

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Abweichungen in der vertikalen Dimension und ihre Diagnose durch klinische
Inspektion im Vergleich zur Auswertung von Fernröntgenseitenbildern
- eine retrospektive Studie

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Caren Isabelle Petersen
aus Köln

Mainz, 2023

Tag der Promotion:

15.03.2023

Für meine Eltern und Geschwister

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Literaturdiskussion	3
2.1 Fernröntgenseitenbild (FRS)	3
2.2 Klinische Inspektion und Fotoanalyse	8
2.3 Vertikale Dimension	9
3 Material und Methoden	36
3.1 Patientengut	36
3.2 Auswertung der Fotografien durch klinische Bewertung	37
3.3 Auswertung der Fernröntgenseitenbilder	38
4 Ergebnisse	45
4.1 Fotobewertung	45
4.2 FRS-Analyse	47
5 Diskussion	62
5.1 Diskussion der Fragestellung	62
5.2 Diskussion von Material und Methode	62
5.3 Diskussion der Ergebnisse	65
5.4 Ausblick	77
6 Zusammenfassung	78
7 Literaturverzeichnis	80
8 Anhang	90
8.1 Faktorladungen der FRS-Parameter auf die Hauptkomponenten	90
8.2 Boxplots der Hauptkomponentenanalyse, gruppiert nach den Fotobewertungen	92
8.3 Pearson-Korrelationskoeffizienten der FRS-Parameter	94
8.4 Bias und Limits of Agreement der FRS-Parameter	95
Danksagung	96
Lebenslauf	97

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
Ar	Articulare
Ba	Basion
DC	DC-Punkt
et al.	und Kollegen
FFH	Frankfurter Horizontale
FHR	facial height ratio
FRS	Fernröntgenseitenbild
Gnk	Gnathion
Go	Gonion
Go1	oberer Gonionwinkel
Go2	unterer Gonionwinkel
Me	Menton
ML	Mandibularplanum
MP	Mandibularplanum
N	Nasion
NL	Spinaplanum
NSL	Nasion-Sella-Ebene
Occl	Okklusionsebene
OP	Okklusalplanum, Okklusionsebene
Or	Orbitale
Pm	Protuberantia menti
Po	Porion
PP	Palatinalplanum, Spinaplanum
Pt	Pterygoid
S	Sella
SD	Standardabweichung
Spa	Spina nasalis anterior
Spp	Spina nasalis posterior
Xi	Xi-Punkt
Zyl	linkes Zygion
Zyr	rechtes Zygion

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Intra- und Inter-Rater-Abweichungen der Festlegung des kephalometrischen Referenzpunktes Nasion nach Stabrun und Danielsen (47) ..6	
Tabelle 2: Terminologie der vertikalen Wachstumskategorie	13
Tabelle 3: FRS-Parameter	41
Tabelle 4: Die fünf Wachstumskategorien der vertikalen Dimension	42
Tabelle 5: Grenzen der Kategorisierung des Parameters Unterer Okklusionswinkel	43
Tabelle 6: Einteilung von 18 der 21 FRS-Parameter in Gruppen entsprechend ihrer Bezugsebenen beziehungsweise Hauptmerkmale	44
Tabelle 7: Zuordnung der gemittelten Kategoriewerte zu zusammengefassten Kategorien.....	44
Tabelle 8: Gewichtsmatrix Intrarater Agreement Fotobewertung.....	46
Tabelle 9: Intrarater Agreement Fotobewertung	46
Tabelle 10: Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) - Anteil der Varianz zwischen den Patienten an der Gesamtvarianz in absoluten Zahlen	48
Tabelle 11: Pearson-Korrelationskoeffizienten Parameter Unterer Gonionwinkel (Go2).....	49
Tabelle 12: Pearson-Korrelationskoeffizienten Parameter Occl-NSL-Winkel	51
Tabelle 13: Pearson-Korrelationskoeffizienten Parameter Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	52
Tabelle 14: FRS-Parameter der 3 Cluster.....	57
Tabelle 15: Clusterbildung und Kategorisierung der Patienten durch das ungewichtete Mittel der FRS-Parameter im Vergleich	59
Tabelle 16: Clusterbildung und Kategorisierung der Patienten durch das gewichtete Mittel der FRS-Parameter im Vergleich	60
Tabelle 17: Clusterbildung und Kategorisierung der Patienten durch Fotobewertung im Vergleich	60
Tabelle 18: FRS-Parameter der Clusteranalyse	73
Tabelle 19: Einteilung der FRS-Parameter in Gruppen entsprechend ihrer Bezugsebenen beziehungsweise Hauptmerkmale	75
Tabelle 20: Faktorladungen der FRS-Parameter auf die Hauptkomponenten 1-4.....	90
Tabelle 21: Faktorladungen der FRS-Parameter auf die Hauptkomponenten 5-9.....	91
Tabelle 22: Pearson-Korrelationskoeffizienten der FRS-Parameter	94

Tabelle 23: Übersicht über Bias und Limits of Agreement der FRS-Parameter.....	95
--	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kephalometrische Referenzpunkte	7
Abbildung 2: Leonardo Da Vincis und Albrecht Dürers Grundsätze für ein gut proportioniertes Gesicht in der Frontalansicht nach Vegter und Hage	11
Abbildung 3: Fazialachsenwinkel	16
Abbildung 4: Y-Achsen-Winkel.....	17
Abbildung 5: NL-NSL-Winkel	18
Abbildung 6: Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	19
Abbildung 7: Occl-NSL-Winkel	20
Abbildung 8: Oberer Okklusionswinkel	21
Abbildung 9: Unterkieferebenenwinkel.....	22
Abbildung 10: Untere Gesichtshöhe nach Ricketts	23
Abbildung 11: Summenwinkel	24
Abbildung 12: Unterer Gonionwinkel (Go2)	24
Abbildung 13: Basiswinkel	25
Abbildung 14: ML-NSL-Winkel	26
Abbildung 15: Unterer Okklusionswinkel.....	27
Abbildung 16: Index für die vordere Gesichtshöhe	28
Abbildung 17: Gesichtshöhenverhältnis	30
Abbildung 18: Unterkieferbogenwinkel.....	31
Abbildung 19: Gonialwinkel.....	32
Abbildung 20: Sattelwinkel	33
Abbildung 21: Artikularwinkel	34
Abbildung 22: Oberer Gonionwinkel (Go1)	35
Abbildung 23: Altersverteilung der Patienten	37
Abbildung 24: Scatterplot Matrix Parameter Unterer Gonionwinkel (Go2).....	49
Abbildung 25: Bland-Altman Plots Parameter Unterer Gonionwinkel (Go2)	50
Abbildung 26 Scatterplot Matrix Parameter Occl-NSL-Winkel	51
Abbildung 27: Bland-Altman Plots Parameter Occl-NSL-Winkel	52
Abbildung 28: Scatterplot Matrix Parameter Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	53
Abbildung 29: Bland-Altman Plots Parameter Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	53

Abbildung 30: Scree Plot zur Hauptkomponentenanalyse	54
Abbildung 31 Darstellung der Hauptkomponente 1 als Boxplot.....	55
Abbildung 32: Heatmap mit Dendrogrammen	58
Abbildung 33: FRS-Parameter Gesichtshöhenverhältnis (FHR), Unterer Gonionwinkel (Go2), ML-NSL-Winkel und Unterkieferebenenwinkel als Boxplots.....	74
Abbildung 34: Visualisierung der Cluster mittels der ersten beiden Hauptkomponenten.....	76
Abbildung 35: Boxplot der Hauptkomponente 2.....	92
Abbildung 36: Boxplot der Hauptkomponente 3.....	92
Abbildung 37: Boxplot der Hauptkomponente 4.....	93
Abbildung 38: Boxplot der Hauptkomponente 5.....	93

1 Einleitung

Zur Diagnostik von Abweichungen der vertikalen Dimension in der Kieferorthopädie stehen viele Verfahren zur Verfügung. Beispiele sind die klinische Inspektion, die Fotoanalyse, kraniometrische Messungen und die Aufnahme und Auswertung von Fernröntgenseitenbildern (FRS) (1-11). Durch diese Verfahren werden die Patienten entsprechend ihrer Abweichungen der vertikalen Dimension in Wachstumskategorien eingeteilt (7, 12). In der vorliegenden Arbeit werden die fünf Wachstumskategorien vertikal, neutral mit vertikaler Tendenz, neutral, neutral mit horizontaler Tendenz und horizontal verwendet. Diese Kategorisierung ermöglicht eine schnelle Übersicht, ob bei Patienten eine Abweichung in der vertikalen Dimension vorhanden ist und ob diese stark oder wenig ausgeprägt ist. Dies erleichtert Behandlungsplanung und Prognosestellung (7, 13-16). Besonders etabliert für die Einteilung in Wachstumskategorien sind die klinische Inspektion und die Analyse von Fernröntgenseitenbildern (FRS) (2, 3, 15, 17-21). Daher ist das Ziel der vorliegenden Arbeit herauszuarbeiten, ob die Bestimmung der vertikalen Wachstumskategorie anhand von Fernröntgenseitenbildern (FRS) mit der durch klinische Inspektion vergleichbar ist. In dieser retrospektiven Untersuchung wird die klinische Inspektion durch die Bewertung von Profil- und En-Face-Fotos vorgenommen. Für die FRS-Analyse werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit aus der Vielzahl der vorliegenden Parameter zur Bestimmung der vertikalen Dimension 21 Parameter ausgewählt (13, 22). Es wird untersucht, welche Parameter der FRS-Analyse am aussagekräftigsten sind um die Patienten in die fünf Wachstumskategorien einzuteilen. Es soll eine Zusammenstellung von Parametern herausgestellt werden, welche den vertikalen Gesichtsschädelaufbau optimal beschreiben. Die FRS-Analyse wird von zwei Untersucherinnen in zwei randomisierten Durchgängen durchgeführt. Es werden Unterschiede innerhalb der Auswertungen der Untersucherinnen der FRS-Bilder und zwischen den Untersucherinnen dargestellt. Diese Überprüfung des Intra- und Interrater Agreements gewährleistet die Qualität der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung. Die Fotobewertung wird von vier Zahnärzten in zwei randomisierten Durchgängen durchgeführt. Die Ergebnisse der Fotobewerter respektive Bewerter der klinischen Inspektion werden ebenfalls geprüft. Anschließend wird analysiert, ob die Qualität der Kategorisierung

der Patienten durch Fotoanalyse von der Berufserfahrung und dem Ausbildungsstand der Kieferorthopäden abhängig ist.

2 Literaturdiskussion

2.1 Fernröntgenseitenbild (FRS)

Das Fernröntgenseitenbild (FRS) liefert die in dieser Arbeit untersuchten Parameter zur Kategorisierung der vertikalen Dimension (5, 6, 17). Das FRS ist eine Röntgenaufnahme des Schädels im Profil und wurde von Broadbent zur Untersuchung des Wachstums des dentokraniofazialen Komplexes entwickelt (15, 17, 23, 24). Etwa 50 Jahre nach seiner Entwicklung hatte sich das FRS in der Kieferorthopädie etabliert (13, 17). Bis heute zählt das FRS aufgrund seiner verschiedenen Vorteile zur kieferorthopädischen Standarddiagnostik (13, 17). Das FRS erlaubt die Analyse der knöchernen Strukturen des Patienten ohne Ungenauigkeiten durch Weichteilmessungen (24). Anhand des FRS kann eine Differenzierung skelettaler und dentaler Entwicklungen erfolgen (25). Darüber hinaus können Wachstumsveränderungen durch Aufnahmen von FRS zu verschiedenen Zeitpunkten einfach verglichen werden (13). So konnten auch erstmals orthopädische Effekte kieferorthopädischer Therapien nachgewiesen werden, was bis dahin angezweifelt wurde (13, 26). Darüber hinaus ermöglicht das FRS die Vorhersage des Wachstums von Patienten und eine darauf abgestimmte Therapie und Prognose (13). Das FRS liefert also einen großen Beitrag zur Untersuchung und zum Studium des Wachstums und der Entwicklung der Patienten (17, 27). Zusätzlich bietet das FRS gegenüber Modellen und Fotografien andere Möglichkeiten der Kommunikation unter Kollegen (13). So können durch das FRS zuzüglich zum intraoralen Befund die röntgenologische Lage von Zähnen und die Lagebeziehung der Zähne untereinander diskutiert werden (13). Anhand des FRS können die schädelbezügliche Lage und Größe der Kieferbasen bestimmt und diskutiert werden (25). Darüber hinaus liefern die Ergebnisse der FRS-Analyse eine zusätzliche Basis zum fachlichen Austausch (13). Auch die Entwicklung von Patienten während der Behandlung kann anhand der Dokumentation mittels FRS besprochen werden (13). Ricketts formuliert für die Verwendung des FRS die folgenden vier Ziele: eine grundlegende Beschreibung der Schädelstrukturen des Patienten, eine Analyse von normgerechten Wachstumsveränderungen, das Erstellen eines Behandlungsplans und die Beurteilung der Resultate des Wachstums und der Behandlung (14). Diese Ziele werden durch die Erstellung und Auswertung von FRS-

Analysen mit unterschiedlichen FRS-Parametern erreicht (14). Aufgrund der oben aufgeführten Vorteile des FRS bewertet Steiner die FRS-Analyse als wichtiger als die Modellanalyse (17). Ricketts bezeichnet die computerisierte Kephalmetrie als größte Informationsquelle des praktizierenden Kieferorthopäden in der Planung und Durchführung der Behandlung von Patienten bis zum Wachstumsende (15).

2.1.1 Strahlenschutz

Vor der Aufnahme von Fernröntgenseitenbildern ist, wie bei jeder Röntgenaufnahme, eine rechtfertigende Indikation für die Strahlenbelastung durch den Behandler mit Fachkunde im Strahlenschutz zu stellen (28). Zur Reduktion der Strahlenbelastung erfolgen verschiedene Maßnahmen. Die Größe der Röntgenaufnahme wird auf den zu untersuchenden Bereich beschränkt (29). Der Patient wird zusätzlich mit einer Bleischürze geschützt, welche nicht für die Aufnahme relevante Körperteile vor der Strahlenbelastung abschirmt (29). Außerdem ist digitales Röntgen dem konventionellen Röntgen vorzuziehen, da dies eine kürzere Belichtungszeit ermöglicht (30). Der Patient wird zur Sicherstellung der Qualität und Vergleichbarkeit der Aufnahme entsprechend der Frankfurter Horizontale und parallel zum Film beziehungsweise Rezeptor nach der Median-Sagittal-Ebene des Schädels mithilfe eines Kephalmeters positioniert (15, 25). Ein Kephalmeter ist eine Apparatur, in die der Patient sich stellt und die ihn mithilfe von Kopf- und Ohrstützen entsprechend der Frankfurter Horizontale ausrichtet (18, 31). Der Zentralstrahl für die Aufnahme ist durch den Porus acusticus externus ausgerichtet (32). Es werden ein großer Fokus-Film-Abstand beziehungsweise Fokus-Rezeptor-Abstand von 1,5 bis 4 m und ein möglichst geringer Objekt-Film-Abstand beziehungsweise Objekt-Rezeptor-Abstand gewählt (25, 32). Der große Fokus-Film-Abstand beziehungsweise Fokus-Rezeptor-Abstand minimiert Projektionsfehler wie Verzerrungen und Vergrößerungen und ermöglicht eine weitgehend maßstabsgetreue Wiedergabe von Schädel und Gebiss (25, 32, 33). Diese Wahl der Abstände hat auch strahlenschutztechnische Vorteile, da die effektivste Methode des Strahlenschutzes eine Erhöhung des Abstandes zwischen Objekt und Strahlenquelle ist (28). Denn nach dem Abstandsquadratgesetz nimmt die Strahlenintensität mit dem Quadrat der Entfernung von der Strahlenquelle ab (28). Entsprechend der oben genannten Maßnahmen zum Strahlenschutz liegt

die Belastung für Patienten bei der Aufnahme eines Fernröntgenseitenbildes bei ca. 6 Mikrosievert (29).

2.1.2 Kephalometrische Referenzpunkte und Referenzebenen

Faziale Proportionen und Formen wurden schon früh beschrieben (34). Anthropologen führten ab dem 13. Jahrhundert erste kraniofaziale Studien mit Ebenen und Messwerten durch (34). Ihre Messungen erfolgten anhand von Schädeln von Verstorbenen und wurden hauptsächlich von extrakranial durchgeführt (17, 34). Diese geometrische Vermessung der menschlichen Schädelform wird als Kraniometrie bezeichnet (34, 35). Ein prominentes Beispiel für in der Kraniometrie verwendete Ebenen ist die Frankfurter Horizontale (FFH), welche durch von Ihering und Merkel definiert und 1884 auf dem anthropologischen Kongress in Frankfurt als Standard-Horizontale akzeptiert wurde (36, 37). Gewissermaßen hat die Kephalometrie inzwischen die Kraniometrie abgelöst (34). Im Rahmen der Kephalometrie wird anstelle des menschlichen Schädels dessen Fernröntgenseitenbild untersucht (33). Im FRS werden kephalometrische Referenzpunkte bestimmt anhand derer Linien und Ebenen festgelegt werden (25, 33). Diese Linien und Ebenen werden linear und angular ausgewertet (25, 33). Für die Kephalometrie werden Referenzpunkte in der Medianebene des Schädels bevorzugt, da diese weniger verzerrt und deutlicher zu identifizieren sind (17). Kephalometrische Referenzpunkte, welche nicht in der Medianebene des Schädels gelegen sind, müssen durch Mitteln zwischen den Projektionen der rechten und linken Patientenseite lokalisiert werden (17, 38). Steiner benennt dies als größte Fehlerquelle bei der Lokalisation von anatomischen Strukturen (17). So wurden bei Messungen mit der FFH als Referenz mehr Fehler entdeckt als bei der Verwendung der zentral im Schädel gelegenen Schädelbasis (39). Daher wird die Schädelbasis als horizontale Referenzebene im Fernröntgenseitenbild (FRS) bevorzugt (17, 39). Die Schädelbasis wird als Ebene durch die Punkte Nasion und Sella definiert (39). Sie wird auch als Nasion-Sella-Ebene (NSL) bezeichnet (40). Darüber hinaus ist neben der Lage kephalometrischer Referenzpunkte nahe der Medianebene deren gute Identifizierbarkeit von großer Bedeutung (13, 41). Die Genauigkeit der Lokalisation von kephalometrischen Referenzpunkten ist abhängig von dem jeweiligen kephalometrischen Referenzpunkt (42, 43). So variiert der Referenzpunkt Nasi-

on bezüglich seiner Festlegung in geringerem Maß als der Referenzpunkt Basion (44). Neben der Wahl geeigneter kephalometrischer Referenzpunkte haben auch die Erfahrung, das Training und die Aufmerksamkeit des Untersuchers (Rater) Einfluss auf die Genauigkeit der Lokalisation kephalometrischer Referenzpunkte (41, 45, 46). Werden kephalometrische Referenzpunkte durch verschiedene Untersucher (Rater) lokalisiert, so übersteigen die Inter-Rater-Abweichungen meist die Intra-Rater-Abweichungen (41, 47, 48). Diese Intra- und Inter-Rater-Abweichungen sind abhängig vom jeweiligen kephalometrischen Referenzpunkt (47, 48). Begründen lässt sich dies damit, dass jeder Untersucher eine eigene Vorstellung von der Lokalisation und Festlegung kephalometrischer Referenzpunkte hat (47). Minimiert werden können diese Inter-Rater-Abweichungen durch eine Kalibrierung der Untersucher vorab (47). Als Beispiel für die Abweichungen des Intra- und Inter-Rater-Agreements dient die folgende Tabelle 1 mit den Daten von Stabrun und Danielsen zur Festlegung des kephalometrischen Referenzpunktes Nasion (47).

