppen.

Darüber hinaus sollte in Betracht gezogen werden, dass eine ausgeprägte transversale Enge im Oberkiefer auch zu einer distalen Zwangsbisslage führen kann. Die Platzverhältnisse und die eingeschränkte laterale Entwicklung des Oberkiefers könnten somit nicht nur die Zahnstellung, sondern auch die sagittale Okklusionsposition funktionell beeinflussen und langfristig zur Manifestation oder Verstärkung einer skelettalen Klasse II beitragen. Insbesondere ein persistierender oberer Schmalkiefer kann eine funktionelle Zwangsverlagerung des Unterkiefers nach distal provozieren, die im Wachstumsverlauf durch muskuläre und artikuläre Anpassungen in eine strukturelle mandibuläre Rücklage übergehen kann. Die longitudinale Studie von Baccetti et al. (1997) belegt, dass Kinder mit Klasse II/1-Malokklusion bereits im Milchgebiss eine signifikante transversale Diskrepanz zwischen Ober- und Unterkiefer aufweisen [9]. Diese bleibt im Wechselgebiss bestehen oder nimmt sogar zu. Die Autoren bewerten diese transversale Enge als konstituierenden Bestandteil der Klasse-II-Morphologie und betonen deren potenzielle Rolle bei der Entwicklung funktioneller Zwangsbisslagen. Die in dieser Arbeit erhobenen Befunde decken sich mit diesen Ergebnissen, da auch hier bei einem Großteil der Klasse-II/1-Patienten eine ausgeprägte transversale Diskrepanz dokumentiert wurde

5.5 Vergleich zwischen KIG-D4/D5- und Angle-Klasse-II/1-Patienten

Wie in **Kapitel 2.3.2** dargelegt, weisen die KIG-D4- und D5-Einzelanomalien eine diagnostische Überschneidung mit der Angle-Klasse II/1 auf, insbesondere aufgrund der ausgeprägten sagittalen Stufe. Diese Parallele lässt die Hypothese zu, dass sich auch die dentoskelettale Ausprägung der KIG-D4/D5-Patienten an den in der Literatur beschriebenen Merkmalen der Angle-Klasse II/1 orientieren könnte.

Um dieser Fragestellung systematisch nachzugehen, erfolgt im Folgenden ein Vergleich der erfassten skelettalen und dentalen Parameter zwischen den KIG-D4/D5-Gruppen der untersuchten Population und den in der Literatur beschriebenen typischen Merkmalen der Angle-Klasse II/1-Malokklusion. Besondere Beachtung finden dabei die sagittale Kieferrelation, die vertikale Gesichtsdimension, die Zahnachsenstellung im Ober- und Unterkiefer sowie die Ausprägung der Frontzahnüberstellung. Ziel dieser vergleichenden Betrachtung ist es, zu prüfen, inwiefern die D-Indikationsgruppe, trotz fehlender bisheriger deskriptiver Studien, tatsächlich die klinisch beschriebene Angle-Klasse II/1 repräsentiert oder ob sich innerhalb der D4- und D5-Gruppen spezifische dentoskelettale Muster identifizieren lassen, die eine differenziertere diagnostische Betrachtung erforderlich machen.

Skelettale Merkmale

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die dentoskelettalen Merkmale der D4- und D5-Patienten in weiten Teilen mit der in der Literatur beschriebenen Symptomatik der Angle-Klasse II/1 übereinstimmen. So stellt eine mandibuläre Rücklage in unserem Patientenkollektiv den zentralen skelettalen Faktor dar, ein Merkmal, das bereits von zahlreichen Autoren als häufigste Ursache der Angle-Klasse II/1 beschrieben wurde [3,16,27,30,35,37,54,57,60,68]. Bezüglich der sagittalen Maxillaposition zeigt sich in beiden Gruppen eine Variabilität: Neben orthognathen Positionen traten auch maxilläre Prognathien und, in geringerem Umfang, Retrognathien auf. In der D4-Gruppe lag der Anteil prognather Maxillen bei knapp 40 %, während er in der D5-Gruppe rund 35 % betrug. Diese Heterogenität steht ebenfalls im Einklang mit früheren Studien über die Angle-Klasse II/1, in denen die Rolle der Maxilla als beitragender, aber nicht immer dominanter Faktor beschrieben wurde [3,27,38,40].