	X-Achse	Y-Achse
Intra-Rater-Abweichungen Rater A	- 0,06 mm	0,03 mm
Intra-Rater-Abweichungen Rater B	0,00 mm	- 0,02 mm
Inter-Rater-Abweichungen Rater A und B	0,250 mm	0,102 mm

Tabelle 1: Intra- und Inter-Rater-Abweichungen der Festlegung des kephalometrischen Referenzpunktes Nasion nach Stabrun und Danielsen (47)

Jedoch sind nicht nur die zentrale oder laterale Lokalisation der Referenzpunkte im Schädel und ihre gute Identifikation zu berücksichtigen (15). Bei der Wahl der Referenzpunkte und -ebenen müssen auch das Wachstum und gegebenenfalls die diesbezügliche Veränderung von Normwerten bedacht werden (15). Die vordere Schädelbasis mit den Referenzpunkten Sella und Nasion ist eine stabile Referenzebene, da das Wachstum des Gehirns früh abgeschlossen ist (15). So ist sie eine gute Referenzebene für Wachstumsmessungen (15). Auch das Spinaplanum stellt eine beliebte Referenzebene dar, allerdings aus anderen Gründen. Denn seine Neigung lässt sich durch die kieferorthopädische Behandlung nicht beeinflussen und ist wachstumsstabil (13, 49). Darüber hinaus ist das Spinaplanum von großer prakti-

scher Bedeutung, da es die kieferorthopädisch direkt beeinflussbaren Anteile des Oberkiefers von den nicht klinisch veränderbaren Anteilen trennt (49).

Die folgende Abbildung 1 stellt die in der vorliegenden Arbeit zur Bestimmung der vertikalen Wachstumskategorie verwendeten kephalometrischen Referenzpunkte dar.

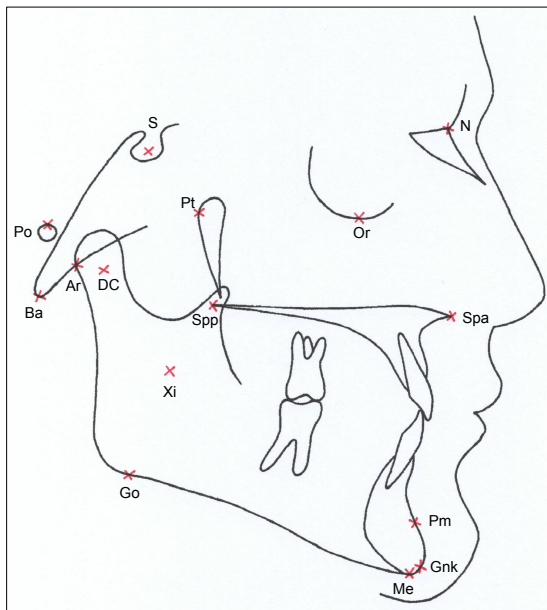


Abbildung 1: Kephalmetrische Referenzpunkte
Diese kephalmetrischen Referenzpunkte werden zur Bestimmung der vertikalen Wachstumskategorie der Patienten anhand des FRS verwendet: Ar: Articulare, Ba: Basion, DC: DC-Punkt, Gn: Gnathion, Go: Gonion, Me: Menton, N: Nasion, Or: Orbitale, Pm: Protuberantia menti, Po: Porion, Pt: Pterygoid, S: Sella, Spa: Spina nasalis anterior, Spp: Spina nasalis posterior, Xi: Xi-Punkt nach Ricketts.

2.1.3 Manuelle und digitale kephalmetrische Analyse

Das Fernröntgenseitenbild (FRS) kann durch den Behandler sowohl manuell als auch digital ausgewertet werden (41, 46, 48, 50). Die manuelle kephalmetrische Analyse wurde zuerst entwickelt (46). Das analoge FRS wird hierzu mithilfe von Acetatfolie und Stift ausgewertet (41). Später wurde die digitale kephalmetrische Analyse eingeführt, welche sich insbesondere bei der Nutzung digitalen Röntgens in Form von Speicherfolien und Rezeptoren anbietet (46). Die Auswertung des FRS erfolgt in diesem Fall mithilfe von Software am Computer per Maus (46). Die manuelle und digitale Auswertung des FRS sind bezüglich ihrer Reproduzierbarkeit vergleichbar (41, 48, 50). So untersuchen Murali et al. anhand von 37 FRS-Parametern die Vergleichbarkeit von manueller und digitaler FRS-Auswertung (41). Sie stellen lediglich bei 7 der untersuchten FRS-Parameter signifikante Abweichungen fest (41). Diese wurden mithilfe des t-Tests bei einem p-Wert von $p < 0,05$ bestimmt und betragen minimal $p = 0,021$ (41). Sayinsu et al. untersuchen die Intra-Rater-Reliabilität

von zwei FRS-Untersuchern, die 30 FRS manuell und digital ausgewertet haben (48). Je FRS-Parameter werden die Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) mit einem 95%-Konfidenzintervall (KI) bestimmt (48). Die ICC betragen $ICC \geq 0,90$ (48). Yu et al. bestimmen ebenfalls die Intra-Rater-Reliabilität von zwei FRS-Untersuchern, welche FRS-Auswertungen digital und manuell vornehmen (50). Für die manuelle FRS-Auswertung wird ein ICC von 0,910 bestimmt (50). Bei der digitalen FRS-Auswertung liegt der ICC bei 0,98 (50). Yu et al. heben hervor, dass die digitalen Möglichkeiten der Bildoptimierung wie die Einstellungsmöglichkeiten von Kontrast und Helligkeit und die Option der Vergrößerung oder Verkleinerung des Röntgenbilds Vorteile haben (50). Hier zeigt sich bei der Festlegung schwieriger Landmarks (zum Beispiel bilateral und daher überlagert) eine bessere Konsistenz der Untersucher im Vergleich zum analogen Verfahren (50). Bei der digitalen Auswertung von Röntgenbildern sind neben den oben bereits genannten technikabhängigen Einflüssen auch die Bildschirmhelligkeit und -auflösung zu berücksichtigen (41, 50). Die Zeitersparnis der kephalometrischen Analyse durch die Nutzung digitalen Röntgens und der digitalen Auswertung des FRS ist hervorzuheben (46, 48, 50). Dies ist hauptsächlich durch die automatisierte Messung von Winkeln und Strecken nach der analogen Identifikation der kephalometrischen Referenzpunkte durch den Behandler bedingt (46, 48, 50). Auch die Platzersparnis durch die wegfallende Lagerung von analogen FRS und deren Auswertungen bleibt zu berücksichtigen (46, 48). Darüber hinaus werden bei der Nutzung digitalen Röntgens Chemikalien eingespart, was einen umweltschonenden Effekt erzielt (48, 50).

Neben der manuellen und digitalen kephalometrischen Analyse durch den Behandler gibt es inzwischen auch Bestrebungen das Festlegen von Landmarks durch Software, ohne menschlichen Faktor, zu realisieren (51, 52). Diese Methode könnte dem Behandler künftig zusätzlich Zeit einsparen, ist derzeit aber bezüglich der Reproduzierbarkeit noch nicht mit den anderen beiden Verfahren vergleichbar (46, 52).

2.2 Klinische Inspektion und Fotoanalyse

Vor der Einführung des Fernröntgenseitenbilds (FRS) diente die klinische Inspektion von Patienten maßgeblich zur Einordnung der schädelbezüglichen Proportionen (1-4). Mittlerweile werden Analysen und Diagnosen meist anhand des FRS erstellt (18).

Die klinische Inspektion wird jedoch weiterhin als geeignete Methode zur Bestimmung der vertikalen Wachstumskategorie von Patienten durch den Behandler bezeichnet (2, 3, 20, 21). Diese Bestimmung der vertikalen Wachstumskategorie kann auch im Rahmen einer Fotoanalyse anhand von Frontal- und Profilfotos der Patienten erfolgen (53). Für die Aufnahme der Profilfotos wird der Patient nach der Frankfurter Horizontalen (FFH) ausgerichtet (20, 53-55). Hierfür kann wie bei der Aufnahme des FRS ein Kephalometer verwendet werden (18, 31). Bei Frontalfotos sollte die Bipupillarlinie horizontal ausgerichtet sein (56). Diese dient bei der frontalen Fotoanalyse als horizontale Vergleichsebene (18). Der Beobachter respektive die Kamera ist für beide Aufnahmen auf Augenhöhe des Patienten lokalisiert (54, 56, 57). Es wird ein fester Abstand zwischen Patient und Kamera definiert, um bei regelmäßigen Fotografien einheitliche Maßstäbe zu gewährleisten (56). Um das Weichteilprofil optimal zu erfassen ist ein schlichter Hintergrund zu wählen, zum Beispiel in weiß oder dunkelblau (56). Stirn, Hals und Ohren des Patienten sollen gut sichtbar sein, Brillen sollten vorher abgelegt werden (56, 57). Mitunter kann das Weichteilprofil die Diagnose von knöchernen Abweichungen der Wachstumskategorie kaschieren (10). Darüber hinaus sind Weichteilpunkte nicht so klar definierbar wie knöcherne Referenzpunkte (55). Allerdings gibt die Fotografie die Weichteile detaillierter wieder als das FRS (58). Die klinische Inspektion wird meist nicht als alleinige Untersuchungsmethode verwendet (59). Dennoch ist die Fotoanalyse respektive klinische Inspektion wichtig für die Diagnostik (60). So kann sie ästhetische Defizite skelettalen Ursprungs aufdecken, die durch FRS und Modelle nicht zu erkennen sind und so deren Behandlung ermöglichen (60).

2.3 Vertikale Dimension

2.3.1 Schönheitsempfinden und Ästhetik im Lauf der Geschichte

Bereits vor 4000 Jahren wurden in Ägypten die Gesetzmäßigkeiten menschlicher Schönheit durch Körpermessungen untersucht (61, 62). In der griechischen Antike wurden später mathematische Gesetze wie Pi und Phi aufgestellt, um Symmetrie und Ästhetik zu erzeugen (62). Gesetzmäßigkeiten wie Phi, auch der goldene Schnitt genannt, beeinflussen auch die Vorstellung fazialer Ästhetik (62). Der goldene

ne Schnitt beschreibt das Verhältnis zweier Segmente von 1:1,618 beziehungsweise von 1:0,618 als ästhetisch und harmonisch (53). Dass die Vorstellung fazialer Ästhetik jedoch dem Zeitgeist unterliegt und dynamisch ist zeigt sich unter anderem an Exponaten antiker Kunst (63). Skulpturen griechischer Künstler weisen einen überdurchschnittlich großen Fazialachsenwinkel von ca. 100° auf, was auf das damalige Schönheitsideal schließen lässt (63, 64). Der Normwert des Fazialachsenwinkels liegt heutzutage bei $90 \pm 3,0^\circ$ (14, 15, 63). Jedoch haben die Werke der griechischen Antike das Verständnis von Symmetrie, Harmonie und Ästhetik geprägt (62, 64). So beeinflussen sie auch Künstler der Renaissance, welche sich mit dem kraniofazialen Aufbau beschäftigen (34, 62). Leonardo Da Vinci untersucht in seinen Arbeiten menschliche Proportionen (61). Er legt sowohl Grundsätze für die Proportionen des Körpers als auch für die des Gesichts fest (61). Da Vinci formuliert folgende, in Abbildung 2 dargestellte, Grundsätze für ein gut proportioniertes Gesicht in der frontalen Ansicht: Die Abstände von Submentalpunkt zu Subnasalpunkt (x), von Subnasalpunkt zu Augenbrauen (x) und von Augenbrauen zu Trichion (x) sind alle äquivalent (61, 62, 65). Darüber hinaus segmentiert Leonardo Da Vinci das Gesichtsprprofil mithilfe horizontaler Linien (63). Die oberste und unterste Linie orientieren sich am kranialsten und kaudalsten Punkt des Gesichtsschädels (63). Die zweitoberste Linie verläuft entlang des Weichteilpunktes Nasion und des kranialen Randes der Ohrmuschel (63). Die drittoberste Linie verläuft entlang des Subnasalpunktes und des kaudalsten Randes der äußeren Ohrmuschel (63). Auch Albrecht Dürer legt Grundsätze für die Proportionen des idealen menschlichen Gesichts fest (34, 61), welche ebenfalls in Abbildung 2 dargestellt sind. Diese Grundsätze sollen ihn dabei leiten in seinen Werken das optimale Ergebnis menschlicher Schönheit zu erzielen (61). Darüber hinaus sind sie als Anleitung für andere Künstler gedacht (61). Dürer stimmt mit Da Vinci überein, dass man das frontale Gesicht mittels Hilfslinien in die drei äquivalenten Bereiche der Stirn, der Nase und der Kinnpartie untergliedern kann (61). Den letzten Bereich unterteilt er weiterhin (61). So legt er fest, dass man das Segment zwischen Submentalpunkt und Subnasalpunkt (x) in zwei gleich große Segmente (y) einteilen kann (61). Das obere Segment (y), welches durch Subnasalpunkt und Supramentalfalte begrenzt wird, unterteilt Dürer zusätzlich durch eine horizontale Linie auf Höhe der Lippenschlusslinie in zwei gleich große Teile (z) (61).

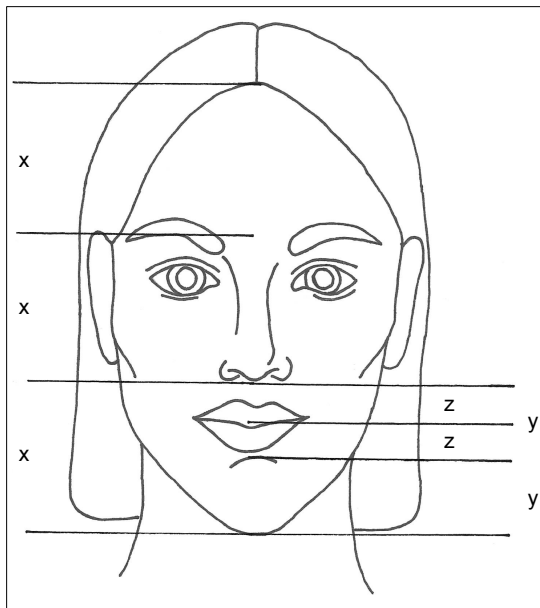


Abbildung 2: Leonardo Da Vincis und Albrecht Dürers Grundsätze für ein gut proportioniertes Gesicht in der Frontalansicht nach Vegter und Hagen. Nach Leonardo Da Vinci sind die Abstände von Submentalpunkt zu Subnasalpunkt (x), von Subnasalpunkt zu Augenbrauen (x) und von Augenbrauen zu Trichion alle äquivalent (x). Nach Dürer kann man das Segment zwischen Submentalpunkt und Subnasalpunkt (x) in zwei gleich große Segmente einteilen (y). Das obere Segment (y), welches durch Subnasalpunkt und Supramentalfalte begrenzt wird, unterteilt Dürer zusätzlich durch eine horizontale Linie auf Höhe der Lippenschlusslinie in zwei gleich große Teile (z) (61, 62, 65).

Die Grundsätze der Renaissance werden von heutigen Künstlern nicht strikt befolgt (65). Hervorzuheben ist, dass sie als Grundsätze für Künstler erdacht wurden, nicht als Beschreibung der durchschnittlichen menschlichen Erscheinungsform (65). Die Grundsätze weisen überdies keine Unterscheidung zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht auf (65). Laut Ricketts ist eine klare Einteilung von Patienten in ästhetische Kategorien anhand der Gleichmäßigkeit und angemessener Proportionen ihres Gesichts schwierig, da passende Kategorien fehlen (66). Allerdings gelte weiterhin ein fazialer Aufbau, dessen Segmente dem Goldenen Schnitt entsprechen, als ästhetisch (53).

Faziale Schönheit wird aus vielen Perspektiven untersucht (61-64). Hierbei ist ein zentrales Ziel die Kategorisierung von Attraktivität anhand rigider, übertragbarer Parameter (34, 61-65). Es wird jedoch deutlich, dass Schönheit und Harmonie nicht zwingend mit diesen rigiden Parametern messbar sind (62). Dennoch stellt eine normgerechte vertikale Dimension des Gesichts eine wichtige Voraussetzung für faziale Balance und Ästhetik dar (58, 67). So bergen Abweichungen der vertikalen Dimension größere ästhetische Defizite als Abweichungen der sagittalen Dimension (67). Es bedarf einer breit gefächerten Diagnostik und individuellen Analyse, um für jeden Patienten das optimale ästhetische Ergebnis zu erzielen und Fehler zu minimieren (64).

2.3.2 Bedeutung der vertikalen Dimension

Abweichungen in der vertikalen Dimension beschreiben nicht nur den aktuellen fazialen Aufbau sondern können auch zur Prognose des Wachstums dienen (15, 16). So übersteigt bei normgerechtem Wachstum die vertikale Komponente das sagittale Wachstum um das zwei- bis dreifache (7). Somit ermöglicht eine Bestimmung der vertikalen Wachstumskategorie eine individualisierte Therapieplanung und beeinflusst die Erwartungshaltung von Patient und Behandler (2, 14). Denn nach Schudy stellen Abweichungen in der vertikalen Dimension und das damit verbundene Wachstum den Behandler vor die größten Herausforderungen (27). So ist bei dem Vorliegen einer vertikalen Wachstumskategorie die Entwicklung eines offenen Bisses sehr wahrscheinlich und die Therapie dessen entsprechend erschwert (6, 15). Bei dem Vorliegen einer horizontalen Wachstumskategorie muss hingegen mit der Entwicklung eines tiefen Bisses gerechnet werden (6, 15). Dies und die Unterscheidung zwischen zu erwartendem starken oder gemäßigten Wachstum wirken sich auf die Planung und Terminierung kieferorthopädischer Therapien und auf chirurgische Eingriffe aus (2, 14, 68).

2.3.3 Wachstumskategorien

Die Einteilung von Patienten in Wachstumskategorien erfolgt meist über unterschiedliche im Fernröntgenseitenbild (FRS) erhobene Parameter (5, 6). Dementsprechend ist die Einteilung in Wachstumskategorien in ihrer Qualität abhängig von der Zusammenstellung der Parameter (5, 6). Unterschiedliche FRS-Analysen können also zu unterschiedlichen Einteilungen führen (5, 6).

In der vorliegenden Arbeit werden die fünf Wachstumskategorien vertikal, neutral mit vertikaler Tendenz, neutral, neutral mit horizontaler Tendenz und horizontal betrachtet. Diese werden anhand der Normwerte und Standardabweichungen der Parameter festgelegt (14). Bei wachstumsabhängigen Werten werden die Normwerte entsprechend des Alters der Patienten zum Zeitpunkt der Aufnahme des Fernröntgenseitenbildes angepasst (13, 14).

2.3.3.1 Terminologie

Für die Beschreibung der Wachstumskategorien liefert die Literatur neben der oben aufgeführten und verwendeten Terminologie noch andere Einteilungen (6, 8). Die Bezeichnungen der vertikalen Wachstumskategorien sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Autor	Einteilungsmerkmal	Bezeichnung vertikale Wachstumskategorie	Bezeichnung horizontale Wachstumskategorie
Nanda (6)	Vordere Gesichtshöhe	vertikal	horizontal
Ricketts (14, 66)	Kondylenwachstum, Gesichtstiefe (anteroposterior)	dolichofazial	brachyfazial
Retzius (8)	Fazialer Index	leptoprosopisch	europrosopisch
Schudy (7)	ML-NSL-Winkel	hyperdivergent	hypodivergent
Jarabak (23)	Unterkieferrotation rechtes Profil	clockwise	counterclockwise

Tabelle 2: Terminologie der vertikalen Wachstumskategorie

Der Begriff vertikal beschreibt lediglich die vertikalen Proportionen des Schädels, es werden keine Aussagen über andere Verhältnisse wie die sagittale Dimension getroffen (6, 69, 70). Es wird ausschließlich die vordere Gesichtshöhe betrachtet (6, 69). So kann beispielsweise die vertikale Dimension mittels der Messung der vorderen Gesichtshöhe (Strecke Nasion-Menton) erfasst werden, da hierbei die vertikale Dimension anhand der wesentlichen Einflussgrößen Maxilla und Mandibula betrachtet wird (6, 69). Ein relativer Überschuss der unteren Gesichtshöhe (Strecke Spina-Menton) im Verhältnis zur gesamten vorderen Gesichtshöhe wird als vertikale Wachstumskategorie bezeichnet (6). Hingegen zeigt ein relativer Überschuss der oberen Gesichtshöhe (Strecke Nasion-Spa) eine horizontale Wachstumskategorie auf (6). Die vertikale Wachstumskategorie ist meist mit einem skelettal offenen Biss vergesellschaftet, die horizontale Wachstumskategorie hingegen weist meist einen skelettal tiefen Biss auf (6, 71). Nanda bevorzugt die Bezeichnungen vertikal und horizontal, da sie nicht auf Ursachen eingehen, denn der Ursprung einer Abweichung in der vertikalen Dimension kann multilokulär sein und sollte durch weitere Diagnostik individuell untersucht werden (6).