Dentale Merkmale

Auch die in dieser Untersuchung erhobenen dentalen Merkmale zeigen eine weitgehende Übereinstimmung mit den typischen Befunden der Angle-Klasse II/1, wie sie in der Literatur beschrieben sind. So wurde in beiden Gruppen eine häufige Protrusion der oberen Schneidezähne festgestellt, in der D5-Gruppe ausgeprägter als in der D4-Gruppe, was den bekannten Angle-Klasse-II/1-Mustern entspricht [27,35,38,40,68].

In beiden Gruppen wurde zusätzlich eine Protrusion der unteren Schneidezähne sehr häufig beobachtet – bei 81,4 % der D4-Patienten und 65,2 % der D5-Patienten (**Tab. 16**). Pancherz (1997) beobachtete eine solche dentale Kompensation bei etwa 50 % der, von ihm untersuchten, Angle-Klasse-II/1-Patienten [60]. Die bei uns beobachteten höheren Häufigkeiten könnten darauf hinweisen, dass die dentale Kompensation in unserer Patientengruppe eine wichtigere Rolle spielte. Dies erscheint plausibel, da in unserer Studie Patienten mit einer

sagittalen Stufe von mindestens 6 mm eingeschlossen wurden. Die geringere Ausprägung der Protrusion in der D5-Gruppe könnte zudem zur klinisch deutlicheren Manifestation der sagittalen Diskrepanz beigetragen haben.

Darüber hinaus wurde in beiden Gruppen eine beidseitige Distalokklusion häufig beobachtet, was die skelettale Klasse-II-Zuordnung zusätzlich bestätigt. Diese Okklusionsbeziehung ist ein typisches Merkmal der Angle-Klasse II/1-Malokklusion und reflektiert die zugrunde liegende skelettale Diskrepanz. Ein vergrößerter Overbite (Tiefbiss) wurde bei den untersuchten D4- und D5-Patienten häufig festgestellt. Obwohl dieses Merkmal klinisch deutlich ausgeprägt war, wird es in der Literatur zur Angle-Klasse II/1-Malokklusion bislang nur selten thematisiert.

Transversale Parameter

Darüber hinaus zeigen sich deutlich in der D-Indikationsgruppe zusätzliche strukturprägende Merkmale, die in klassischen Studien zur Angle-Klasse II/1 seltener im Fokus stehen. Dazu zählen insbesondere ausgeprägte transversale Einengungen in beiden Kiefern, ein vergrößerter SIOK-Wert (Zahnmaterialüberschuss) sowie die daraus resultierende labiale Ausweichposition der oberen Frontzähne. Die transversale Problematik wurde zwar in der Angle-Klasse-II/1-Literatur meistens vernachlässigt, jedoch beschrieben Baccetti et al. (1997) bereits im Milch- und Wechselgebiss eine signifikante transversale Diskrepanz als konstituierenden Bestandteil dieser Fehlstellung. Auch McNamara (1996) wies darauf hin, dass eine reduzierte transversale Dimension des Oberkiefers eng mit der Entstehung von dentalen Engständen und protrusiven Frontzahnstellungen korreliert. Ebenso bestätigten Kapoor et al. (2015) die zentrale Bedeutung der posterioren transversalen Diskrepanz im Oberkiefer für die mandibuläre Rücklage bei Angle-Klasse II/1-Malokklusionen bereits im Wechselgebiss [9,45,55].

Wachstumsmuster

In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben zum Wachstumsmuster bei Angle-Klasse-II/1-Patienten: Während einige Autoren, insbesondere Miethke und Lemke (2004), McNamara (1981), Henry (1957) und Hunter (1966), eine überwiegend vertikale Wachstumsneigung dokumentieren, berichten andere wie Pancherz (1997), Carter (1987) oder Karlsen (1994) über das Vorhandensein horizontaler Wachstumsmuster innerhalb dieser Klasse. Diese uneinheitlichen Befunde verdeutlichen die bekannte interindividuelle Variabilität des skelettalen Wachstumsmusters bei Angle-Klasse II/1 [21,37,40,46,54,57,60].

In der vorliegenden D4-/D5-Stichprobe dominiert ein horizontales Wachstumsmuster, was durch die Analyse der Björk-Summe und das S-Go:N-Me-Verhältnis eindeutig belegt wurde.