Ricketts unterteilt die Patienten in drei verschiedene „Gesichtstypen“ anstatt in Wachstumskategorien: mesiofazial, brachyfazial und dolichofazial (14, 66). Hierbei

entspricht der mesiofaziale Gesichtstyp der Norm (14). Hinzu kommen der brachyfaziale Gesichtstyp, der einer horizontalen Wachstumskategorie entspricht und der dolichofaziale Gesichtstyp mit verstärkt vertikaler Wachstumskomponente (14, 66). Ursprünglich stammen die von Ricketts in der Kieferorthopädie eingeführten Begriffe mesio-, brachy- und dolichofazial aus der Anthropologie (8, 72). Sie gehen auf den Anatomen Anders Retzius zurück, welcher die Schädelkalotte von extrakranial vermaß und das Verhältnis der maximalen Länge des Schädels zur maximalen Breite des Schädels untersuchte und dementsprechend Individuen nach besonders kurzer oder langer Schädelhöhe einteilte (7, 8). Die fehlende numerische Kategorisierung, die Bezeichnung und die Festlegung eines Normwertes erfolgten später durch den Kranialen Index (8). Dieser wird durch folgenden Quotienten bestimmt: $\text{Kranialer Index} = (\text{Maximale Schädelbreite} * 100) / \text{Maximale Schädelhöhe}$ (8). Hierbei beschreibt ein kleiner Wert des Index das dolichofaziale Kollektiv, ein großer Wert hingegen beschreibt eine brachyfaziale Wachstumskategorie (8). Ricketts hingegen, welcher die Begriffe mesiofazial, brachyfazial und dolichofazial in der Kieferorthopädie einführt, beschreibt mit ihnen die vertikale Dimension des facialen Gesichtsschädelaufbaus und nicht die Maße der Schädelkalotte (66). So beschreibt Ricketts ein Kondylenwachstum nach kranial und anterior verbunden mit einer verhältnismäßig verstärkten Gesichtstiefe (anteroposterior) als brachyfazial (66). Hingegen deuten ein Kondylenwachstum nach kranial und posterior verbunden mit einer verhältnismäßig verstärkten Gesichtslänge (kraniokaudal) nach Ricketts auf eine dolichofaziale Tendenz hin (66). Ricketts betrachtet mit diesen Begriffen also sowohl die vertikale als auch die sagittale Dimension (66).

Aus dem oben beschriebenen Kranialen Index entwickelte sich später der Faziale Index mit den zugehörigen Begriffen leptoprosopisch, mesoprosopisch und europrosopisch (8). Der Faziale Index beschreibt das Verhältnis von facialer Höhe zu facialer Breite (8). Die faciale Höhe ist hierbei als Strecke von Nasion zu Gnathion (N-Gnk) definiert (8). Die faciale Breite wird durch die Strecke zwischen dem rechten und linken Zygion (Zyr-Zyl) bestimmt (8). Das Zygion ist als der lateralste Punkt des Arcus zygomaticus definiert (73). Dementsprechend wird der Faziale Index wie folgt beschrieben: $\text{Fazialer Index} = [\text{Faziale Höhe (N-Gnk)} * 100] / \text{Faziale Breite (Zyr-Zyl)}$ (8). Ein großer Wert des Fazialen Index beschreibt einen leptoprosopischen Gesichtsaufbau, also eine vertikale Wachstumskategorie (8). Dementsprechend zeigt ein normgerechter Wert einen mesoprosopischen Gesichtsschädelaufbau auf, wel-

cher der neutralen Wachstumskategorie entspricht (8). Ein kleiner Wert hingegen beschreibt einen europrosopischen, also horizontalen, Gesichtsschädelaufbau (8). Die Begriffe leptoprosopisch, mesoprosopisch und europrosopisch werden auch in anderen biologischen Fachbereichen wie der Genetik und Anthropologie verwendet (8).

Schudy hat andere Präferenzen bezüglich der Fachterminologie (7). So bevorzugt er die Begriffe hypo- und hyperdivergent (7). Diese Begriffe beziehen sich auf den ML-NSL-Winkel, welcher durch den Schnittpunkt des Mandibularplanums mit der Nasion-Sella-Ebene gebildet wird (7). Somit beschreiben sie vorrangig die Rotation der Mandibula und mit ihr sowohl Abweichungen in der sagittalen als auch in der vertikalen Dimension (7). Der Begriff hyperdivergent ist mit der vertikalen Wachstumskategorie gleichzusetzen (6, 7, 74). Hingegen entspricht der Begriff hypodivergent der horizontalen Wachstumskategorie (6, 7, 74).

Ebenfalls verwendet werden die Begriffe clockwise und counterclockwise (7). Diese Begriffe beschreiben die Wachstumskategorie von Patienten bezogen auf die Ansicht des rechten Profils der Patienten (7). Eine Rotation des Unterkiefers in der Richtung clockwise beschreibt hierbei ein vertikales Wachstum, das im Vergleich zum horizontalen Wachstum exzessiv ist (7). Darüber hinaus ist bei einer Rotation des Unterkiefers in der Richtung clockwise von einem geringen vertikalen Überbiss beziehungsweise von einer Tendenz zum offenen Biss auszugehen (7). Außerdem ist in diesem Fall die vordere Gesichtshöhe relativ zur hinteren Gesichtshöhe vergrößert (23). Eine Rotation des Unterkiefers in der Richtung counterclockwise beschreibt hingegen ein defizitäres vertikales Wachstum im Vergleich zum horizontalen Wachstum (7). Des Weiteren ist bei einer Rotation des Unterkiefers in der Richtung counterclockwise von einem vergrößerten vertikalen Überbiss beziehungsweise von einer Tendenz zum tiefen Biss auszugehen (7). Zusätzlich ist bei einer Rotation des Unterkiefers in der Richtung counterclockwise die hintere Gesichtshöhe relativ zur vorderen Gesichtshöhe vergrößert (23). Sofern weder eine Rotation in der Richtung clockwise noch in der Richtung counterclockwise vorliegt, bezeichnet Jarabak das Wachstum als straight downward (23). In diesem Fall weisen vordere und hintere Gesichtshöhe eine harmonische Relation auf (23). Dies entspricht also weitgehend der neutralen Wachstumskategorie (23). Auch andere Ebenen der Horizontalen als das Mandibularplanum können mit den Begriffen clockwise und counterclockwise beschrieben werden, beispielsweise die Rotation der Maxilla (75). Da die Begriffe

clockwise und counterclockwise die sagittale Ansicht des rechten Patientenprofils beschreiben (7), sind sie nicht direkt auf die frontale Ansicht übertragbar.

Es gibt auch Autoren, welche die Begriffe vertikal, dolichofazial und clockwise als Synonyme verwenden (76).

Auch die Begriffe dolichofazial und hyperdivergent und die Begriffe brachyfazial und hypodivergent werden mitunter wie Synonyme verwendet (77).

Bei der Aufbereitung der Fachterminologie stellt sich heraus, dass Beschreibungen der Abweichungen in der vertikalen Dimension ohne kephalometrische Analysen mit vergleichbaren Parametern oder andere harte Kriterien schwer vergleichbar und behandlerabhängig sind (8).

2.3.4 Parameter der vertikalen Dimension

2.3.4.1 Parameter zur Beschreibung der Wachstumsachse

Im folgenden Abschnitt werden Parameter, welche Wachstumsachsen definieren, beschrieben. Hierzu zählen der Fazialachsenwinkel und der Y-Achsen-Winkel (13, 78).

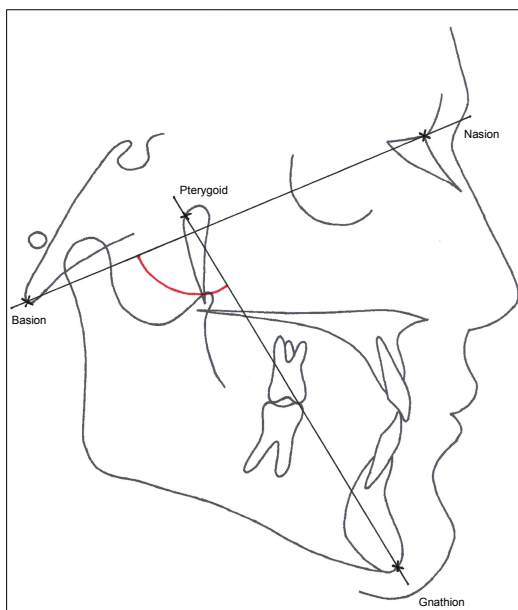


Abbildung 3: Fazialachsenwinkel Der Fazialachsenwinkel wird durch die Fazialachse und die Nasion-Basion-Ebene gebildet (15). Der Normwert des Winkels beträgt $90 \pm 3^\circ$ (14, 15). Der Fazialachsenwinkel kann als wachstumsstabil angenommen werden (13-15). Ein geringer Wert des Fazialachsenwinkels spricht für eine vertikale Wachstumskategorie des Patienten (27, 32).

Der Fazialachsenwinkel ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Parameter wird durch die Fazialachse (Pt-Gnk) und die Nasion-Basion-Ebene (N-Ba) gebildet (15). Ricketts hat den Fazialachsenwinkel eingeführt und in seiner Analyse beschrieben (15). Laut Ricketts ist der Fazialachsenwinkel der aussagekräftigste und beständigste Parameter zur Beschreibung der Wachstumsrichtung des Gesichts (13). Der Normwert des Winkels beträgt $90\pm 3^\circ$ (14, 15). Die geringe Veränderung des Fazialachsenwinkels mit dem Alter beträgt lediglich $\pm 1,5^\circ$ innerhalb von 5 Jahren und $\pm 2^\circ$ innerhalb von 10 Jahren (13). Somit ist die Wachstumsveränderung vernachlässigbar und der Winkel kann als wachstumsstabil angenommen werden (13-15). Der Fazialachsenwinkel beschreibt die wachstumsbedingte Lageveränderung des Kinns und die Richtung der Unterkieferrotation nach dorsal oder ventral (13). Somit spricht ein geringer Wert des Fazialachsenwinkels für eine vertikale Wachstumskategorie des Patienten (27, 32). Darüber hinaus drückt der Parameter das Verhältnis der Gesichtshöhe zur Gesichtstiefe aus (14). Lediglich bei Patienten mit extremen pathologischen Dysplasien, die Nasion und Basion variieren lassen, müssen zur Bestimmung der Wachstumsachse weitere Parameter herangezogen werden (13). Beispiele für solche Dysplasien sind Trisomie 21 und die Kleidokraniale Dysplasie (79, 80).

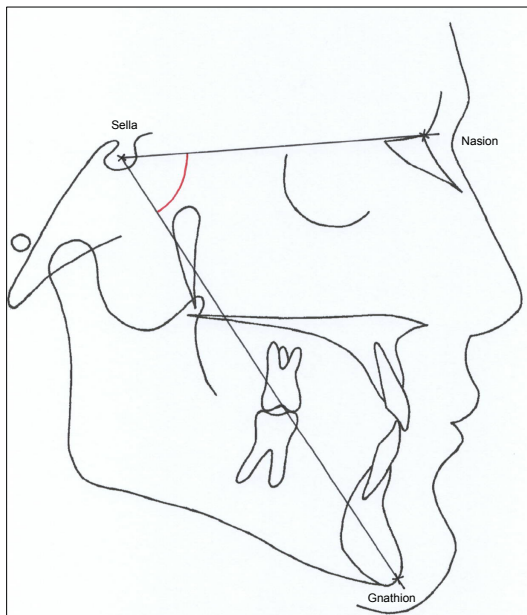


Abbildung 4: Y-Achsen-Winkel Der Y-Achsen-Winkel wird durch die Nasion-Sella-Ebene (N-S) und die Strecke Sella-Gnathion (S-Gnk), welche auch als Y-Achse bezeichnet wird, gebildet (2, 33, 78, 81). Der Normwert des Y-Achsen-Winkels beträgt $66\pm 3^\circ$ (33, 78, 81). Der Y-Achsen-Winkel ist wachstumsstabil (78). Ein vergrößerter Wert des Y-Achsen-Winkels beschreibt eine vertikale Wachstumskategorie, wohingegen ein verringerter Wert auf eine horizontale Wachstumskategorie schließen lässt (2, 33, 78).

Der Y-Achsen-Winkel ist in Abbildung 4 dargestellt. Der Parameter wird durch die Nasion-Sella-Ebene (N-S) und die Strecke Sella-Gnathion (S-Gnk), welche auch als Y-Achse bezeichnet wird, gebildet (2, 33, 78, 81). Der Y-Achsen-Winkel wurde durch

Bushra und Downs eingeführt (2, 81). Der Normwert des Y-Achsen-Winkels beträgt $66\pm 3^\circ$ (33, 78, 81). Der Y-Achsen-Winkel ist wachstumsstabil (78). Ein vergrößerter Wert des Y-Achsen-Winkels beschreibt eine vertikale Wachstumskategorie (2, 33, 78). In diesem Fall befindet sich der Unterkiefer in einer posterioren Lage (33). Ein geringer Y-Achsen-Winkel-Wert beschreibt wiederum eine horizontale Wachstumskategorie (2, 33, 78). In diesem Fall befindet sich der Unterkiefer in einer anterioren Lage (33). Ricketts bezeichnet die Y-Achse als Wachstumsachse des Gesichts, da das Kinn dieser im Zuge der Entwicklung folgt (78). Der Y-Achsen-Winkel wertet die Lage des Unterkiefers in Bezug zur anterioren Schädelbasis aus (33). Er eignet sich zur Überprüfung der anderen Parameter, welche die vertikale Wachstumskategorie beschreiben (33). In der Literatur werden weitere Referenzebenen genannt, welche statt der Nasion-Sella-Ebene verwendet werden können (2, 78). So bevorzugt Ricketts die Nasion-Basion-Ebene, während Downs die Frankfurter Horizontale nutzt (2, 78).

2.3.4.2 Parameter mit der Hauptbezugsebene Spinaplanum

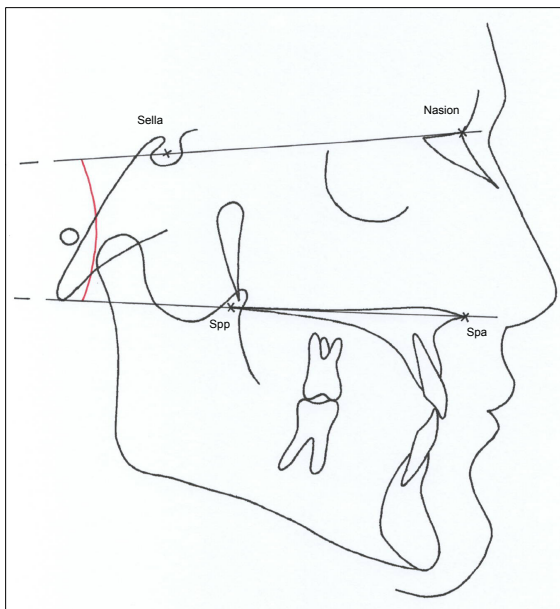


Abbildung 5: NL-NSL-Winkel Der NL-NSL-Winkel wird durch die Ebenen Spinaplanum (NL) und Nasion-Sella-Ebene (NSL) gebildet (40). Der Normwert des NL-NSL-Winkels beträgt $8\pm 3^\circ$ (82). Der NL-NSL-Winkel ist wachstumsstabil (83). Ein vergrößerter NL-NSL-Winkel zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (84).

Der NL-NSL-Winkel ist in Abbildung 5 dargestellt. Der Parameter wird durch die Ebenen Spinaplanum (NL) und Nasion-Sella-Ebene (NSL) gebildet (40). Eingeführt wurde der NL-NSL-Winkel durch Hasund (85). Der Normwert des NL-NSL-Winkels beträgt $8\pm 3^\circ$ (82). Der NL-NSL-Winkel ist wachstumsstabil (83). Ein vergrößerter NL-

NSL-Winkel zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (84). Der NL-NSL-Winkel beschreibt den Neigungsgrad der Maxilla in Bezug auf die anteriore Schädelbasis (84, 85). Ein großer Winkelwert beschreibt eine posteriore Neigung der Maxilla, ein geringer Wert hingegen eine anteriore Neigung (84). Die Definition des Spinaplanums ist abhängig vom Autor. In aktuellen Untersuchungen wird die Definition nach Björk mit den Punkten Spina nasalis anterior (Spa) und Spina nasalis posterior (Spp) verwendet (39, 83, 86). Segner führt auf, Björk habe in einer Veröffentlichung von 1958 ebenfalls einen Normwert von $8\pm3^\circ$ für den NL-NSL-Winkel erhalten und sowohl seine Untersuchungen als auch die von Hasund würden auf diesen Ergebnissen aufbauen (82, 85). Hasund wählte als posteriore Begrenzung des Spinaplanums das Pterygomaxillare (85, 87). Da das Pterygomaxillare jedoch wie die Spp die hintere Begrenzung des Palatum durum darstellt, sollte der Unterschied vernachlässigbar sein (85, 87).

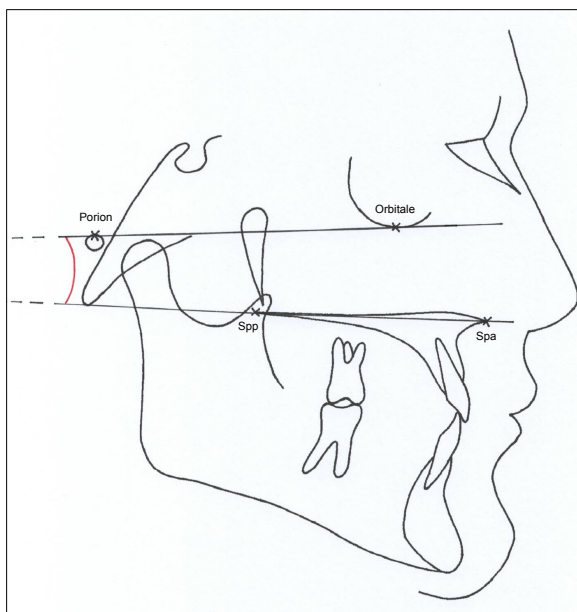


Abbildung 6: Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale
Der Normwert des Winkels zwischen Spinaplanum (NL) und Frankfurter Horizontale (FFH) beträgt $0\pm2,5^\circ$ (13). Der Winkelwert ist wachstumsstabil (13). Ein positiver Wert des Parameters spricht für eine vertikale Wachstumskategorie, ein negativer Wert hingegen deutet auf eine horizontale Wachstumskategorie hin (88-91).

Der Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale ist in Abbildung 6 dargestellt. Der Winkel wurde von Ricketts eingeführt (13). Der Normwert des Winkels beträgt $0\pm2,5^\circ$ (13). Der Winkelwert ist wachstumsstabil (13). Ein positiver Wert des Winkels zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale spricht für eine vertikale Wachstumskategorie, ein negativer Wert hingegen deutet auf eine horizontale Wachstumskategorie hin (88-91). Der Parameter ist ein Winkel der horizontalen

Ebenen und somit bei Vorliegen der vertikalen Wachstumskategorie vergrößert (88). Der Parameter beschreibt hauptsächlich die Neigung des Spinaplanums und somit die Neigung der Maxilla (13). Diese hat Einfluss auf die Okklusionsebene, welche wiederum die Neigung des Mandibularplanums beeinträchtigt (90, 91). Darüber hinaus kann ein negativer Wert des Winkels zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale auf eine geringe Höhe des aufsteigenden Unterkieferastes und eine Tendenz zum offenen Biss hindeuten (92).

2.3.4.3 Parameter mit der Hauptbezugsebene Okklusionsebene

Es folgen Parameter mit der Hauptbezugsebene Okklusionsebene. Die Okklusionsebene (Occl) wird wie folgt gebildet. Der Überbiss beziehungsweise der offene Biss der mittleren Inzisivi wird halbiert (27). Dies ergibt den vorderen Referenzpunkt der Okklusionsebene (27). Der Überbiss der ersten Molaren wird ebenfalls halbiert (27). Er wird auf Höhe der distobukkalen Höckerspitzen gemessen (27). Es wird zwischen den ersten Molaren der rechten und linken Seite gemittelt (27). Dies ergibt den hinteren Referenzpunkt der Okklusionsebene (27). Verbindet man den vorderen mit dem hinteren Referenzpunkt der Okklusionsebene, so erhält man die Okklusionsebene (27).