Dieser Befund unterscheidet sich somit von der häufig beschriebenen vertikalen Wachstumsrichtung in klassischen Angle-Klasse-II/1-Profilen, steht aber im Einklang mit jenen Studien, die horizontale Subtypen identifizieren.

Ein möglicher Erklärungsansatz für diesen Unterschied liegt in den Einschlusskriterien der vorliegenden Studie: Alle Patienten wiesen eine sagittale Stufe von mehr als 6 mm auf. Diese ausgeprägte sagittale Diskrepanz geht häufig mit einer fehlenden inzisalen Abstützung einher, was die Entwicklung eines Tiefbisses begünstigt – ein Merkmal, das in der untersuchten Population besonders häufig beobachtet wurde. Das beobachtete horizontale Wachstumsmuster erscheint in diesem Zusammenhang als funktioneller Begleitbefund [15].

Diese Konstellation aus starker sagittaler Stufe, fehlender inzisaler Abstützung, Tiefbiss und horizontalem Wachstumsmuster stellt ein charakteristisches Bild der D4-/D5-Population dar und verweist auf strukturelle Besonderheiten, die sich teilweise von den klassisch beschriebenen Angle-Klasse-II/1-Mustern abgrenzen.

Profil

Im Rahmen der Profilanalyse ließ sich bei den Patienten der D4- und D5-Gruppen eine überwiegende Ausprägung konvexer Gesichtsprofile feststellen. Diese Beobachtung steht im Einklang mit der skelettalen Klasse-II-Relation, die typischerweise durch eine mandibuläre Rücklage bedingt ist [64].

5.6 Zusammenfassung/ Schlussfolgerung

Die Analyse der kieferorthopädisch relevanten Parameter in den KIG-Gruppen D4 und D5 offenbart ein multifaktorielles, komplexes morphologisches Profil, das durch die Kombination strukturell und funktionell relevanter Merkmale gekennzeichnet ist. Ein einzelnes Leitsymptom lässt sich dabei nicht definieren; vielmehr liegt ein diagnostisch konsistentes Muster aus häufig koexistierenden Abweichungen vor.

Alter und Geschlecht

Die Geschlechtsverteilung war in beiden Gruppen annähernd ausgeglichen mit einem leichten Überhang weiblicher Patienten. Das durchschnittliche Alter lag bei 11,41 Jahren, mit einer Häufung im Bereich von 10 bis 12 Jahren, einem für Diagnostik und Therapieplanung typischen Zeitraum der späten Wechselgebissphase.

Profilanalyse

In der Profilanalyse dominiert ein konvexes Gesichtsprofil, das mit der zugrunde liegenden Klasse-II-Relation korrespondiert. Harmonische Profile sind seltener vertreten, insbesondere bei D5-Patienten.

Kephalometrische Analyse

Die FRS-Analyse bestätigt die skelettale Klasse-II-Struktur als zentrales Merkmal beider Gruppen. Diese zeigt sich vorrangig in einer mandibulären Rücklage, die in der D5-Gruppe häufiger und ausgeprägter auftritt als in der D4-Gruppe. Die sagittale Position der Maxilla erweist sich hingegen als variabel: Neben orthognathen Lagen finden sich in beiden Gruppen auch prognathe und retrognathe Maxillen. Damit zeigt sich, dass die skelettale Diskrepanz nicht ausschließlich auf den Unterkiefer beschränkt ist, sondern – je nach individueller Konstellation – auch durch die Maxillaposition mit beeinflusst werden kann. Dentale Komponenten wie die Protrusion der oberen Schneidezähne sind deutlich ausgeprägt, bei D5 stärker als bei D4. Gleichzeitig fehlt in der D5-Gruppe häufiger die dentale Kompensation im Sinne einer Protrusion der unteren Frontzähne.

Modellanalyse

Die Modellanalyse ergänzt dieses Bild um raumstrukturelle Aspekte der Zahnbögen. In beiden Gruppen besteht eine ausgeprägte transversale Enge im Ober- und Unterkiefer, teils in Kombination mit einem Zahnmaterialüberschuss im Oberkiefer (vergrößerter SIOK). Diese Kombination stellt ein morphologisches Risikoprofil dar, das eine labiale Ausweichposition der oberen Frontzähne fördert und zur Vergrößerung des sagittalen Frontabstandes beiträgt. Gleichzeitig kann die ausgeprägte posteriore transversale Einengung im Oberkiefer die mandibuläre Rücklage funktionell begünstigen, indem sie eine physiologische Vorverlagerung des Unterkiefers behindert. Beidseitige Distalokklusionen kommen bei fast allen Patienten vor und spiegeln die skelettale Klasse-II-Struktur auch auf okklusaler Ebene wider. Entwicklungsbezogene Hinweise wie eine mesiale RPT-Position weisen zudem auf eine sagittale Unterentwicklung der Oberkieferbasis hin. Die häufigsten Befundkombinationen umfassen nahezu durchgehend transversale Enge, vergrößerter Overbite, SIOK-Überschuss, Distalokklusion und vergrößerter Overjet – ein typisches Muster innerhalb des untersuchten Patientenkollektivs.

Horizontales Wachstumsmuster und Tiefbiss

Ein weiterer auffälliger Befund war, der in beiden Gruppen häufig dokumentierte vergrößerte Overbite, der in vielen Fällen als Folge einer fehlenden inzisalen Abstützung aufgrund der vergrößerten sagittalen Stufe zu interpretieren ist. Diese funktionelle Störung begünstigt eine

Elongation der Frontzähne, was zur Ausprägung eines Tiefbisses führt. Aus diesem Befundmuster ergibt sich zudem ein Einfluss auf das skelettale Wachstumsmuster: Der Tiefbiss fördert eine horizontale Wachstumsrichtung, wie sie in der Mehrzahl der D4- und D5-Patienten beobachtet wurde [15]. Das Zusammenspiel von der fehlenden inzisalen Abstützung, Tiefbiss und horizontalem Wachstumsmuster stellt somit ein funktionell verknüpftes und in dieser Population charakteristisches Merkmal dar.

Vergleich mit der Angle-Klasse II/1

Vergleicht man diese Merkmalsstruktur mit der in der Literatur beschriebenen Symptomatik der Angle-Klasse II/1, zeigen sich zahlreiche Übereinstimmungen. Dazu zählen die mandibuläre Rücklage, die transversale Enge, die protrudierten oberen Schneidezähne sowie die häufig fehlende dentale Kompensation im Unterkiefer. Bezüglich des Wachstumsmusters finden sich in der Literatur sowohl Hinweise auf vertikale als auch auf horizontale Ausprägungen innerhalb der Angle-Klasse II/1. Das hier untersuchte Patientenkollektiv zeigt dabei eine klare Tendenz zum horizontalen Wachstum, womit sich die Ergebnisse in das bekannte Spektrum einordnen, aber eine deutliche Schwerpunktbildung innerhalb der Subgruppe erkennen lassen.

Schlussfolgerung

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass kieferorthopädische Patienten mit den KIG-Einzelanomalien D4- und D5 ein dentoskelettale und dentoalveoläres Profil aufweisen, das durch eine Vielzahl struktureller und funktioneller Merkmale geprägt ist. Die vergrößerte sagittale Stufe resultiert dabei nicht aus einem isolierten Leitsymptom, sondern aus dem Zusammenspiel skelettaler Klasse-II-Komponenten, dentaler Fehlstellungen und einer transversalen Unterentwicklung der Kiefer. Die Analyse der kieferorthopädisch relevanten Parameter offenbart ein komplexes, multifaktorielles morphologisches Muster, das weniger durch einzelne Leitsymptome als vielmehr durch die regelmäßige Koexistenz spezifischer Abweichungen charakterisiert ist.

Die beobachteten Merkmale zeigen eine weitgehende Übereinstimmung mit der klassischen Angle-Klasse II/1-Symptomatik, wie sie in der Literatur beschrieben ist. Gleichzeitig lassen sich innerhalb der KIG-D4-/D5-Gruppen spezifische Ausprägungen erkennen – insbesondere das durchgängig horizontale Wachstumsmuster in Kombination mit einem Tiefbiss, die auf ein charakteristisches Subprofil innerhalb des Klasse-II-Kontexts hinweisen. Diese Erkenntnisse unterstreichen die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Diagnostik, die die dentoskelettalen und dentoalveolären Faktoren gleichermaßen berücksichtigt, um patientenindividuelle Behandlungsstrategien bei Klasse-II-Dysgnathien gezielt planen zu können.