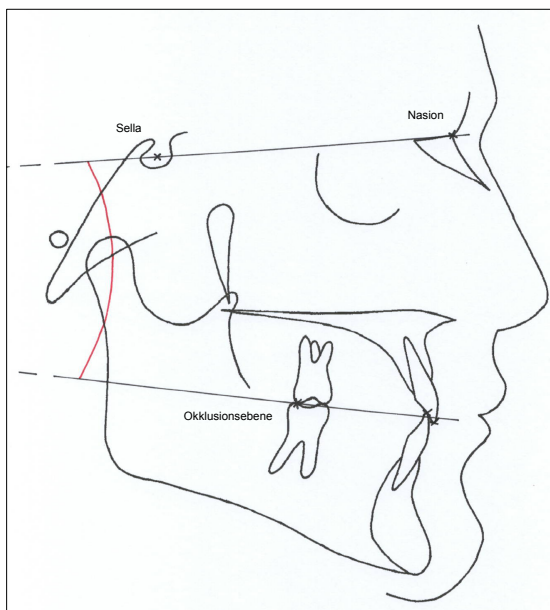


Abbildung 7: Occl-NSL-Winkel Der Occl-NSL-Winkel wird durch die Nasion-Sella-Ebene (NSL) und die Okklusionsebene (Occl) gebildet (22). Der Normwert des Winkels beträgt $14 \pm 2,5^\circ$ (22, 93, 94). Ein vergrößerter Occl-NSL-Winkel beschreibt eine vertikale Wachstumskategorie, während ein verkleinerter Winkel auf eine horizontale Wachstumskategorie hindeutet (23, 32, 75).

Der Occl-NSL-Winkel ist in Abbildung 7 dargestellt. Der Parameter wird durch die Nasion-Sella-Ebene (NSL) und die Okklusionsebene (Occl) gebildet (22). Der Occl-NSL-Winkel wurde von Steiner eingeführt (22). Steiner definierte den Occl-NSL-Winkel mit 14° (22, 94). In der vorliegenden Arbeit wird ein Normwert von $14 \pm 2,5^\circ$ nach Steiner modifiziert nach Batwa verwendet (22, 93). Ein kleiner Occl-NSL-Winkel spricht für eine Rotation des Spinaplanums in der Richtung counter-clockwise (75) beziehungsweise für eine Anteinklination des Oberkiefers (32). Da nach Jarabak ein Wachstum in der Richtung counter-clockwise für eine horizontale Wachstumskategorie spricht, ist bei einem kleinen Occl-NSL-Winkelwert von diesem auszugehen (23, 32). Dementsprechend beschreibt ein vergrößerter Occl-NSL-Winkel eine vertikale Wachstumskategorie (23, 75). Der Occl-NSL-Winkel beschreibt die Lage der in Okklusion stehenden Zähne zum Rest des Schädels (17). Steiner beobachtet ein gehäuftes Vorkommen vergrößerter Occl-NSL-Winkelwerte bei Patienten mit Klasse II Malokklusionen (94).

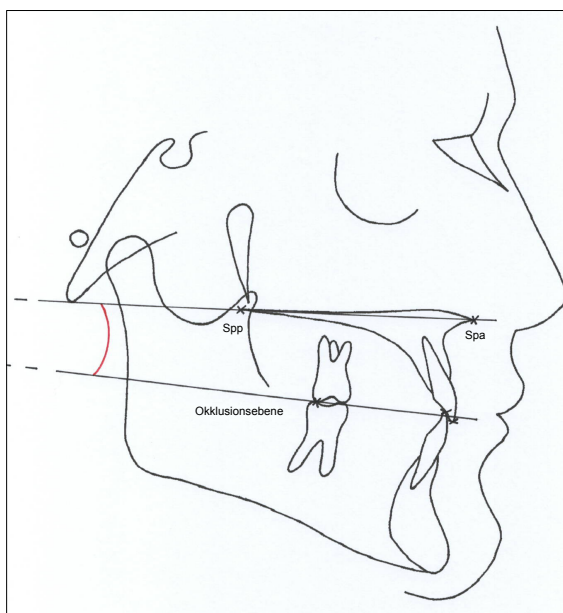


Abbildung 8: Oberer OkklusionswinkelDer obere Okklusionswinkel wird durch die Ebenen Spinaplanum (NL) und Okklusionsebene (Occl) gebildet (39, 49). Der Normwert des oberen Okklusionswinkels beträgt $9 \pm 4^\circ$ (39). Ein vergrößerter oberer Okklusionswinkel spricht für eine vertikale Wachstumskategorie (90).

Der obere Okklusionswinkel ist in Abbildung 8 dargestellt. Der Parameter wird durch die Ebenen Spinaplanum (NL) und Okklusionsebene (Occl) gebildet (39, 49). Der obere Okklusionswinkel wurde von Björk eingeführt (39). Der Normwert des oberen Okklusionswinkels beträgt $9 \pm 4^\circ$ (39). Ein vergrößerter oberer Okklusionswinkel spricht für eine vertikale Wachstumskategorie (90). Der obere Okklusionswinkel beschreibt die Neigung der Okklusionsebene bezogen auf die Maxilla (90). Eine flache

Okklusionsebene kann horizontales Wachstum begünstigen und wird verstärkt bei Patienten mit horizontaler Wachstumskategorie und bei Patienten mit Angle Klasse III beobachtet (90). Ein vergrößerter oberer Okklusionswinkel spricht für eine vergrößerte Bisshöhe (90). Darüber hinaus kann ein vergrößerter oberer Okklusionswinkel eine posteriore Neigung des Oberkiefers aufzeigen (32). Der obere Okklusionswinkel zeigt die Neigung der Okklusionsebene unabhängig von der Gesamtlage des Gebisses im Schädel an (49). Das Verhältnis von oberem zu unterem Okklusionswinkel beträgt $\frac{1}{3}$ zu $\frac{2}{3}$ (49).

2.3.4.4 Parameter mit der Hauptbezugsebene Mandibularplanum

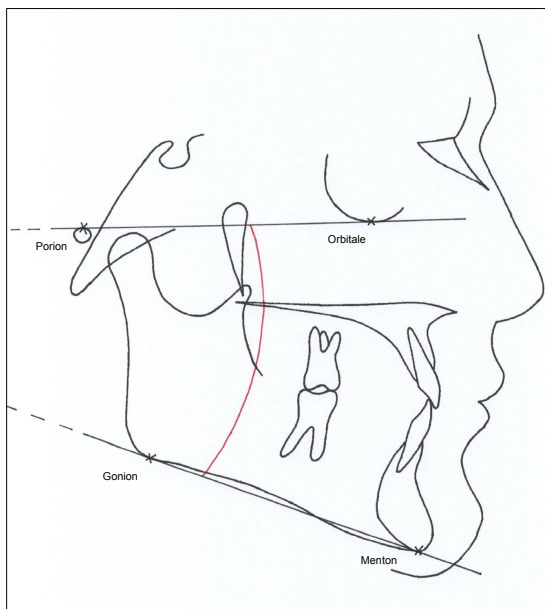


Abbildung 9: Unterkieferebenenwinkel Der Unterkieferebenenwinkel wird durch die Frankfurter Horizontale (FFH) und das Mandibularplanum (Go-Me) gebildet (13). Der Normwert des Unterkieferebenenwinkels beträgt im 9. Lebensjahr $26 \pm 4^\circ$ (13). Alle drei Jahre reduziert sich der Normwert, bis er ab dem 18. Lebensjahr stabil bleibt (13). Ein großer Unterkieferebenenwinkel zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (95), ein kleiner Winkel wiederum beschreibt eine horizontale Wachstumskategorie (96).

Der Unterkieferebenenwinkel ist in Abbildung 9 dargestellt. Der Parameter wird durch die Frankfurter Horizontale (FFH) und das Mandibularplanum (Go-Me) gebildet (13). Der Unterkieferebenenwinkel stammt aus Ricketts 11-Faktoren-Analyse (13). Der Normwert des Unterkieferebenenwinkels beträgt im 9. Lebensjahr $26 \pm 4^\circ$ (13). Alle drei Jahre reduziert sich der Normwert, bis er ab dem 18. Lebensjahr stabil bleibt (13). Ein großer Unterkieferebenenwinkel zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (95), ein kleiner Winkel wiederum beschreibt eine horizontale Wachstumskategorie (96). Ein großer Unterkieferebenenwinkel bedeutet, dass aufgrund der skelettalen Unterkieferkonfiguration eine Tendenz zum offenen Biss vorliegt (14). Laut Ricketts kann dies an einem verhältnismäßig kurzen aufsteigenden Unterkiefer-

rast liegen (13). Gründe für einen vergrößerten Unterkiefernebenenwinkel, der durch eine geringe Ramushöhe bedingt ist, können ein pathologischer Kondylus, ein verändertes Wachstumspotential des Kondylenkopfes oder muskuläre Dysfunktionen sein (13). Ein kleiner Unterkiefernebenenwinkel beschreibt hingegen einen tiefen Biss, der durch den skelettalen Aufbau des Unterkiefers bedingt ist (14). Bei einem geringen Unterkiefernebenenwinkel kann laut Ricketts von einer guten Ramushöhe, gesunden Kondylen und einer starken Muskulatur ausgegangen werden (13). Der Unterkiefernebenenwinkel beschreibt also nicht nur die Wachstumskategorie, sondern auch die Unterkieferkonfiguration.

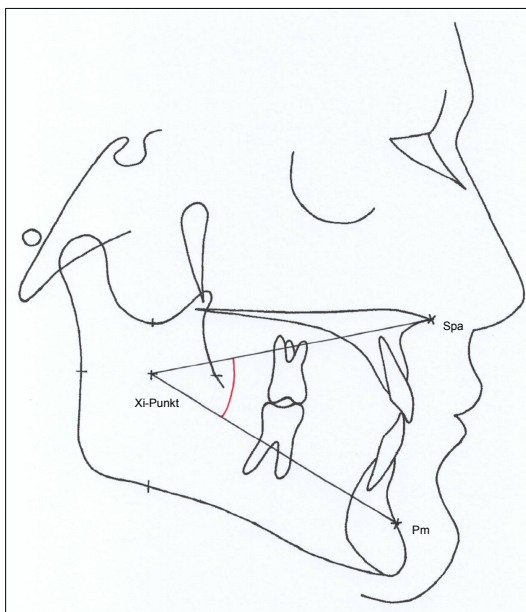


Abbildung 10: Untere Gesichtshöhe nach Ricketts
Die untere Gesichtshöhe nach Ricketts wird durch die maxilläre Achse (Xi-Spa) und die Korpusachse (Xi-Pm) gebildet (13). Der Normwert der unteren Gesichtshöhe nach Ricketts beträgt $46 \pm 3^\circ$ (13). Der Wert ist wachstumsstabil (13). Ein großer Wert zeigt eine vertikale Wachstumskategorie und einen skelettal offenen Biss auf (13). Eine geringe Gesichtshöhe nach Ricketts beschreibt einen skelettal bedingten tiefen Biss und eine horizontale Wachstumskategorie (13).

Die untere Gesichtshöhe nach Ricketts ist in Abbildung 10 dargestellt. Der Parameter wird durch die maxilläre Achse (Xi-Spa) und die Korpusachse (Xi-Pm) gebildet (13). Die untere Gesichtshöhe nach Ricketts stammt aus dessen 11-Faktoren-Analyse (13). Der Normwert der unteren Gesichtshöhe nach Ricketts beträgt $46 \pm 3^\circ$ (13). Der Wert ist wachstumsstabil (13). Die untere Gesichtshöhe nach Ricketts beschreibt die dentale Bisshöhe, die untere Gesichtshöhe und die vertikale Relation zwischen Maxilla und Kinn (13). Ein großer Wert zeigt eine vertikale Wachstumskategorie und einen skelettal offenen Biss auf (13). Eine geringe untere Gesichtshöhe nach Ricketts beschreibt einen skelettal bedingten tiefen Biss und eine horizontale Wachstumskategorie (13).

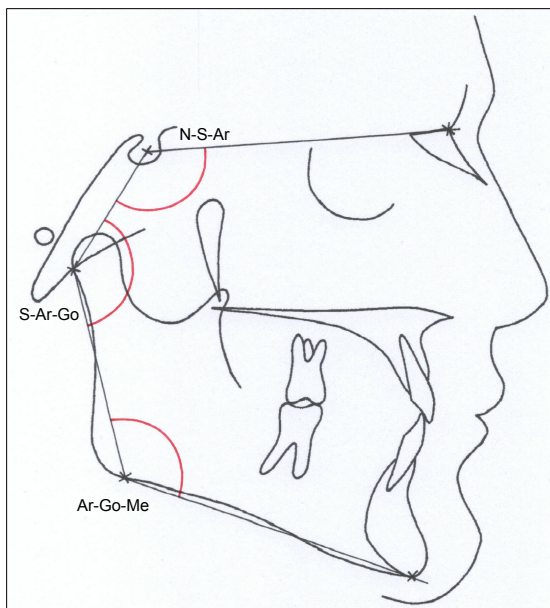


Abbildung 11: Summenwinkel
Der Summenwinkel ergibt sich durch die Addition der Winkelwerte von drei verschiedenen Winkeln (39). Bei diesen Winkeln handelt es sich um den Sattelwinkel (N-S-Ar), den Artikularwinkel (S-Ar-Go) und den Gonialwinkel (Ar-Go-Me) (39). Der Normwert des Summenwinkels beträgt $396 \pm 6^\circ$ (23, 33). Ein vergrößerter Wert des Summenwinkels zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf, dementsprechend deutet ein verkleinerter Winkelwert auf eine horizontale Wachstumskategorie hin (33).

Der Summenwinkel ist in Abbildung 11 dargestellt. Der Parameter ergibt sich durch die Addition der Winkelwerte von drei verschiedenen Winkeln (39). Bei diesen Winkeln handelt es sich um den Sattelwinkel (N-S-Ar), den Artikularwinkel (S-Ar-Go) und den Gonialwinkel (Ar-Go-Me) (39). Eingeführt wurde der Summenwinkel von Björk (39). Der Normwert des Summenwinkels beträgt $396 \pm 6^\circ$ (23, 33). Ein vergrößerter Wert des Summenwinkels zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf, dementsprechend deutet ein verkleinerter Winkelwert auf eine horizontale Wachstumskategorie hin (33).

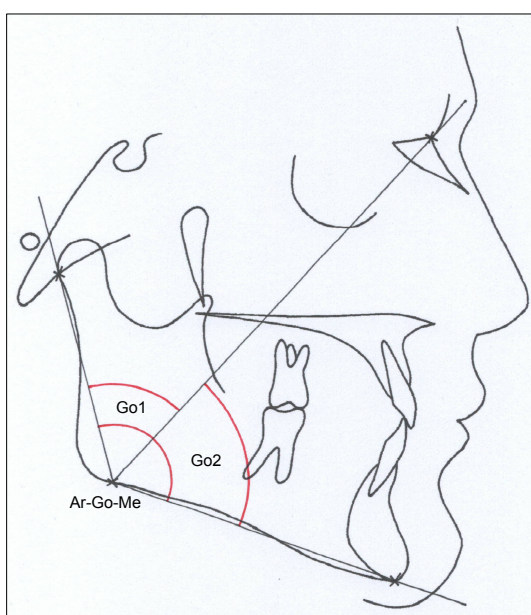


Abbildung 12: Unterer Gonionwinkel (Go2)
Der untere Gonionwinkel (Go2) entsteht durch die Aufteilung des Kieferwinkels (Ar-Go-Me) durch die Strecke Nasion-Gonion (N-Go) (23). Demzufolge wird der untere Gonionwinkel durch die Strecken Nasion-Gonion (N-Go) und Gonion-Menton (Go-Me) gebildet (23). Der Normwert des unteren Gonionwinkels beträgt $72,5 \pm 2,5^\circ$ (23). Ein vergrößerter Wert des unteren Gonionwinkels zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (33).

Der untere Gonionwinkel (Go2) ist in Abbildung 12 dargestellt. Der Parameter entsteht durch die Aufteilung des Gonialwinkels (Ar-Go-Me) durch die Strecke Nasion-Gonion (N-Go) (23). Demzufolge wird der untere Gonionwinkel durch die Strecken Nasion-Gonion (N-Go) und Gonion-Menton (Go-Me) gebildet (23). Der untere Gonionwinkel wurde durch Jarabak eingeführt (23). Der Normwert des unteren Gonionwinkels beträgt $72,5 \pm 2,5^\circ$ (23). Ein vergrößerter Wert des unteren Gonionwinkels zeigt eine vertikale Wachstums-kategorie auf (33). Der untere Gonionwinkel beschreibt die Neigung des Corpus mandibulae im Verhältnis zum aufsteigenden Unterkieferast (23).

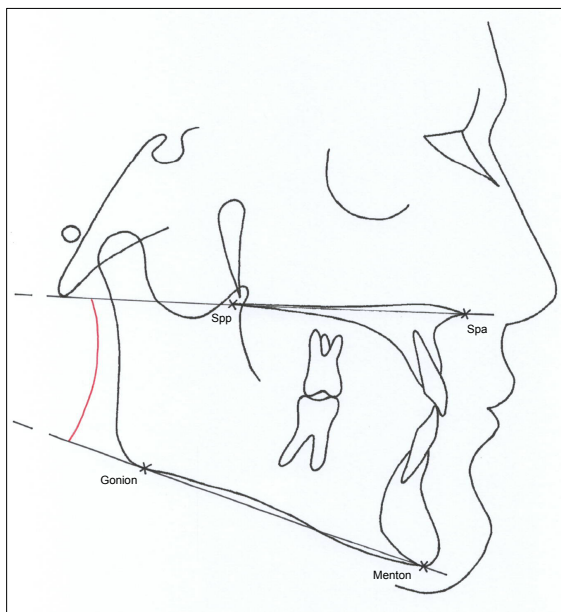


Abbildung 13: BasiswinkelDer Basiswinkel wird durch die Ebenen Spinaplanum (NL) und Mandibularplanum (ML) gebildet (49). Der Normwert des Basiswinkels beträgt $20 \pm 5^\circ$ (49). Ein vergrößerter Wert des Basiswinkels zeigt eine vertikale Wachstums-kategorie auf (33).

Der Basiswinkel ist in Abbildung 13 dargestellt. Der Parameter wird durch die Ebenen Spinaplanum (NL) und Mandibularplanum (ML) gebildet (49). Der Basiswinkel wurde von A. M. Schwarz eingeführt (49). Der Normwert des Basiswinkels beträgt $20 \pm 5^\circ$ (49). Ein vergrößerter Wert des Basiswinkels zeigt eine vertikale Wachstums-kategorie auf (33). Darüber hinaus beschreibt ein vergrößerter Basiswinkel, dass eine Tendenz zum offenen Biss vorliegt (49). Der Basiswinkel beschreibt den Neigungsgrad des Unterkiefers im Verhältnis zur Oberkieferbasis, welche durch das Spinaplanum dargestellt wird (33). Somit zeigt der Basiswinkel die Rotation des Unterkiefers auf (33). Jedoch muss beachtet werden, dass der Basiswinkel ebenfalls abhängig von der Inklination des Oberkiefers ist und somit nicht nur die Unterkieferneigung beschreibt (33).

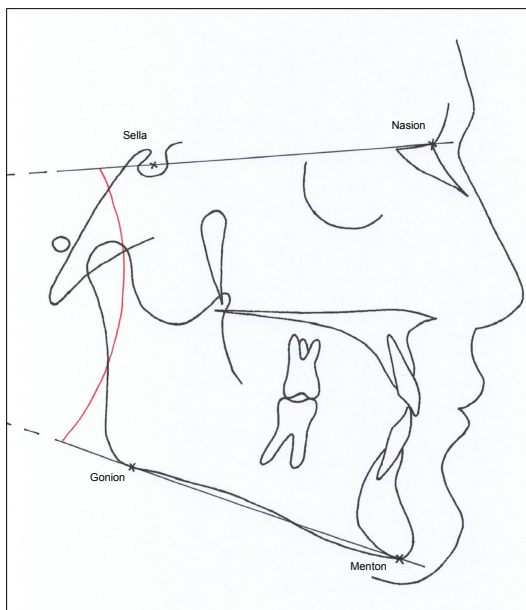


Abbildung 14: ML-NSL-Winkel Die Ebenen Mandibularplanum (ML) und Nasion-Sella-Ebene (NSL) bilden den ML-NSL-Winkel (97). Der Normwert des ML-NSL-Winkels beträgt $32 \pm 5^\circ$ (97). Ein vergrößerter ML-NSL-Winkel zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (27).