6 Literaturverzeichnis

1. Agarwal A (2012) An Overview of Orthodontic Indices. *World J Dent* 3:77–86
2. Alhammadi MS, Halboub E, Fayed MS, Labib A, El-Saaidi C (2018) Global distribution of malocclusion traits: a systematic review. *Dental Press J Orthod* 23:40.e1–40.e10
3. Altamus LA (1995) Horizontal and vertical dentofacial relationships in normal and Class II division 1 malocclusion in girls 11–15 years. *Angle Orthod* 25:120–137
4. Angle EH (1899) Classification of malocclusion. *Dental Cosmos* 41:248–264
5. Antunes LA, Gomes I, Almeida M, Silva EB, Calasans-Maia JA, Antunes L (2015) Increased overjet is a risk factor for dental trauma in preschool children. *Indian J Dent Res* 26:356
6. Arraj GP, Rossi-Fedele G, Doğramacı EJ (2019) The association of overjet size and traumatic dental injuries - A systematic review and meta-analysis. *Dent Traumatol* 35:217–232
7. Assimakopoulou T (2004) Evaluierung der Prävalenzrate bei 9 bis 10-jährigen Probanden nach den Kieferorthopädischen Indikationsgruppen (KIG). Dissertation, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster
8. Avinash B, Shivalinga BM, Balasubramanian S, Shekar S (2015) The index of orthodontic treatment need – a review. *Int J Recent Sci Res* 6:5835–5839
9. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr, Tollaro I (1997) Early dentofacial features of Class II malocclusion: a longitudinal study from the deciduous through the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111:502–509
10. Ballard ML (1944) Asymmetry in Tooth Size: A Factor in the Etiology, Diagnosis and Treatment of Malocclusion. *Angle Orthod* 14:67–70
11. Batista KB, Thiruvengkatachari B, Harrison JE, O'Brien KD (2018) Orthodontic treatment for prominent upper front teeth (Class II malocclusion) in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev* 3:CD003452
12. Bauss O, Freitag S, Röhling J, Rahman A (2008) Influence of overjet and lip coverage on the prevalence and severity of incisor trauma. *J Orofac Orthop* 69:402–410
13. Bilgic F, Gelgor IE, Celebi AA (2015) Malocclusion prevalence and orthodontic treatment need in central Anatolian adolescents compared to European and other nations' adolescents. *Dent Press J Orthod* 20:75–81
14. Bishara SE, Jakobsen JR, Vorhies B, Bayati P (1997) Changes in dentofacial structures in untreated Class II division 1 and normal subjects: a longitudinal study. *Angle Orthod* 67:55–66
15. Björk A (1969) Prediction of mandibular growth rotation. *Am J Orthod* 55:585–599

16. Blair ES (1954) A cephalometric roentgenographic appraisal of the skeletal morphology of Class I, Class II, Div. 1, and Class II, Div. 2 (Angle) malocclusions. *Angle Orthod* 24:106–119
17. Bolton WA (1958) Disharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion. *Angle Orthod* 28:113–130
18. Bortz J, Schuster C (2011) Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler: limitierte Sonderausgabe. 7. Aufl. Springer, Berlin
19. Bruhn C, Hofrath H, Korkhaus G (1939) Gebiss-, Kiefer- und Gesichtorthopädie. J. F. Bergmann, München
20. Bundesausschuss der Zahnärzte und Krankenkassen (2003) Richtlinien des Bundesausschusses der Zahnärzte und Krankenkassen für die kieferorthopädische Behandlung in der Fassung vom 04. Juni 2003 und vom 24. September 2003, veröffentlicht im Bundesanzeiger Nr. 226 (S. 24 966) vom 03. Dezember 2003, in Kraft getreten am 1. Januar 2004. Berlin. Abgerufen am 8. März 2025 von <https://www.g-ba.de/downloads/62-492-8/RL-Kieferorthopaedie.pdf>
21. Carter NE (1987) Dentofacial changes in untreated Class II division 1 subjects. *Br J Orthod* 14:225–234
22. Cobourne MT, DiBiase AT, Seehra J, Papageorgiou SN (2022) Should we recommend early overjet reduction to prevent dental trauma? *Br Dent J* 233:387–390
23. Cordato MA (1995) A simple mathematical study of anterior dental relations: Part I. *Aust Orthod J* 13:249–252
24. Dahlberg G Statistical methods for medical and biological students. New York: Interscience Publications; 1940
25. De Ridder L, Aleksieva A, Willems G, Declerck D, Cadenas De Llano-Pérula M (2022) Prevalence of Orthodontic Malocclusions in Healthy Children and Adolescents: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* 19:7446
26. Di Venere D, Rapone B, Corsalini M (2020) Dental trauma in the anterior sector: an analysis of the predisposing factors in a group of orthodontic patients. *Clin Ter* 171:e484–e485
27. Drelich RC (1948) A cephalometric study of untreated Class II, division 1 malocclusion. *Angle Orthod* 18:70–75
28. Elkhadem A (2015) Large overjet may double the risk of dental trauma. *Evid Based Dent* 16:56
29. Field AP (2009) Discovering statistics using SPSS: and sex, drugs and rock 'n' roll. 3rd ed. SAGE Publications, Los Angeles
30. Gilmore WA (1950) Morphology of The Adult Mandible in Class II, Division 1 Malocclusion and in Excellent Occlusion. *Angle Orthod* 20:137–146
31. Glasl B, Ludwig B, Schopf P (2006) Prevalence and development of KIG-relevant symptoms in primary school students from Frankfurt am Main. *J Orofac Orthop* 67:414–423
32. Grainger RM (1967) Orthodontic treatment priority index. *Vital Health Stat* 2:1–49

33. Guo R, Tian Y, Li X, Li W, He D, Sun Y (2023) Facial profile evaluation and prediction of skeletal class II patients during camouflage extraction treatment: a pilot study. *Head Face Med* 19:51
34. Gupta A, Shrestha R (2015) A Review of Orthodontic Indices. *Orthod J Nepal* 4:44
35. Harris JE, Kowalski CJ, Walker GF (1972) Discrimination between normal and class II individuals using Steiner's analysis. *Angle Orthod* 42:212–220
36. Hasund A, Wisth PJ, Bøe OE (1980) Der H-Winkel in der kieferorthopädischen Diagnostik. *J Orofac Orthop* 41:40–46
37. Henry RG (1957) A Classification of Class II, Division I Malocclusion. *Angle Orthod* 27:83–92
38. Hitchcock HP (1973) A cephalometric description of Class II, Division 1 malocclusion. *Am J Orthod* 63:414–423
39. Huang L, Xu Y, Xiao Z, Liu Y, Luo F (2025) Temporomandibular disorder prevalence in malocclusion patients: a meta-analysis. *Head Face Med* 21:13
40. Hunter WS (1967) The vertical dimensions of the face and skeletodental retrognathism. *Am J Orthod* 53:586–595
41. Jacobson A (1988) Update on the Wits Appraisal. *Angle Orthod* 58:205–219
42. Jonas I, Ritter S (1977) Die Auswertung des Zahnmaterials für die Befunderhebung *J Orofac Orthop* 38:272–283
43. Jordan AR, Kuhr K, Frenzel Baudisch N, Kirschneck C (2023) Prevalence of Malocclusions in 8- and 9-Year-Old Children in Germany – Results of the Sixth German Oral Health Study (DMS 6). *J Orofac Orthop* 84:1–9
44. Jordan AR, Kuhr K, Ohm C, Frenzel Baudisch N (2023) Methodology of the Sixth German Oral Health Study (DMS 6) to survey tooth and jaw misalignment. *J Orofac Orthop* 84:10–18
45. Kapoor D, Garg D, Mahajan N, Bansal S, Sawhney A, Kaur J, Tripathi S, Malaviya N (2015) Class II Division 1 in new dimension: role of posterior transverse interarch discrepancy in Class II Division 1 malocclusion during the mixed dentition period. *J Clin Diagn Res* 9(7):ZC72–ZC75
46. Karlsen AT (1994) Craniofacial morphology in children with Angle Class II-1 malocclusion with and without deepbite. *Angle Orthod* 64:437–446
47. Kielczykowski M, Perkowski K, Kamiński K, Zadurska M, Czochorowska E (2024) Evaluation of the soft tissue facial profile in different skeletal malocclusions in relation to age. *BMC Oral Health* 24:711
48. Kinzinger GSM, Hourfar J, Lisson JA (2024) Prevalence of KIG-grades 3–5 in an orthodontic practice in North Rhine Westphalia compared with results of the DMS•6 and with KZBV data. *Head Face Med* 20:3
49. Kinzinger GSM, Hourfar J, Lisson JA (2024) Prevalence of malocclusions requiring treatment according to the KIG classification: a multipart cross-sectional study over a 20-