Der ML-NSL-Winkel ist in Abbildung 14 dargestellt. Die Ebenen Mandibularplanum (ML) und Nasion-Sella-Ebene (NSL) bilden den ML-NSL-Winkel (97). Der ML-NSL-Winkel wurde von Schudy eingeführt (27). Der Normwert des ML-NSL-Winkels beträgt $32 \pm 5^\circ$ (97). Ein vergrößerter ML-NSL-Winkel zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (27). Der ML-NSL-Winkel beschreibt die Neigung des Unterkiefers im Verhältnis zur vorderen Schädelbasis (33). Schudy stellt die Vermutung auf, dass ein vergrößerter ML-NSL-Winkelwert einen offenen Biss beschreibt (27). Jedoch stellt er in seiner Untersuchung eine niedrige Korrelation zwischen Überbiss und dem ML-NSL-Winkel fest (Korrelationskoeffizient 0,274) (27). Anhand des ML-NSL-Winkels hat Schudy die Begriffe der anterioren und posterioren Neigung des Unterkiefers eingeführt (27, 33). Hierbei bedeutet ein vergrößerter Winkelwert eine posteriore Neigung, während ein verkleinerter ML-NSL-Winkel eine anteriore Neigung des Unterkiefers beschreibt (27, 33). Auch die Begriffe hyper- und hypodivergent zur Beschreibung der vertikalen Wachstumskategorie hat Schudy anhand des ML-NSL-Winkels eingeführt (27). Der Begriff hyperdivergent beschreibt eine vertikale Wachstumskategorie, hypodivergent bedeutet hingegen eine horizontale Wachstumskategorie (27). Wenn sowohl der ML-NSL-Winkel als auch der Basiswinkel vergrößert sind, so liegt die Ursache der Normabweichung unterhalb der Gelenkgrube (33). Meist ist dies durch einen verkürzten aufsteigenden Unterkieferast bedingt (33).

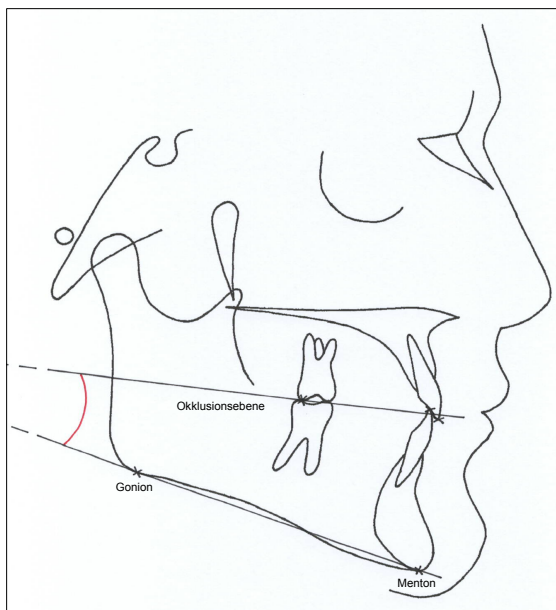


Abbildung 15: Unterer Okklusionswinkel
Der untere Okklusionswinkel wird durch das Mandibularplanum (ML) und die Okklusionsebene (Occl) gebildet (27). Der Normwert des unteren Okklusionswinkels beträgt 16° (27). Ein vergrößerter unterer Okklusionswinkel zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf, ein verkleinerter Winkelwert beschreibt hingegen eine horizontale Wachstumskategorie (27, 88).

Der untere Okklusionswinkel ist in Abbildung 15 dargestellt. Der Parameter wird durch das Mandibularplanum (ML) und die Okklusionsebene (Occl) gebildet (27). Der untere Okklusionswinkel wurde durch Schudy eingeführt (27). Der Normwert des unteren Okklusionswinkels beträgt 16° (27). Ein vergrößerter unterer Okklusionswinkel zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf, ein verkleinerter Winkelwert beschreibt hingegen eine horizontale Wachstumskategorie (27, 88). Der untere Okklusionswinkel beschreibt die dentale Bisshöhe (27). So zeigt ein vergrößerter unterer Okklusionswinkel eine Tendenz zum offenen Biss auf (27). Bei geringen Werten des unteren Okklusionswinkels ist laut Schudy die Stabilität einer therapeutischen Korrektur mittels Bissöffnung fraglich (33, 98). Schudy stellt heraus, dass der untere Okklusionswinkel beim Erfassen der vertikalen Wachstumskategorie unter anderem die posteriore dentale Höhe und die Lage der Molaren in der Mandibula berücksichtigt (27).

Der nächste Parameter ist das Verhältnis zwischen dem Unteren Okklusionswinkel und dem Basiswinkel, welches auch durch den Quotienten $OP-MP/PP-MP$ beschrieben wird (86, 99, 100). Der untere Okklusionswinkel wird durch den Schnittpunkt der Ebenen Mandibularplanum (ML) und Okklusionsebene (Occl) gebildet (86, 99, 100). Der Basiswinkel wird durch die Ebenen Spinaplanum (NL) und Mandibularplanum (ML) begrenzt (86, 99, 100). In der Literatur sind bezüglich des Quotienten auch andere Abkürzungen als die bislang verwendeten (ML, Occl und NL) gebräuchlich (99,

100). So wird bei diesem Parameter für das Mandibularplanum (ML) die Abkürzung MP verwendet (13, 99, 100). Die Okklusionsebene (Occl), auch als Okklusalplanum bezeichnet, wird bei diesem Parameter mit OP abgekürzt (27, 86, 99, 100). Das Spinaplanum (NL), auch Palatinalplanum genannt, wird bei diesem Parameter mit der Abkürzung PP beschrieben (13, 82, 86, 99, 100). Somit wird das Verhältnis zwischen den Parametern unterer Okklusionswinkel (ML-Occl oder OP-MP) und Basiswinkel (NL-ML oder PP-MP) durch den Quotienten OP-MP/PP-MP beschrieben (99). Der Quotient OP-MP/PP-MP wurde von Sato eingeführt (86). Der Normwert des Quotienten liegt bei $0,55 \pm 0,2^\circ$. Dieser Normwert ergibt sich aus der Mittelung verschiedener Angaben zu Normwert und Standardabweichung (86, 100). Ein vergrößerter Wert spricht für eine vertikale Wachstums-kategorie und einen offenen Biss (100). Der Quotient OP-MP/PP-MP ist wachstumsstabil (86).

2.3.4.5 Parameter bestehend aus Indices

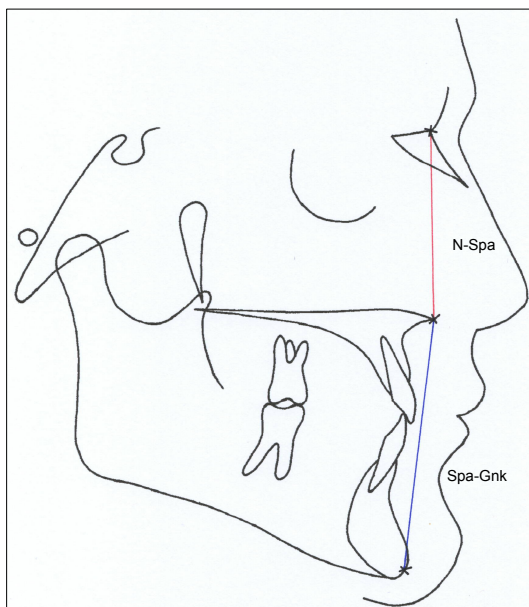


Abbildung 16: Index für die vordere Gesichtshöhe
Der Index für die vordere Gesichtshöhe beschreibt das Verhältnis der Teilhöhen mittlere Gesichtshöhe (N-Spa) und untere Gesichtshöhe (Spa-Gnk) (85). Das Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe wird durch die Formel $(N-Spa) / (Spa-Gnk) * 100$ beschrieben (85). Der Normwert des Index für die vordere Gesichtshöhe beträgt $80 \pm 9\%$ (84). Der Normwert ist wachstumsstabil und nicht geschlechtsabhängig (84). Bei einem verkleinerten Wert kann von einer Tendenz zur vertikalen Wachstums-kategorie ausgegangen werden (88).

Der Index für die vordere Gesichtshöhe ist in Abbildung 16 dargestellt. Der Parameter beschreibt das Verhältnis der Teilhöhen mittlere Gesichtshöhe (N-Spa) und untere Gesichtshöhe (Spa-Gnk) (85). Das Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe wird durch die Formel $(N-Spa) / (Spa-Gnk) * 100$ beschrieben (85). Der Index für die vordere Gesichtshöhe wurde von Hasund eingeführt (85). Der Normwert des Index für die vordere Gesichtshöhe beträgt $80 \pm 9\%$ (84). Der Normwert ist

wachstumsstabil und nicht geschlechtsabhängig (84). Ein verkleinerter Wert des Index beschreibt einen offenen Biss, ein vergrößerter Wert zeigt hingegen einen tiefen Biss auf (84, 85). Bei einem verkleinerten Wert kann von einer Tendenz zur vertikalen Wachstumskategorie ausgegangen werden (88). Eine Abweichung des Normwertes des Index kann sowohl auf den Zähler als auch auf den Nenner zurückzuführen sein, daher muss der Parameter in Relation gesetzt werden (84, 85). Hierfür bieten sich die Winkel ML-NSL und NL-NSL an (84, 85). Meist ist eine Abweichung des Normwerts des Index der vorderen Gesichtshöhe durch die untere Gesichtshöhe bedingt, da diese eine größere Varianz als die mittlere Gesichtshöhe aufweist (84). Seltene starke Abweichungen der mittleren Gesichtshöhe bestehen insbesondere bei Fehlbildungen des Gesichtsschädels wie zum Beispiel Lippen-Kiefer-Gaumenspalten (84). Die mittlere Gesichtshöhe wird auch als mittlere Teilhöhe der vorderen Gesichtshöhe bezeichnet (84). Sie wird durch die kephalometrischen Referenzpunkte Nasion (N) und Spina nasalis anterior (Spa) definiert (84, 85). In Abbildung 16 ist die mittlere Gesichtshöhe dargestellt. Die mittlere Gesichtshöhe wurde von Hasund eingeführt (85). Die untere Gesichtshöhe wird auch als untere Teilhöhe der vorderen Gesichtshöhe bezeichnet (84). Sie wird durch die kephalometrischen Referenzpunkte Spina nasalis anterior (Spa) und Gnathion (Gnk) definiert (85). In Abbildung 16 ist die untere Gesichtshöhe dargestellt. Die untere Gesichtshöhe wurde durch Hasund eingeführt (85). Eine vergrößerte untere Gesichtshöhe spricht für das Vorliegen einer vertikalen Wachstumskategorie, ein kleiner Wert hingegen zeigt eine horizontale Wachstumskategorie auf (88).

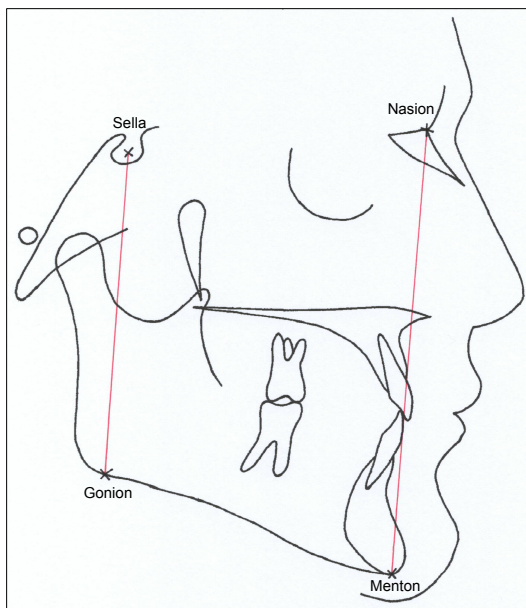


Abbildung 17: GesichtshöhenverhältnisDas Gesichtshöhenverhältnis, auf Englisch als facial height ratio (FHR) bekannt (23), beschreibt die Relation von hinterer Gesichtshöhe (S-Go) zu vorderer Gesichtshöhe (N-Me) (23, 27, 33). Das Gesichtshöhenverhältnis wird in Prozent angegeben (23, 27, 33). Es wird durch die Formel $(S-Go) / (N-Me) * 100$ beschrieben (23, 33). Der Normwert des Gesichtshöhenverhältnisses beträgt $63,5 \pm 1,5\%$ (23, 33). Ein geringerer Wert des Gesichtshöhenverhältnisses bedeutet, dass die hintere Gesichtshöhe im Verhältnis zur vorderen Gesichtshöhe kleiner ist (23, 33). Dies beschreibt eine vertikale Wachstumskategorie (33). Bei einer horizontalen Wachstumskategorie ist hingegen von einem vergrößerten Wert des Gesichtshöhenverhältnisses auszugehen (23, 33).

Das Gesichtshöhenverhältnis ist in Abbildung 17 dargestellt. Der Parameter Gesichtshöhenverhältnis, auf Englisch als facial height ratio (FHR) bekannt (23), beschreibt die Relation von hinterer zu vorderer Gesichtshöhe (23, 27, 33). Das Gesichtshöhenverhältnis wird in Prozent angegeben (23, 27, 33). Es wird durch die Formel $(S-Go) / (N-Me) * 100$ beschrieben (23, 33). Das Gesichtshöhenverhältnis wurde von Schudy eingeführt (27), ist jedoch auch Bestandteil der häufig benutzten Analyse nach Jarabak (23). Der Normwert des Gesichtshöhenverhältnisses beträgt $63,5 \pm 1,5\%$ (23, 33). Ein geringerer Wert des Gesichtshöhenverhältnisses bedeutet, dass die hintere Gesichtshöhe im Verhältnis zur vorderen Gesichtshöhe kleiner ist (23, 33). Dies beschreibt eine vertikale Wachstumskategorie (33). Ein großer Wert des Gesichtshöhenverhältnisses bedeutet, dass die hintere Gesichtshöhe im Vergleich zur vorderen Gesichtshöhe vergrößert ist (23, 33). In diesem Fall liegt eine horizontale Wachstumskategorie vor (33).

Die hintere Gesichtshöhe wird durch die Strecke S-Go vom Referenzpunkt Sella (S) zum Referenzpunkt Gonion (Go) definiert (23). Die hintere Gesichtshöhe ist in Abbildung 17 dargestellt. Sie wurde von Jarabak eingeführt (23). Die hintere Gesichtshöhe ist wachstumsabhängig (23, 33). Für neunjährige Patienten mit vertikaler Wachstumskategorie wurde eine hintere Gesichtshöhe von durchschnittlich 61,4 mm bestimmt (33). Die Zuwachsrates der hinteren Gesichtshöhe für diese Patienten bis zum 15. Lebensjahr beträgt durchschnittlich 11,8 mm (33). Für neunjährige Patienten mit horizontaler Wachstumskategorie wurde eine hintere Gesichtshöhe von 69,5 mm bestimmt (33). Die Zuwachsrates der hinteren Gesichtshöhe für diese Patienten bis

zum 15. Lebensjahr beträgt durchschnittlich 11,5 mm (33). Für eine Beurteilung der Werte der hinteren Gesichtshöhe muss diese mit der vorderen Gesichtshöhe in Relation gesetzt werden (23, 33). Dies geschieht mithilfe des Gesichtshöhenverhältnisses (23, 33). Die hintere Gesichtshöhe kann auch mithilfe anderer Referenzpunkte gemessen werden, so wählte Schudy die Punkte Ar-Go (27).

Die vordere Gesichtshöhe wird durch die Strecke N-Me vom Referenzpunkt Nasion (N) zum Referenzpunkt Menton (Me) definiert (23, 27). Die vordere Gesichtshöhe ist in Abbildung 17 dargestellt. Schudy hat die vordere Gesichtshöhe eingeführt (27). Die vordere Gesichtshöhe ist wachstumsabhängig (23, 33). Für neunjährige Patienten mit vertikaler Wachstumskategorie wurde eine vordere Gesichtshöhe von 106,6 mm bestimmt (33). Die Zuwachsrates der vorderen Gesichtshöhe für diese Patienten bis zum 15. Lebensjahr beträgt durchschnittlich 12,71 mm (33). Für neunjährige Patienten mit horizontaler Wachstumskategorie wurde eine vordere Gesichtshöhe von 100,3 mm bestimmt (33). Die Zuwachsrates der vorderen Gesichtshöhe für diese Patienten bis zum 15. Lebensjahr beträgt durchschnittlich 12,18 mm (33). Für eine Beurteilung der Werte der vorderen Gesichtshöhe muss diese mit der hinteren Gesichtshöhe in Relation gesetzt werden (23, 33). Dies geschieht mithilfe des Gesichtshöhenverhältnisses (23, 33).

2.3.4.6 Parameter mit Bezug auf den Kieferwinkel

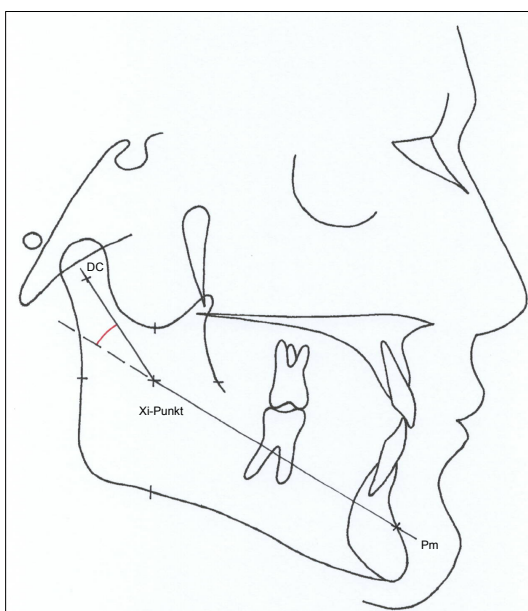


Abbildung 18: Unterkieferbogenwinkel Der Unterkieferbogenwinkel wird durch die kondyläre Achse (Xi-DC) und die Korpusachse (Xi-Pm) gebildet (13, 14, 101). Der Winkel wird nach hinten offen gemessen (13, 14). Der Unterkieferbogenwinkel hat für 9-Jährige einen Normwert von $26 \pm 4^\circ$ (13, 14). Der Normwert ist wachstumsabhängig und vergrößert sich bis zum Abschluss des Wachstums um $0,5^\circ$ pro Lebensjahr des Patienten (14). Ein kleiner Unterkieferbogenwinkel drückt eine vertikale Wachstumskategorie aus (14). Bei einer horizontalen Wachstumskategorie ist hingegen ein großer Unterkieferbogenwinkel zu erwarten (14).

Der Unterkieferbogenwinkel ist in Abbildung 18 dargestellt. Der Parameter wird durch die kondyläre Achse (Xi-DC) und die Korpusachse (Xi-Pm) gebildet (13, 14, 101). Der Unterkieferbogenwinkel wird nach hinten offen gemessen (13, 14). Der Parameter wurde von Ricketts eingeführt und hat für 9-Jährige einen Normwert von $26 \pm 4^\circ$ (13, 14). Der Normwert ist wachstumsabhängig und vergrößert sich bis zum Abschluss des Wachstums um $0,5^\circ$ pro Lebensjahr des Patienten (14). Ein kleiner Unterkieferbogenwinkel drückt eine vertikale Wachstumskategorie aus (14). Bei einer horizontalen Wachstumskategorie ist hingegen ein großer Unterkieferbogenwinkel zu erwarten (14). Der Unterkieferbogenwinkel beschreibt die Richtung und das Ausmaß des Unterkieferwachstums (101). So gibt der Unterkieferbogenwinkel Aufschluss darüber, ob das Unterkieferwachstum überwiegend nach anterior oder posterior gerichtet ist (14). Der Unterkieferbogenwinkel beschreibt darüber hinaus das Ausmaß des Wachstums des aufsteigenden Unterkieferastes (13). So bewirkt ein starkes Wachstum des aufsteigenden Unterkieferastes eine stärkere Veränderung des Normwerts (13).

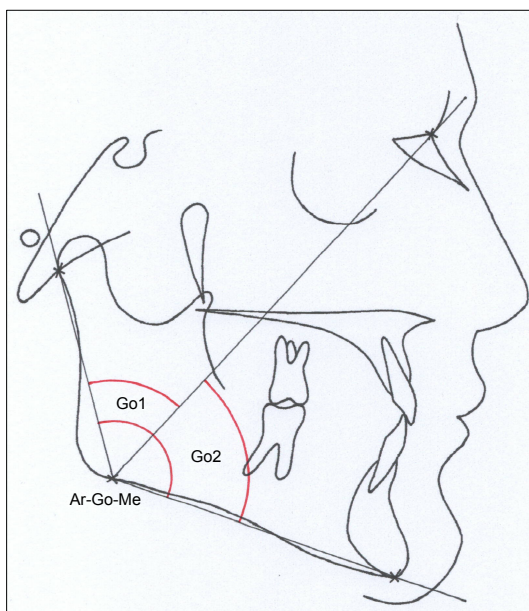


Abbildung 19: Gonialwinkel
Der Gonialwinkel (Ar-Go-Me) wird durch die Strecken Artikulare-Gonion (Ar-Go) und Gonion-Menton (Go-Me) gebildet und nach vorne offen gemessen (39). Der durchschnittliche Wert des Gonialwinkels beträgt $130 \pm 7^\circ$ (39). Ein vergrößerter Gonialwinkel beschreibt eine vertikale Wachstumskategorie (32, 33).

Der Gonialwinkel ist in Abbildung 19 dargestellt. Der Parameter Gonialwinkel (Ar-Go-Me) wird durch die Strecken Artikulare-Gonion (Ar-Go) und Gonion-Menton (Go-Me) gebildet und nach vorne offen gemessen (39). Der Gonialwinkel wurde von Björk eingeführt (39). Der durchschnittliche Wert des Gonialwinkels beträgt $130 \pm 7^\circ$ (39). Ein vergrößerter Gonialwinkel beschreibt eine vertikale Wachstumskategorie (32,

33). Im Falle eines vergrößerten Wertes und einer vertikalen Wachstumskategorie weist der Unterkiefer eine posteriore Rotationstendenz und ein nach posterior gerichtetes Kondylenwachstum auf (33). Der Gonialwinkel drückt das Verhältnis zwischen Ramus und Corpus mandibulae aus (39). Björk zufolge kann eine maxilläre Prognathie einen geringen Wert des Gonialwinkels bedingen (39). Man kann den Gonialwinkel in einen oberen und unteren Gonionwinkel unterteilen (33).

2.3.4.7 Weitere Parameter

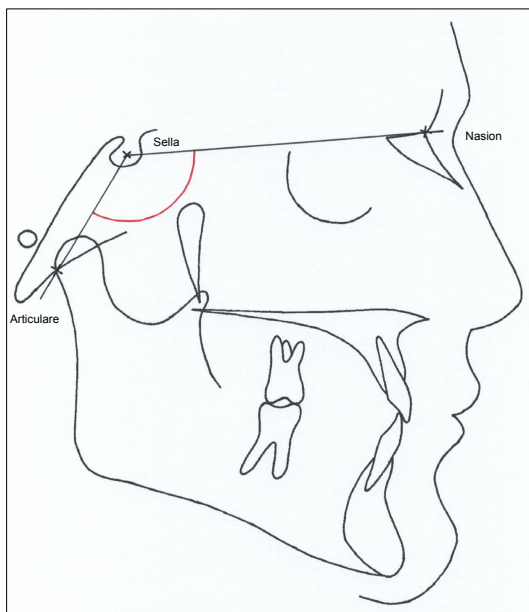


Abbildung 20: Sattelwinkel
Der Sattelwinkel (N-S-Ar) wird gebildet, indem man das Nasion (N) und den Punkt Artikulare (Ar) jeweils mit der Sella (S) verbindet (39). Der Normwert des Sattelwinkels beträgt $123 \pm 5^\circ$ (39). Der Sattelwinkel ist wachstumsstabil (87). Ein vergrößerter Wert des Sattelwinkels zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (32, 33).

Der Sattelwinkel ist in Abbildung 20 dargestellt. Verbindet man das Nasion (N) und den Punkt Artikulare (Ar) jeweils mit der Sella (S), so erhält man den Sattelwinkel (N-S-Ar) (39). Der Normwert des Sattelwinkels nach Björk beträgt $123 \pm 5^\circ$ (39). Der Sattelwinkel ist wachstumsstabil (87). Ein vergrößerter Wert des Sattelwinkels zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (32, 33). Der Sattelwinkel verbindet vordere und hintere Schädelbasis (33). Bedingt durch die Lage des sagittalen Wachstumszentrums Synchronchondrosis sphenooccipitalis in der hinteren Schädelbasis beschreibt der Sattelwinkel die Wachstumsänderungen der Gelenkgrube (33). Ein großer Winkel beschreibt eine posteriore Lage des Gelenks, ein kleiner Winkel zeigt eine anteriore Lokalisation des Gelenks auf (33).

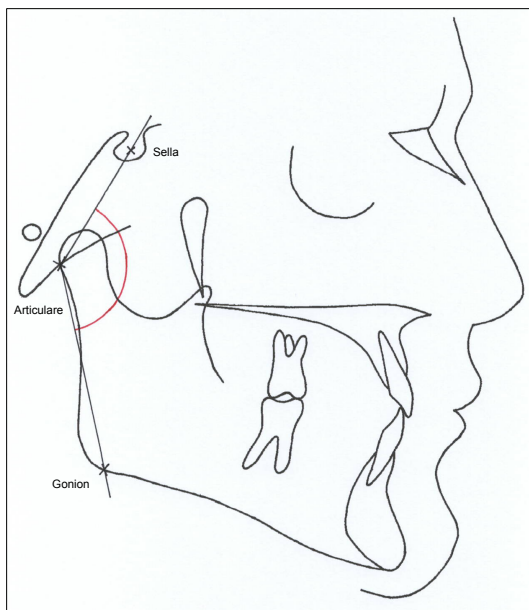


Abbildung 21: Artikularwinkel Der Artikularwinkel (S-Ar-Go) wird durch die Strecken Sella-Articulare (S-Ar) und Artikulare-Gonion (Ar-Go) gebildet (39). Der Normwert des Artikularwinkels beträgt $143 \pm 6^\circ$ (23, 32, 33). Der Artikularwinkel gilt als wachstumsstabil (23, 32, 33). Ein großer Artikularwinkel zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (32, 33).

Der Artikularwinkel ist in Abbildung 21 dargestellt. Die Strecken Sella-Articulare (S-Ar) und Artikulare-Gonion (Ar-Go) bilden den Artikularwinkel (S-Ar-Go) (39). Der Artikularwinkel wurde von Björk eingeführt (39). Der Normwert des Artikularwinkels beträgt $143 \pm 6^\circ$ (23, 32, 33). Der Artikularwinkel gilt als wachstumsstabil, es sind keine Veränderungen des Normwertes mit dem Alter angegeben (23, 32, 33). Ein großer Artikularwinkel zeigt eine vertikale Wachstumskategorie auf (32, 33). Der Artikularwinkel ist abhängig von der Lage des Unterkiefers (33). So beschreibt ein großer Winkelwert einen retrognathen und ein kleiner Winkelwert einen prognathen Unterkiefer (33). Der Artikularwinkel ist kieferorthopädisch beeinflussbar (33). So wird er bei einer Bissöffnung größer (33).

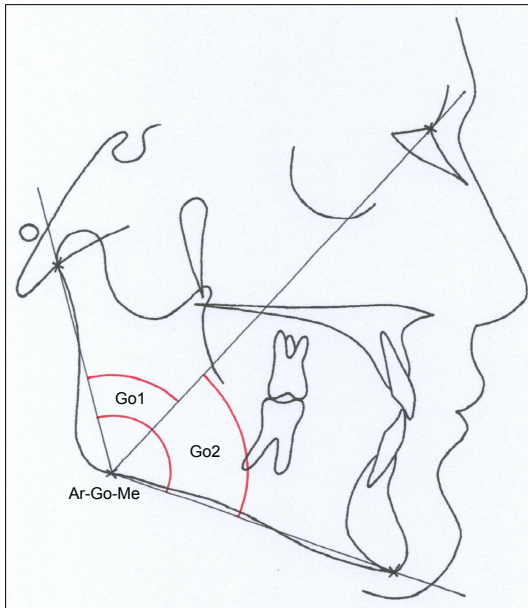


Abbildung 22: Oberer Gonionwinkel (Go1) Der obere Gonionwinkel (Go1) entsteht durch die Unterteilung des Gonialwinkels (Ar-Go-Me) mithilfe des kephalometrischen Referenzpunktes Nasion (23). So wird der obere Gonionwinkel durch den Schnittpunkt der Strecken Nasion-Gonion (N-Go) und Gonion-Artikulare (Go-Ar) gebildet (23). Der Normwert des oberen Gonionwinkels beträgt $53,5 \pm 1,5^\circ$ (23). Ein verkleinerter Wert des oberen Gonionwinkels spricht für eine vertikale Wachstumskategorie (33).

Der obere Gonionwinkel (Go1) ist in Abbildung 22 dargestellt. Der Parameter entsteht durch die Unterteilung des Gonialwinkels (Ar-Go-Me) mithilfe des kephalometrischen Referenzpunktes Nasion (23). So wird der obere Gonionwinkel durch den Schnittpunkt der Strecken Nasion-Gonion (N-Go) und Gonion-Artikulare (Go-Ar) gebildet (23). Der obere Gonionwinkel (N-Go-Ar) wurde durch Jarabak eingeführt (23). Der Normwert des oberen Gonionwinkels beträgt $53,5 \pm 1,5^\circ$ (23). Ein verkleinerter Wert des oberen Gonionwinkels spricht für eine vertikale Wachstumskategorie (33). Der obere Gonionwinkel beschreibt die Neigung des aufsteigenden Unterkieferastes (23).

Die oben aufgeführten zu untersuchenden 21 FRS-Parameter verdeutlichen, dass die vertikale Dimension und ihre Diagnostik in der Kieferorthopädie eine große Aussagekraft innehaben. Gleichzeitig stellt sich aber auch heraus, dass die Fülle an FRS-Parametern Vergleiche zwischen Studien erschwert und die allgemeine Übersicht einschränkt. Daher soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag leisten eine große Anzahl an FRS-Parametern der vertikalen Dimension zu vergleichen. Anschließend sollen einige besonders geeignete Parameter hervorgehoben werden.

3 Material und Methoden

Zur retrospektiven Analyse werden dem Archiv der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz folgende Unterlagen von 164 Patienten entnommen: Profil- und Frontalfotos und das Fernröntgenseitenbild (FRS) vom Anfang der kieferorthopädischen Behandlung. Die verwendeten FRS der Patienten sind in den Jahren 1999 bis 2010 aufgenommen worden. Der maximale zeitliche Abstand zwischen der Aufnahme der Röntgenbilder und der Entstehung der Fotos liegt unterhalb von 10 Monaten. Für die FRS-Analyse werden 176 Patienten herangezogen, der Fotovergleich ist wegen des maximalen zeitlichen Abstands nur bei der oben genannten Zahl möglich. Vier Bewerter (zwei Fachzahnärzte für Kieferorthopädie und zwei Assistenz Zahnärzte, die sich noch in der kieferorthopädischen Weiterbildung befinden) klassifizieren die Fotos zweimal in randomisierter Reihenfolge. Zwischen den beiden Durchgängen liegt eine Pause von mindestens einer Woche. Die vier Zahnärzte bewerten die Patienten entsprechend der fünf Wachstumskategorien der vertikalen Dimension: vertikal, neutral mit vertikaler Tendenz, neutral, neutral mit horizontaler Tendenz, horizontal. Zwei kalibrierte Untersucherinnen werten die Röntgenbilder mithilfe des Programmes „fr-win“ zweimal in randomisierter Reihenfolge mit einer Woche Pause dazwischen aus.

3.1 Patientengut

Die Patienten werden zufällig aus dem Patientengut ausgewählt, welches zur kieferorthopädischen Behandlung in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz vorstellig geworden ist. Die Altersspanne der Patienten umfasst 7 bis 15 Lebensjahre. Der arithmetische Mittelwert des Alters der Patienten zum Zeitpunkt der Aufnahme des FRS beträgt 10,8 Lebensjahre. Zur Veranschaulichung ist die Altersverteilung der Patienten in Abbildung 23 dargestellt. Die Geschlechterverteilung im Patientengut bemisst sich prozentual auf 52% weibliche Patienten und auf 48% männliche Patienten.

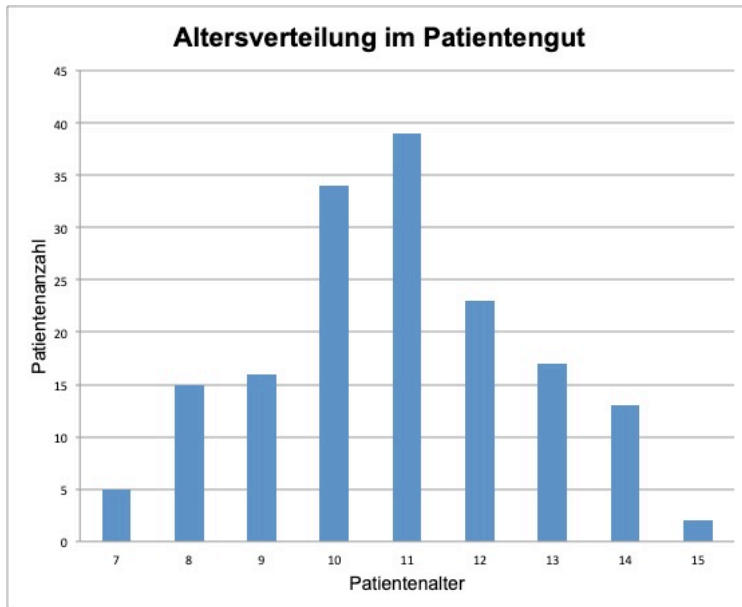


Abbildung 23: Altersverteilung der Patienten

Es handelt sich um 86 weibliche und 78 männliche Patienten.

3.2 Auswertung der Fotografien durch klinische Bewertung

Für die Einteilung der Patienten durch Fotobewertung werden die Frontal- und Profilfotos der Patienten den teilnehmenden Zahnärzten in randomisierter Reihenfolge vorgestellt. Die Randomisierung wird mit Microsoft Excel Version 14.5.2 erzeugt. Die Vorstellung der Patientenfotos wird mit Microsoft PowerPoint Version 14.5.2 durchgeführt. Die teilnehmenden Zahnärzte entscheiden direkt nach der Präsentation der Patientenfotos, welche Abweichung in der vertikalen Dimension vorliegt. Die Betrachtung der Patientenfotos und die Entscheidung erfolgen innerhalb von ca. 30 Sekunden. Danach werden direkt die Fotos des nächsten Patienten präsentiert. Die vier teilnehmenden Zahnärzte nehmen ihre fachliche Einschätzung ohne Hilfsmittel oder Hilfslinien lediglich anhand der vorgestellten Fotos vor. Die Dokumentation der Entscheidung der teilnehmenden Zahnärzte erfolgt mithilfe von Microsoft Excel Version 14.5.2. Die Reproduzierbarkeit der Einschätzung durch denselben teilnehmenden Zahnarzt (Intrarater Agreement) wird mittels Cohens Kappa beschrieben. Für die Untersuchung der Übereinstimmung der Einschätzung verschiedener teilnehmender Zahnärzte (Interrater Agreement) wird Kappa nach Fleiss angewandt. Die Prüfung des Intra- und Interrater Agreements werden mit der Statistiksoftware R Version 4.1.1, Pakete vcd und DescTools durchgeführt (102-104). Die endgültige

Festlegung der Kategorisierung jedes Patienten anhand der 8 Fotobewertungen erfolgt durch Mehrheitsentscheidung. Wenn keine Mehrheitsentscheidung möglich ist, wird der arithmetische Mittelwert der Bewertungen gebildet und der Patient der entsprechenden Kategorie zugeordnet. Sofern gerundet werden muss, wird bei einer Abweichung von 0,5 zur neutraleren Kategorie hin gerundet.

3.3 Auswertung der Fernröntgenseitenbilder

3.3.1 Kalibrierung der Untersucherinnen

Vor der definitiven Auswertung der Fernröntgenseitenbilder erfolgt eine Kalibrierung der beiden auswertenden Untersucherinnen. Sowohl die Kalibrierung als auch die definitive Auswertung der Fernröntgenseitenbilder erfolgen mithilfe des Programms fr-win Version 8.2.1.270. Für die beiden Untersucherinnen werden jeweils 10 unterschiedliche Fernröntgenseitenbilder von Patienten, die in dieser Arbeit betrachtet werden, zufällig ausgewählt. Diese insgesamt 20 Fernröntgenseitenbilder werden in randomisierter Reihenfolge ausgewertet. Darauf folgen eine einwöchige Pause und eine zweite Auswertung der Patientenfotos in neu randomisierter Reihenfolge. Im Anschluss an die zweite Auswertung erfolgt eine Besprechung. Darauf folgt eine erneute Auswertung von fünf anderen zufällig ausgewählten Fernröntgenseitenbildern in randomisierter Reihenfolge. Diesmal werden die gleichen fünf Fernröntgenseitenbilder von den beiden Untersucherinnen ausgewertet. Darauf folgt eine erneute Besprechung der Auswertungen mit der Betreuerin, um die sichere Lokalisation der kephalometrischen Referenzpunkte durch die Untersucherinnen zu gewährleisten.

3.3.2 Durchführung der Auswertung der Fernröntgenseitenbilder

Die definitive Auswertung der Fernröntgenseitenbilder durch die beiden kalibrierten Untersucherinnen erfolgt in zwei Durchgängen. Die FRS der Patienten werden in zwei verschiedenen randomisierten Reihenfolgen ausgewertet. Die Randomisierung wird mit Microsoft Excel Version 14.5.2 erzeugt. Zwischen den beiden Durchgängen der Auswertung wird eine einwöchige Pause eingehalten. Aus den vier Auswertun-

gen resultieren je Patient und FRS-Parameter vier Werte. Die Werte werden für die weitere Untersuchung manuell von fr-win Version 8.2.1.270 in Microsoft Excel Version 14.5.2 übertragen. Die Daten werden mittels deskriptiver Statistik auf Übertragungsfehler überprüft. Hierzu werden Mittelwert, Standardabweichung, Minimalwert, erstes Quartil, Median, drittes Quartil und Maximum für alle vier Auswertungen je FRS-Parameter mit SAS Version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2016) in einer Tabelle untereinander dargestellt und auf Plausibilität geprüft.

Zur Beschreibung der Übereinstimmung der FRS-Untersucherinnen werden die Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) für alle FRS-Parameter mit einem 95%-Konfidenzintervall (KI) mithilfe von SAS PROC VARCOMP berechnet. Darüber hinaus werden, ebenfalls in SAS, für jeden FRS-Parameter die Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen jeweils zwei der vier Auswertungen berechnet und Scatterplots und Bland-Altman-Plots zu den vier Auswertungen erzeugt.

Zur Untersuchung der FRS-Parameter wird eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Diese dient der Dimensionsreduktion der Merkmale zur analytischen Betrachtung. Die Hauptkomponentenanalyse erfolgt mit der Statistiksoftware SAS PROC PRINCOMP Version 9.4.

Zur weiteren Untersuchung der FRS-Parameter wird eine Clusteranalyse im „complete linkage“ Verfahren durchgeführt. Dies erfolgt mithilfe der Statistiksoftware R Version 4.1.1.

3.3.3 Beschreibung der im Fernröntgenseitenbild erhobenen Parameter der vertikalen Dimension

Folgende Parameter des vertikalen Gesichtsschädelaufbaus werden erhoben:

- Fazialachsenwinkel
- Y-Achsen-Winkel
- NL-NSL-Winkel
- Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale
- Occl-NSL-Winkel
- Oberer Okklusionswinkel
- Unterkieferebenenwinkel
- Untere Gesichtshöhe nach Ricketts

- Summenwinkel
- Unterer Gonionwinkel (Go2)
- Basiswinkel
- ML-NSL-Winkel
- Unterer Okklusionswinkel
- Verhältnis zwischen unterem Okklusionswinkel und Basiswinkel (OP-MP/PP-MP)
- Index/Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe
 - Mittlere Gesichtshöhe
 - Untere Gesichtshöhe
- Gesichtshöhenverhältnis (FHR)
 - Hintere Gesichtshöhe
 - Vordere Gesichtshöhe
- Unterkieferbogenwinkel
- Gonialwinkel
- Sattelwinkel
- Artikularwinkel
- Oberer Gonionwinkel (Go1)

Es folgt eine tabellarische Auflistung der oben genannten verwendeten FRS-Parameter mit Angabe von Landmarks/Bezugsebenen, Autor, Normwert und Standardabweichung in Tabelle 3.