- year period in the district of Viersen/North Rhine. *J Orofac Orthop* 85:10.1007/s00056-024-00518-1
50. Kreisel EA (1965) Die dorsale Zwischenkieferbegrenzung in ihrer Beziehung zur kieferorthopädischen Diagnostik. *J Orofac Orthop* 26:409–416
 51. Leck R, Paul N, Rolland S, Birnie D (2022) The consequences of living with a severe malocclusion: a review of the literature. *J Orthod* 49:228–239
 52. Ling HTB, Sum FHKMH, Zhang L, Yeung CPW, Li KY, Wong HM, Yang Y (2018) The association between nutritive, non-nutritive sucking habits and primary dental occlusion. *BMC Oral Health* 18:145
 53. Lundström A (1955) Intermaxillary tooth width ratio and tooth alignment and occlusion. *Acta Odontol Scand* 12:265–292
 54. McNamara JA (1981) Components of Class II malocclusion in children 8–10 years of age. *Angle Orthod* 51:177–202
 55. McNamara JA, Peterson JE Jr, Alexander RG (1996) Three-dimensional diagnosis and management of class II malocclusion in the mixed dentition. *Semin Orthod* 2:114–137
 56. Mehta D, Swaminarayan D, Patel N, Arsheed NAA, Rai NP, Fakhra I (2024) Assessment of Condylar Position and Its Association with Unilateral TMD in Patients with Angle's Class I, II, and III Malocclusions Using CBCT. *J Pharm Bioallied Sci* 16:S3973–S3975
 57. Miethke R-R, Lemke U (2004) Eine Angle-Klasse II,1 ist am häufigsten durch eine mandibuläre Retrognathie bedingt. *Kieferorthop* 18:45–54
 58. Mühlberg G, Nedelko U, Weiskopf J (1969) Zur kritischen Bewertung des Pontschen Indexes unter Berücksichtigung des Einflusses der mesio-distalen Distanz der Seitenzahngruppe. Biologisch-statistische Untersuchungen an 417 eugnathen Gebissen. *Dtsch Stomatol* 19:775–783
 59. Nötzel F, Schultz C (2001) Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis. 1. Auflage. Köln, München: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV-Hanser
 60. Pancherz H, Zieber K, Hoyer B (1997) Cephalometric characteristics of Class II division 1 and Class II division 2 malocclusions: a comparative study in children. *Angle Orthod* 67:111–120
 61. Petti S (2015) Over two hundred million injuries to anterior teeth attributable to large overjet: a meta-analysis. *Dent Traumatol* 31:1–8
 62. Pietrzak P (2012) Environmental aetiology of malocclusions: review of the literature. *Dent Med Probl* 49:588–594
 63. Pont A (1909) Der Zahn-Index in der Orthodontie. *Zahnärztl Orthop* 3:306–321
 64. Ramos DSP, de Lima EM (2005) A longitudinal evaluation of the skeletal profile of treated and untreated skeletal Class II individuals. *Angle Orthod* 75:47–53
 65. Rath S, Gilani R, Kamble R, Bhandwalkar S (2022) Temporomandibular joint disorder and airway in class II malocclusion: a review. *Cureus* 14(10):e30515