FRS-Parameter	Landmarks/ Bezugsebenen	Autor	Normwert ±SD
Fazialachsenwinkel	N-Ba zu Pt-Gnk	Ricketts (14, 15)	90±3,0° (-)
Y-Achsen-Winkel	N-S-Gnk	Bushra/Downs (2, 33, 78, 81)	66±3,0° (+)
NL-NSL-Winkel	NL zu NSL	Hasund (32, 85), Segner (82)	8±3° (+)
Winkel zwischen Spina- planum und Frankfurter Horizontale	FFH zu NL	Ricketts (13)	0±2,5° (+)
Occl-NSL-Winkel	Occl zu NSL	Steiner modifiziert nach Batwa (22, 93, 94)	14±2,5° (+)
Oberer Okklusionswin- kel	NL zu Occl	Björk (39)	9±4,0° (+)
Unterkieferebenenwinkel	FFH zu Go-Me	Ricketts (13, 14)	26±4,0° (+)
Untere Gesichtshöhe nach Ricketts	Spa-Xi zu Xi- Pm	Ricketts (13)	46±3,0° (+)
Summenwinkel	N-S-Ar zu S-Ar- Go zu Ar-Go- Me	Björk (23, 33, 39)	396±6,0° (+)
Unterer Gonionwinkel (Go2)	N-Go-Me	Jarabak (23)	72,5±2,5° (+)
Basiswinkel	NL zu ML	A. M. Schwarz (32, 49)	20±5,0° (+)
ML-NSL-Winkel	ML-NSL	Schudy (27, 97)	32±5° (+)
Unterer Okklusionswin- kel	Occl zu ML	Schudy (27, 32, 33, 98)	16° (+)
Verhältnis zwischen un- terem Okklusionswinkel und Basiswinkel (OP-MP/PP-MP)	Occl-ML/NL-ML	Sato (86, 100, 105)	0,55±0,2° (+)
Index/Verhältnis zwi- schen mittlerer und un- terer Gesichtshöhe	(N-Spa / Spa- Gnk) *100	Hasund (84, 85)	80±9,0% (-)
Gesichtshöhenverhältnis (FHR)	(S-Go / N-Me) *100	Schudy (23, 27, 33)	63,5±1,5% (-)
Unterkieferbogenwinkel	Xi-DC zu Xi-Pm	Ricketts (13, 14)	26±4,0° (-)
Gonialwinkel	Ar-Go-Me	Björk (39)	130±7,0° (+)
Sattelwinkel	N-S-Ar	Björk (39)	123±5,0° (+)
Artikularwinkel	S-Ar-Go	Björk (23, 32, 33, 39)	143±6,0° (+)
Oberer Gonionwinkel (Go1)	N-Go-Ar	Jarabak (23)	53,5±1,5° (-)

Tabelle 3: FRS-Parameter Die Tabelle führt die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Parameter zur Kategorisierung der vertikalen Wachstumskategorie der Patienten anhand des FRS auf. Es werden die Bezeichnung der Parameter, die Landmarks beziehungsweise Ebenen aus denen sie sich zusammensetzen, der Autor und der Normwert mit Standardabweichung (SD) genannt. Zusätzlich beschreibt (+) eine vertikale Wachstumskategorie bei vergrößertem Wert des Parameters. Hingegen beschreibt (-) eine vertikale Wachstumskategorie bei verkleinertem Wert des Parameters. Die Wachstumsabhängigkeit der Normwerte der Parameter Unterkieferebenenwinkel und Unterkieferbogenwinkel nach Ricketts wird berücksichtigt.

3.3.4 Einteilung des Gesichtsschädelaufbaus in 5 Kategorien

Für die Definition der Wachstumskategorien der Parameter werden deren Normwerte und Standardabweichungen verwendet. Die genaue Festlegung der fünf Wachstumskategorien ist in Tabelle 4 dargestellt. Die Kategorien werden numerisch mit Zahlen von 1 bis 5 codiert, wobei 1 für horizontal, 2 für neutral mit horizontaler Tendenz, 3 für neutral, 4 für neutral mit vertikaler Tendenz und 5 für vertikal steht.

Wachstumskategorie	Wertebereich entsprechend Normwert und Standardabweichung (SD)	Fazialachsenwinkel (Wertebereich in Grad)	Basiswinkel (Wertebereich in Grad)
Vertikal	> Normwert + 2 SD oder < Normwert - 2 SD	$\leq 83,9$	$\geq 30,1$
Neutral mit vertikaler Tendenz	> Normwert + (1 - 2) SD oder < Normwert - (1 - 2) SD	86,9 - 84	25,1 - 30
Neutral	Normwert $\pm$ 1 SD	90 $\pm$ 3 SD	20 $\pm$ 5 SD
Neutral mit horizontaler Tendenz	< Normwert - (1 - 2) SD oder > Normwert + (1 - 2) SD	93,1 - 96	14,9 - 10
Horizontal	< Normwert - 2 SD oder > Normwert + 2 SD	$\geq 96,1$	$\leq 9,9$

Tabelle 4: Die fünf Wachstumskategorien der vertikalen DimensionDie Wertebereiche der Wachstumskategorien sind am Beispiel des Fazialachsenwinkels und des Basiswinkels aufgezeigt. Sie werden festgelegt wie folgt: Die Kategorie „neutral“ wird als der Normwert $\pm$ eine Standardabweichung definiert (14). Die Kategorien „neutral mit vertikaler Tendenz“ und „neutral mit horizontaler Tendenz“ werden je nach Parameter als Normwert > 1 bis einschließlich $+ 2$ Standardabweichungen oder als Normwert < 1 bis einschließlich $- 2$ Standardabweichungen definiert. Die Kategorien „vertikal“ und „horizontal“ werden je nach Parameter als Normwert > 2 Standardabweichungen oder als Normwert < 2 Standardabweichungen definiert. Bei wachstumsabhängigen Werten werden die Normwerte entsprechend dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Aufnahme des Fernröntgenseitenbildes angepasst.

Eine Ausnahme stellt der Parameter Unterer Okklusionswinkel dar. Für diesen Parameter wird keine Standardabweichung in der Literatur angegeben. Jedoch wird der Normwert genannt, welcher 16° beträgt (27). Darüber hinaus wird beschrieben, dass ein Wert $\geq 21^\circ$ für die Prognose einer Bissöffnung günstig ist (98). Weiterhin wird ein Wert unter 7° als ungünstig für die Prognose einer Bissöffnung beschrieben (98). Die Grenzen der Kategorien des Parameters Unterer Okklusionswinkel werden dementsprechend mittels quadratischer Interpolation bestimmt. In Tabelle 5 sind die daraus entstehenden Wertebereiche dargestellt.

Wachstums-kategorie	vertikal	neutral mit vertikaler Tendenz	neutral	neutral mit horizontaler Tendenz	horizontal
Wertebereich in Grad	≥ 21	20,9 - 17,8	17,7 - 13,5	13,49 - 7,1	≤ 7

Tabelle 5: Grenzen der Kategorisierung des Parameters Unterer Okklusionswinkel

3.3.5 Eigene Kategorisierung durch Mittelwertbildung

Zur weiteren Untersuchung der Kategorisierung der Patienten durch die FRS-Parameter anhand der Normwerte und Standardabweichungen aus der Literatur werden die FRS-Parameter in 6 Gruppen eingeteilt. Die 6 Gruppen sind in Tabelle 6 dargestellt. Die Einteilung in Gruppen nach Bezugsebenen beziehungsweise Hauptmerkmalen dient dazu, FRS-Parameter mit ähnlicher Aussagekraft zusammenzufassen und somit folgende Untersuchungen, unter anderem mit Gewichtung der FRS-Parameter, zu erleichtern. Ausgenommen aus der Gruppenbildung werden die FRS-Parameter Sattelwinkel, Artikularwinkel und Oberer Gonionwinkel (Go1). Diese Parameter werden nicht miteinbezogen, da sie primär zur Bildung der berücksichtigten FRS-Parameter Summenwinkel, Gonialwinkel und Unterer Gonionwinkel dienen.

Gruppe	Bezugsebenen/ Hauptmerkmale	FRS-Parameter
1	Wachstumsachse	Fazialachsenwinkel
		Y-Achsen-Winkel
2	Spinaplanum	NL-NSL-Winkel
		Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale
3	Okklusionsebene	Occl-NSL-Winkel
		Oberer Okklusionswinkel
4	Mandibularplanum	Unterkieferenebenenwinkel
		Untere Gesichtshöhe nach Ricketts
		Summenwinkel
		Unterer Gonionwinkel (Go2)
		Basiswinkel
		ML-NSL-Winkel
		Unterer Okklusionswinkel
		Verhältnis zwischen unterem Okklusionswinkel und Basiswinkel (OP-MP/PP-MP)
5	Parameter bestehend aus Indices	Index/Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe
		Gesichtshöhenverhältnis (FHR)
6	Bezug auf den Kieferwinkel	Unterkieferbogenwinkel
		Gonialwinkel

Tabelle 6: Einteilung von 18 der 21 FRS-Parameter in Gruppen entsprechend ihrer Bezugsebenen beziehungsweise Hauptmerkmale

Aus den numerischen Kategoriewerten werden ungewichtete und gewichtete Mittelwerte gebildet, woraus sich dann eine zusammengefasste Kategorie $\bar{k}$ ergibt, die gemäß Tabelle 7 interpretiert wird. Für das gewichtete Mittel werden die Parameter in Gruppe 1 und Gruppe 4 zweifach gewichtet, die Parameter in Gruppe 2, 3, 5 und 6 werden einfach gewichtet. Die Gruppen 1 und 4 werden zweifach gewichtet, da sie insgesamt fünf FRS-Parameter enthalten, welche als besonders geeignet zu Bestimmung der vertikalen Wachstumskategorie gelten (25).

$\bar{k}$	Kategorie
$\bar{k} < 1.5$	Horizontal
$1.5 \leq \bar{k} < 2.5$	Neutral mit horizontaler Tendenz
$2.5 \leq \bar{k} \leq 3.5$	Neutral
$3.5 < \bar{k} \leq 4.5$	Neutral mit vertikaler Tendenz
$\bar{k} > 4.5$	Vertikal

Tabelle 7: Zuordnung der gemittelten Kategoriewerte zu zusammengefassten Kategorien

4 Ergebnisse

Die vorliegenden Grafiken und Berechnungen wurden mit der Statistiksoftware SAS Version 9.4, der Statistiksoftware und Programmiersprache R Version 4.1.1, dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel Version 14.5.2 und dem Textverarbeitungsprogramm Word Version 14.5.2 erzeugt.

4.1 Fotobewertung

4.1.1 Intrarater Agreement

Um die Fotobewertung der teilnehmenden Zahnärzte zu prüfen, wird zunächst das Intrarater Agreement bestimmt. Das Intrarater Agreement wird einmal ohne Gewichtung der Kategorisierung der Patienten bestimmt. Dementsprechend wird lediglich eine in beiden Durchgängen gleiche Kategorisierung der Patienten als richtig gewertet. Außerdem wird das Intrarater Agreement mit Gewichtung der Kategorisierung der Patienten bestimmt. Diese Gewichtung ist in Tabelle 8 dargestellt. Sofern der Zahnarzt einen Patienten in beiden Durchgängen gleich kategorisiert, wird die Kategorisierung einfach gewertet. Weicht die Bewertung durch den Zahnarzt bei dem zweiten Durchgang um eine Kategorie ab, so wird die Kategorisierung mit einer Gewichtung von 0.75 gewertet. Weicht der Zahnarzt bei dem zweiten Durchgang der Kategorisierung im Vergleich zum ersten Durchgang um mehr als eine Kategorie ab, so wird die Kategorisierung mit einer Gewichtung von 0,00 gewertet und somit als falsch angesehen.

Kategorie	1	2	3	4	5
1	1,00	0,75	0,00	0,00	0,00
2	0,75	1,00	0,75	0,00	0,00
3	0,00	0,75	1,00	0,75	0,00
4	0,00	0,00	0,75	1,00	0,75
5	0,00	0,00	0,00	0,75	1,00

Tabelle 8: Gewichtsmatrix Intrarater Agreement Fotobewertung Gewichtung der Kategorisierung der Patienten bei der Bestimmung des Intrarater Agreements. Sofern der Zahnarzt einen Patienten in beiden Durchgängen gleich kategorisiert, wird die Kategorisierung einfach gewertet. Weicht die Bewertung durch den Zahnarzt bei dem zweiten Durchgang um eine Kategorie ab, so wird die Kategorisierung mit einer Gewichtung von 0,75 gewertet. Weicht der Zahnarzt bei dem zweiten Durchgang der Kategorisierung im Vergleich zum ersten Durchgang um mehr als eine Kategorie ab, so wird die Kategorisierung mit einer Gewichtung von 0,00 gewertet und somit als falsch angesehen.

Das Intrarater Agreement der vier teilnehmenden Zahnärzte, welche als Bewerter aufgelistet sind, ist in Tabelle 9 dargestellt. Das Intrarater Agreement wird mittels Cohens Kappa untersucht. Ohne die oben beschriebene Gewichtung der Kategorisierung der Bewerter liegt das größte Intrarater Agreement bei $\kappa = 0,454$. Dies bedeutet eine moderate Reliabilität (106). Eine Gewichtung der Kategorisierungen ergibt als größte Übereinstimmung ein Intrarater Agreement von $\kappa = 0,645$. Dies bedeutet eine beträchtliche Reliabilität (106). Die beiden größten Intrarater Agreements werden von Bewerter 3 erzielt und sind in Tabelle 9 hervorgehoben.

Bewerter	Gewichtet	κ	95% KI
1	nein	0,297	[0,194; 0,401]
1	ja	0,498	[0,386; 0,61]
2	nein	0,234	[0,141; 0,327]
2	ja	0,396	[0,284; 0,508]
3	nein	0,454	[0,357; 0,551]
3	ja	0,645	[0,553; 0,737]
4	nein	0,253	[0,161; 0,344]
4	ja	0,469	[0,369; 0,569]

Tabelle 9: Intrarater Agreement Fotobewertung Das Intrarater Agreement wird mittels Cohens Kappa untersucht. Ohne Gewichtung der Kategorisierung der Bewerter liegt das größte Intrarater Agreement bei $\kappa = 0,454$. Dies bedeutet eine moderate Reliabilität (106). Eine Gewichtung der Kategorisierung ergibt als größte Übereinstimmung ein Intrarater Agreement von $\kappa = 0,645$. Dies bedeutet eine beträchtliche Reliabilität (106). Die beiden größten Intrarater Agreements werden von Bewerter 3 erzielt und sind in der Tabelle hervorgehoben.

4.1.2 Interrater Agreement

Das Interrater Agreement drückt die Übereinstimmung der vier teilnehmenden Zahnärzte untereinander bezüglich ihrer Kategorisierung aus. Für das Interrater Agreement der Kategorisierung der vier teilnehmenden Zahnärzte erhält man nach der Methode von Fleiss $\kappa = 0,197$ bei einem 95%-Konfidenzintervall von $[0,165; 0,229]$. Dieser Wert drückt eine im Vergleich zum Intrarater Agreement geringere Übereinstimmung der Kategorisierung der Zahnärzte untereinander als jeweils mit sich selbst aus. Die Interrater Reliabilität ist als schlecht zu bezeichnen (106).

Entsprechend der Ergebnisse des Intra- und Interrater Agreements ist eine Verwendung der Fotoanalyse als Goldstandard zur weiteren statistischen Analyse der FRS-Parameter aufgrund der fehlenden Reproduzierbarkeit nicht angezeigt.

4.2 FRS-Analyse

4.2.1 Korrelation der FRS-Untersucher

Zur Untersuchung der Korrelation der FRS-Untersucher werden zunächst die Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) für die FRS-Parameter mit einem 95%-Konfidenzintervall (KI) berechnet. Anhand der ICC werden im Anschluss die FRS-Parameter mit dem höchsten ICC, dem Mittelwert des ICC und dem niedrigsten ICC exemplarisch für die weitere Darstellung ausgewählt. Diese sind in Tabelle 10 mit den ICC der restlichen FRS-Parameter aufgeführt und markiert. Obwohl der FRS-Parameter Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale den geringsten ICC aufweist, deutet sein Wert von über 0,8 immer noch auf eine fast perfekte Reliabilität hin (106). Aus den hohen Werten des ICC ist somit zu erkennen, dass der Großteil der Streuung der Werte auf die Unterschiede im Patientenkollektiv und nicht auf Fehler der Untersucher zurückzuführen ist.

FRS-Parameter	ICC
Fazialachsenwinkel	0,945
Y-Achsen-Winkel	0,978
NL-NSL-Winkel	0,926
Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	0,892
Occl-NSL-Winkel	0,955
Oberer Okklusionswinkel	0,921
Unterkieferebenenwinkel	0,951
Untere Gesichtshöhe nach Ricketts	0,963
Summenwinkel	0,979
Unterer Gonionwinkel (Go2)	0,986
Basiswinkel	0,979
ML-NSL-Winkel	0,979
Unterer Okklusionswinkel	0,943
OP-MP/PP-MP	0,919
Index	0,981
Gesichtshöhenverhältnis (FHR)	0,974
Unterkieferbogenwinkel	0,896
Gonialwinkel	0,976
Sattelwinkel	0,972
Artikularwinkel	0,965
Oberer Gonionwinkel (Go1)	0,965

Tabelle 10: Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) - Anteil der Varianz zwischen den Patienten an der Gesamtvarianz in absoluten Zahlen Die ICC der FRS-Parameter wurden mit einem 95%-Konfidenzintervall (KI) berechnet. Der Untere Gonionwinkel (Go2) weist mit ICC = 0,986 den größten Wert auf. Der ICC des Parameters Occl-NSL-Winkel entspricht mit einem Wert von 0,955 dem arithmetischen Mittelwert aller angegebenen ICC. Der Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale weist mit ICC = 0,892 den geringsten Wert auf.

Zur weiteren Untersuchung des Intra- und Interrater Agreements der FRS-Untersucher werden die Pearson-Korrelationskoeffizienten für alle FRS-Parameter berechnet und Scatterplots und Bland-Altman-Plots erzeugt. Es folgen die Pearson-Korrelationskoeffizienten, Scatterplots und Bland-Altman-Plots der exemplarisch ausgewählten FRS-Parameter Unterer Gonionwinkel, Occl-NSL-Winkel und Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale. Die Daten der restlichen FRS-Parameter sind dem Anhang unter 8.3 und 8.4 zu entnehmen.

Unterer Gonionwinkel (Go2)

Wie Tabelle 10 zu entnehmen ist, stellt der Untere Gonionwinkel (Go2) mit einem Wert von 0,986 den Parameter mit dem größten Intraklassenkorrelationskoeffizienten dar. Es folgen die zum Parameter zugehörigen Pearson-Korrelationskoeffizienten, Scatterplots und Bland-Altman Plots.

Pearson-Korrelationskoeffizienten				
	Messung 1.1	Messung 1.2	Messung 2.1	Messung 2.2
Messung 1.1 U1, A1	1,00000	0,99579 <,0001	0,99023 <,0001	0,98850 <,0001
Messung 1.2 U1, A2	0,99579 <,0001	1,00000	0,99096 <,0001	0,99026 <,0001
Messung 2.1 U2, A1	0,99023 <,0001	0,99096 <,0001	1,00000	0,99493 <,0001
Messung 2.2 U2, A2	0,98850 <,0001	0,99026 <,0001	0,99493 <,0001	1,00000

Tabelle 11: Pearson-Korrelationskoeffizienten Parameter Unterer Gonionwinkel (Go2) Die Pearson-Korrelationskoeffizienten des Parameters Unterer Gonionwinkel werden in einer Kreuztabelle dargestellt. Es werden die Untersucher 1 (U1) und 2 (U2) und die beiden Auswertungen 1 (A1) und 2 (A2) berücksichtigt. Somit werden Intra- und Interrater Agreement betrachtet. Sobald ein Wert größer als 0,8 ist, wird eine starke Korrelation beobachtet (106).