66. Richard A (1939) The etiology of Angle Class II, Division 1 Malocclusion. *The Angle Orthodontist* 9:15–26
67. Richmond S, Shaw WC, O'Brien KD, Buchanan IB, Jones R, Stephens CD, Roberts CT, Andrews M (1992) The development of the PAR Index (Peer Assessment Rating): reliability and validity. *Eur J Orthod* 14:125–139
68. Riedel RA (1952) The relation of maxillary structures to cranium in malocclusion and in normal occlusion. *Angle Orthod* 22:142–145
69. Rosenblum RE (1995) Class II malocclusion: mandibular retrusion or maxillary protrusion? *Angle Orthod* 65:49–62
70. Sander FG, Schwenzer N, Ehrenfeld M (2011) *Kieferorthopädie. 2., neu erstellte und erweiterte Auflage.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag
71. Santori F, Masedu F, Ciavarella D, Staderini E, Chimenti C, Tepedino M (2021) Effect of Class II functional treatment on facial attractiveness, as perceived by professionals and laypeople. *Sci Rep* 11:13989
72. Schatz J-P, Ostini E, Hakeberg M, Kiliaridis S (2020) Large overjet as a risk factor of traumatic dental injuries: a prospective longitudinal study. *Prog Orthod* 21:41
73. Schopf P (2001) *Die kieferorthopädischen Indikationsgruppen. 2. Auflage.* Augsburg: Proll Druck und Verlag
74. Schopf P (2008) *Curriculum Kieferorthopädie. Band I: Schädel- und Gebissentwicklung – Prophylaxe – Kieferorthopädische Diagnostik – Herausnehmbare Behandlungsgeräte. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage.* Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH
75. Schopf P (2008) *Curriculum Kieferorthopädie. Band II: Werkstoffe – Festsitzende Apparaturen – Kieferorthopädische Therapie – Interdisziplinäre Aspekte. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage.* Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH
76. Schuster G (1999) The tooth-width relation of the incisors in closed bite. *J Orofac Orthop* 60:87–94
77. Segner D, Hasund A (2003) *Individualisierte Kephallometrie. 4., unveränd. Aufl edition.* Segner, Hamburg
78. Stifter J (1958) A study of Pont's, Howes', Rees', Neff's and Bolton's analyses on class I adult dentitions. *Angle Orthod* 28:215–225
79. Tonn P (1937) *Über die mesio-distalen Zahnbreiten-Relationen der Zähne des Oberkiefers zu den entsprechenden des Unterkiefers bei normaler und anormaler Okklusion.* Dissertation, Universität Berlin
80. Turner S, Natrass C, Sandy JR (1997) The role of soft tissues in the aetiology of malocclusion. *Dent Update* 24:209–214
81. Uetanabaro LC, Gerber JT, Dos Santos KM, Meger MN, Da Costa DJ, Küchler EC, Sebastiani AM, Scariot R (2022) Prevalence and associated factors of myofascial pain in orthognathic patients with skeletal class II malocclusion. *Oral Maxillofac Surg* 27:25–31
82. Walker GF, Kowalski CJ (1971) The Distribution of the ANB Angle in "Normal" Individuals. *Angle Orthod* 41:332–335

83. Weise W, Benthake F (1965) Die heutige Bedeutung der Zahnbogensollwerte für die kieferorthopädische Behandlung. Nachuntersuchung an 373 kieferorthopädisch behandelten Gebissen. Zahnärztl Welt 66:700–705
84. Wichelhaus A (2013) Kieferorthopädie – Therapie, Band I: Grundlegende Behandlungskonzepte. Farbatlanten der Zahnmedizin. 1. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
85. Zamora N, Cibrian R, Gandia JL, Paredes V (2013) Study between ANB angle and Wits appraisal in cone beam computed tomography (CBCT). Med Oral Patol Oral Cir Bucal 18:e725–e732

7 Publikation / Danksagung

7.1 Publikation

Lialiampis S, Lisson JA, Hourfar J, Kinzinger GSM (2025) Dentoskelettale Symptomatik von kieferorthopädischen Patienten mit den KIG-Einzelanomalien D4 und D5 – Sagittale und vertikale Befunde am Fernröntgenseitenbild. (in Vorbereitung)

Kinzinger GSM, Lialiampis S, Hourfar J, Lisson JA (2025) Dentoskelettale Symptomatik von kieferorthopädischen Patienten mit den KIG-Einzelanomalien D4 und D5 – Sagittale, vertikale und transversale Befunde durch Modellanalyse. (in Vorbereitung)

7.2 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen meinen herzlichen Dank aussprechen, die mich im Rahmen dieser Dissertation unterstützt haben.

Zunächst möchte ich Herrn Prof. Dr. Jörg Lisson meinen ausdrücklichen Dank für die Möglichkeit aussprechen, meine Dissertation an der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes in Homburg anfertigen zu dürfen.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Gero Kinzinger, für die Überlassung des Themas sowie die engagierte und fachlich exzellente Betreuung während der gesamten Promotionsphase.

Für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung sowie für seine wertvollen Anregungen bedanke ich mich bei Herrn PD Dr. Jan Hourfar.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Ansgar Schroeder und Frau Dr. Nora Heinemann für ihre wertvolle Unterstützung, ihre Geduld und ihren stets hilfreichen Rat während meiner Weiterbildung.

Nicht zuletzt gilt mein herzlicher Dank meinen Eltern, meinem Bruder und meinen Freunden, die mich während meines Studiums und der Promotionszeit mit ihrem Zuspruch, ihrer Geduld und ihrer stetigen Unterstützung begleitet haben.

8 Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.