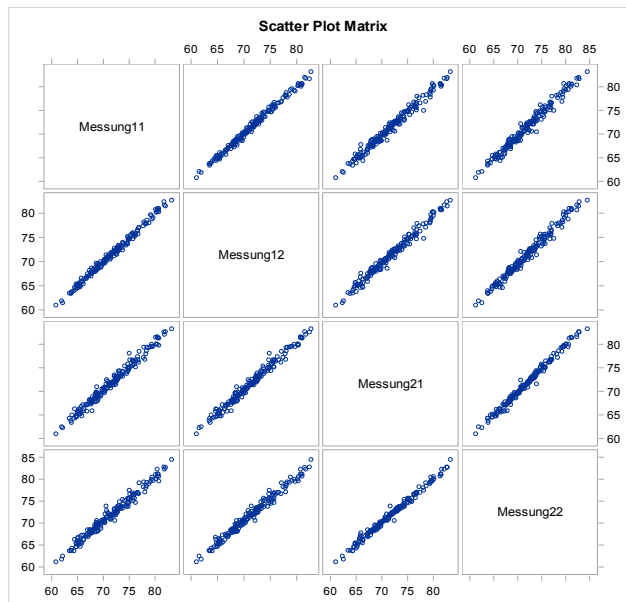


Abbildung 24: Scatterplot Matrix Parameter Unterer Gonionwinkel (Go2) Die Streudiagramme des Parameters Unterer Gonionwinkel (Go2) werden entsprechend den Pearson-Korrelationskoeffizienten in Form einer Scatterplot Matrix dargestellt. Es werden die Untersucher 1 und 2 und die Durchgänge 1 und 2 der FRS-Analyse berücksichtigt. Somit werden Intra- und Interrater Agreement betrachtet. Messung 11 beschreibt Untersucher 1 und Durchgang 1.

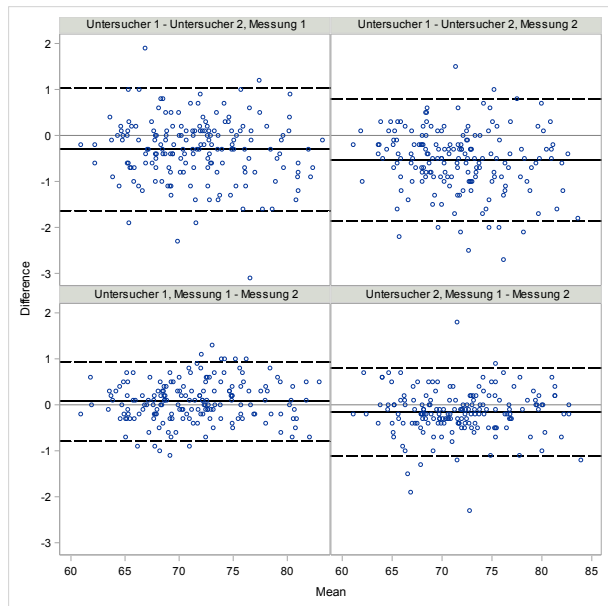


Abbildung 25: Bland-Altman Plots Parameter Unterer Gonionwinkel (Go2) Die Bland-Altman-Plots des Parameters Unterer Gonionwinkel (Go2) betrachten jeweils zwei FRS-Auswertungen. Es werden die Untersucher 1 und 2 und die beiden Durchgänge, bezeichnet als Messung 1 und 2, berücksichtigt. Somit werden Intra- und Interrater Agreement betrachtet. Difference bezeichnet die Differenz zwischen den jeweiligen beiden Messungen. Mean beschreibt den Mittelwert der jeweiligen beiden FRS-Auswertungen. Die durchgezogene Linie entspricht dem systematischen Unterschied zwischen den beiden Messungen (Bias), die gestrichelten Linien geben die sogenannten Limits of Agreement an - zwischen diesen Werten sind 95% der Differenzen zu erwarten. Die Bland-Altman Plots dienen zur graphischen Darstellung und Prüfung der Bedeutung von Abweichungen zwischen Messungen.

Aus den Bland-Altman Plots des FRS-Parameters Unterer Gonionwinkel lässt sich ablesen, dass Untersucher 1 sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Messung niedrigere Werte als Untersucher 2 misst, Die Abweichungen zwischen jeweils zwei Messungen sind sowohl bei Untersucher 1 als auch bei Untersucher 2 sehr gering.

Occl-NSL-Winkel

Wie Tabelle 10 zu entnehmen ist entspricht der Wert des Occl-NSL-Winkels mit 0,955 dem arithmetischen Mittelwert aller angegebenen ICC. Es folgen die zum Parameter zugehörigen Pearson-Korrelationskoeffizienten, Scatterplots und Bland-Altman Plots.

Pearson-Korrelationskoeffizienten				
	Messung 1.1	Messung 1.2	Messung 2.1	Messung 2.2
Messung 1.1 U1, A1	1,00000	0,98230 <,0001	0,95931 <,0001	0,95142 <,0001
Messung 1.2 U1, A2	0,98230 <,0001	1,00000	0,95308 <,0001	0,95954 <,0001
Messung 2.1 U2, A1	0,95931 <,0001	0,95308 <,0001	1,00000	0,95724 <,0001
Messung 2.2 U2, A2	0,95142 <,0001	0,95954 <,0001	0,95724 <,0001	1,00000

Tabelle 12: Pearson-Korrelationskoeffizienten Parameter Occl-NSL-Winkel Die Pearson-Korrelationskoeffizienten des Parameters Occl-NSL-Winkel werden in einer Kreuztabelle dargestellt. Es werden die Untersucher 1 (U1) und 2 (U2) und die beiden Auswertungen 1 (A1) und 2 (A2) berücksichtigt. Somit werden Intra- und Interrater Agreement betrachtet. Sobald ein Wert größer als 0,8 ist, wird eine starke Korrelation beobachtet (106).

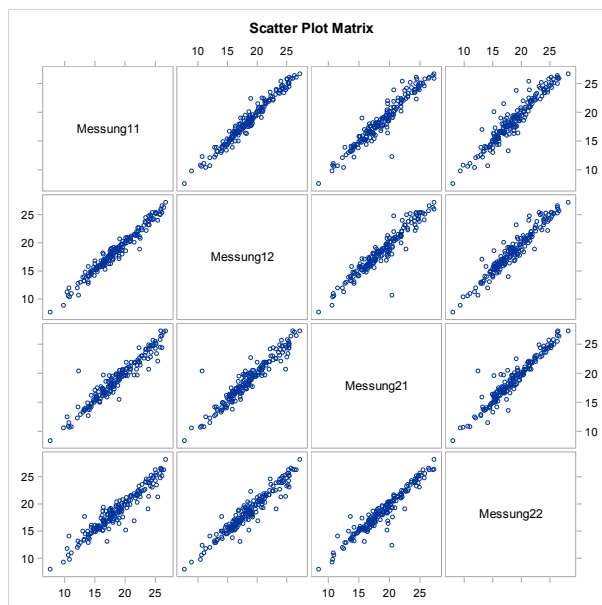


Abbildung 26 Scatterplot Matrix Parameter Occl-NSL-Winkel Die Streudiagramme des Parameters Occl-NSL-Winkel werden entsprechend den Pearson-Korrelationskoeffizienten in Form einer Scatterplot Matrix dargestellt. Es werden die Untersucher 1 und 2 die Durchgänge 1 und 2 der FRS-Analyse berücksichtigt. Somit werden Intra- und Interrater Agreement betrachtet. Messung 11 beschreibt Untersucher 1 und Durchgang 1.

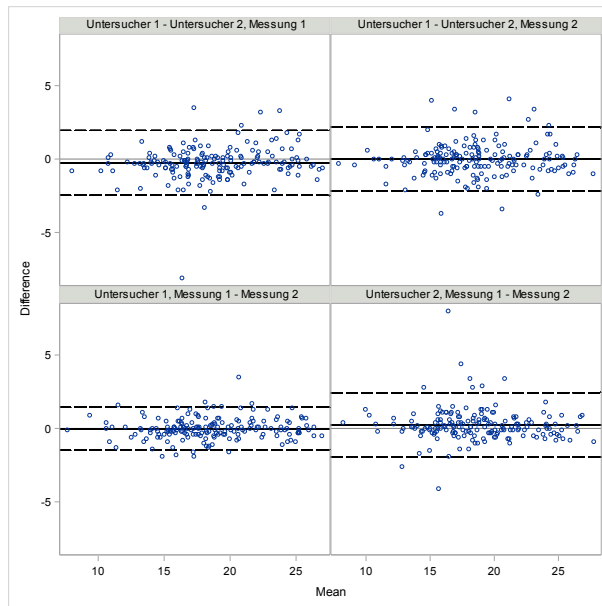


Abbildung 27: Bland-Altman Plots Parameter Occl-NSL-Winkel Die Bland-Altman-Plots des Parameters Occl-NSL-Winkel betrachten jeweils zwei FRS-Auswertungen. Es werden die Untersucher 1 und 2 und die beiden Durchgänge, bezeichnet als Messung 1 und 2, berücksichtigt. Somit werden Intra- und Interrater Agreement betrachtet. Difference bezeichnet die Differenz zwischen den jeweiligen beiden Messungen. Mean beschreibt den Mittelwert der jeweiligen beiden FRS-Auswertungen. Die durchgezogene Linie entspricht dem systematischen Unterschied zwischen den beiden Messungen (Bias), die gestrichelten Linien geben die sogenannten Limits of Agreement an - zwischen diesen Werten sind 95% der Differenzen zu erwarten. Die Bland-Altman Plots dienen zur graphischen Darstellung und Prüfung der Bedeutung von Abweichungen zwischen Messungen.

Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale

Wie Tabelle 10 zu entnehmen ist, stellt der Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale mit einem Wert von 0,892 den Parameter mit dem geringsten Intraklassenkorrelationskoeffizienten dar. Es folgen die zum Parameter zugehörigen Pearson-Korrelationskoeffizienten, Scatterplots und Bland-Altman Plots.

Pearson-Korrelationskoeffizienten				
	Messung 1.1	Messung 1.2	Messung 2.1	Messung 2.2
Messung 1.1 U1, A1	1,00000	0,97990 <,0001	0,90202 <,0001	0,90315 <,0001
Messung 1.2 U1, A2	0,97990 <,0001	1,00000	0,90031 <,0001	0,89188 <,0001
Messung 2.1 U2, A1	0,90202 <,0001	0,90031 <,0001	1,00000	0,93973 <,0001
Messung 2.2 U2, A2	0,90315 <,0001	0,89188 <,0001	0,93973 <,0001	1,00000

Tabelle 13: Pearson-Korrelationskoeffizienten Parameter Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale Die Pearson-Korrelationskoeffizienten des Parameters Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale werden in einer Kreuztabelle dargestellt. Es werden die Untersucher 1 (U1) und 2 (U2) und die beiden Auswertungen 1 (A1) und 2 (A2) berücksichtigt. Somit werden Intra- und Interrater Agreement betrachtet. Sobald ein Wert größer als 0,8 ist, wird eine starke Korrelation beobachtet (106).

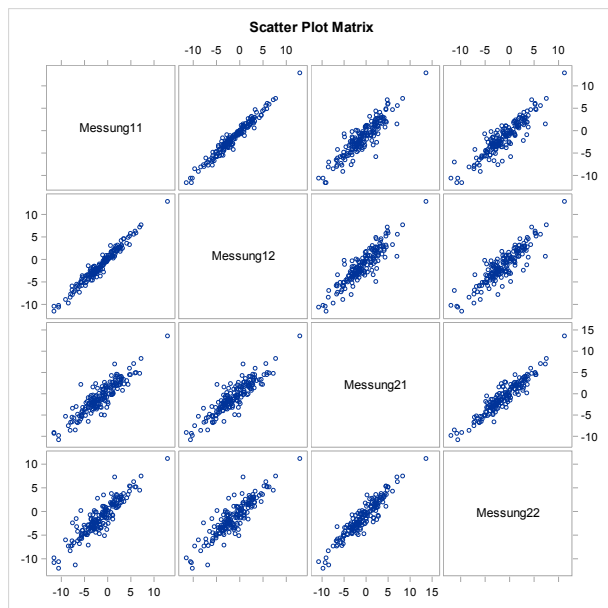


Abbildung 28: Scatterplot Matrix Parameter Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale Die Streudiagramme des Parameters Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale werden entsprechend den Pearson-Korrelationskoeffizienten in Form einer Scatterplot Matrix dargestellt. Es werden die Untersucher 1 und 2 die beiden Durchgänge der FRS-Analyse berücksichtigt. Somit werden Intra- und Interrater Agreement betrachtet. Messung 11 beschreibt Untersucher 1 und Durchgang 1.

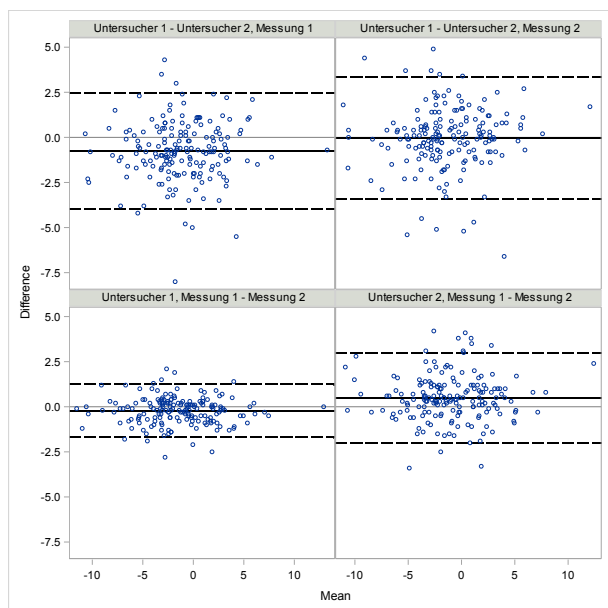


Abbildung 29: Bland-Altman Plots Parameter Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale Die Bland-Altman-Plots des Parameters Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale betrachten jeweils zwei FRS-Auswertungen. Es werden die Untersucher 1 und 2 und die Durchgänge 1 und 2, bezeichnet als Messung 1 und 2, berücksichtigt. Somit werden Intra- und Interrater Agreement betrachtet. Difference bezeichnet die Differenz zwischen den jeweiligen beiden Messungen. Mean beschreibt den Mittelwert der jeweiligen beiden FRS-Auswertungen. Die durchgezogene Linie entspricht dem systematischen Unterschied zwischen den beiden Messungen (Bias), die gestrichelten Linien geben die sogenannten Limits of Agreement an - zwischen diesen Werten sind 95% der Differenzen zu erwarten. Die Bland-Altman Plots dienen zur graphischen Darstellung und Prüfung der Bedeutung von Abweichungen zwischen Messungen.

Da die Korrelation der FRS-Untersucher stark ist, wird für die weiteren Untersuchungen je FRS-Parameter der Mittelwert der 4 Messungen 1.1, 1.2, 2.1 und 2.2 verwendet. Anhand dieser Mittelwerte werden die Kategorien der FRS-Parameter aus der Literatur weiter untersucht.

4.2.2 Hauptkomponentenanalyse

Es wird eine Hauptkomponentenanalyse zur Dimensionsreduktion der Merkmale der FRS-Parameter durchgeführt. Linearkombinationen der standardisierten FRS-Parameter werden zu Hauptkomponenten zusammengefasst. Mittels der Hauptkomponentenanalyse werden die FRS-Parameter orthogonalisiert. In Abbildung 30 ist dem dargestellten Scree Plot zu entnehmen, dass Hauptkomponente 1 bereits die meiste Information trägt. Mit Hauptkomponente 3 sind sogar 80% der Varianz der Werte beschrieben. Ein weiterer Knick ist bei Hauptkomponente 6 zu betrachten. Dementsprechend liefern weitere Hauptkomponenten lediglich redundante Informationen. Mit Hauptkomponente 1 sind bereits 40% der Varianz der Werte beschrieben. Darüber hinaus trägt Hauptkomponente 1 fast alle der 21 FRS-Parameter mit relevanten Anteilen in sich, sie weist eine Tendenz zur Überextraktion auf. Die zugehörige Tabelle ist im Anhang unter 8.1 aufgeführt. Die restlichen Hauptkomponenten sind im Anhang unter 8.2 zu finden, sie liefern keinen Trend zur Kategorisierung.

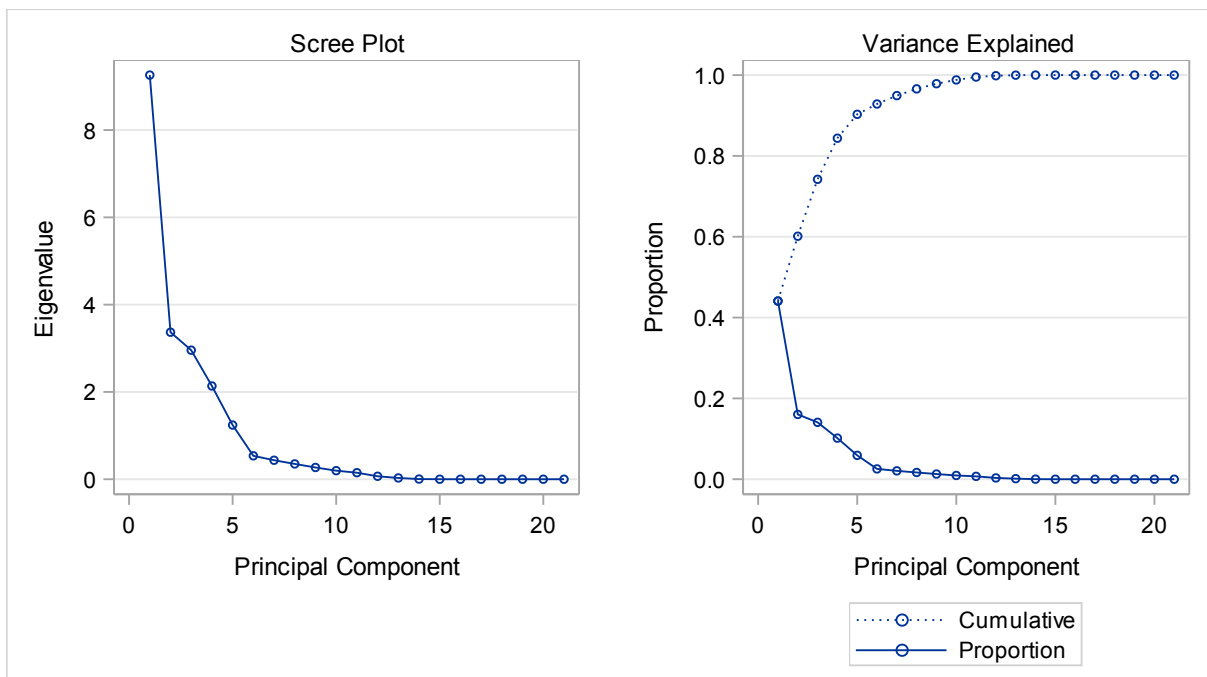


Abbildung 30: Scree Plot zur Hauptkomponentenanalyse Dem dargestellten Scree Plot ist zu entnehmen, dass Hauptkomponente 1 bereits die meiste Information trägt. Ein weiterer Knick ist bei Hauptkomponente 6 zu betrachten. Dementsprechend liefern weitere Hauptkomponenten lediglich redundante Informationen. Mit Hauptkomponente 1 sind bereits 40% der Varianz der Werte beschrieben.

Zusätzlich wird die Fotobewertung mit der Kategorisierung durch die FRS-Parameter in Beziehung gesetzt. Im Rahmen dieses Vergleichs werden die Fotobewertungen anhand von Mehrheitsentscheidungen gewertet. Wird ein Patient in den insgesamt 8 Durchgängen der vier teilnehmenden Zahnärzte verschieden kategorisiert, so wird die Kategorie des Patienten anhand der Mehrheitsentscheidung festgelegt. Dementsprechend erhält der Patient die Kategorie, welche in 5 oder mehr Durchgängen für ihn festgelegt wurde. Sofern für einen Patienten zwei Kategorien gleich oft festgelegt wurden, wird die neutralere Kategorie gewählt. Hauptkomponente 1 wird in Abbildung 31 als Boxplot dargestellt und gegen die Fotobewertung aufgetragen. Es ist zwar ein Trend der Kategorisierung durch Hauptkomponente 1 entsprechend der Fotobewertung zu beobachten, jedoch überschneiden sich die Boxplots deutlich. Demzufolge ist keine klare Kategorisierung der Patienten entsprechend der Fotobewertung anhand der FRS-Parameter aus Hauptkomponente 1 möglich.

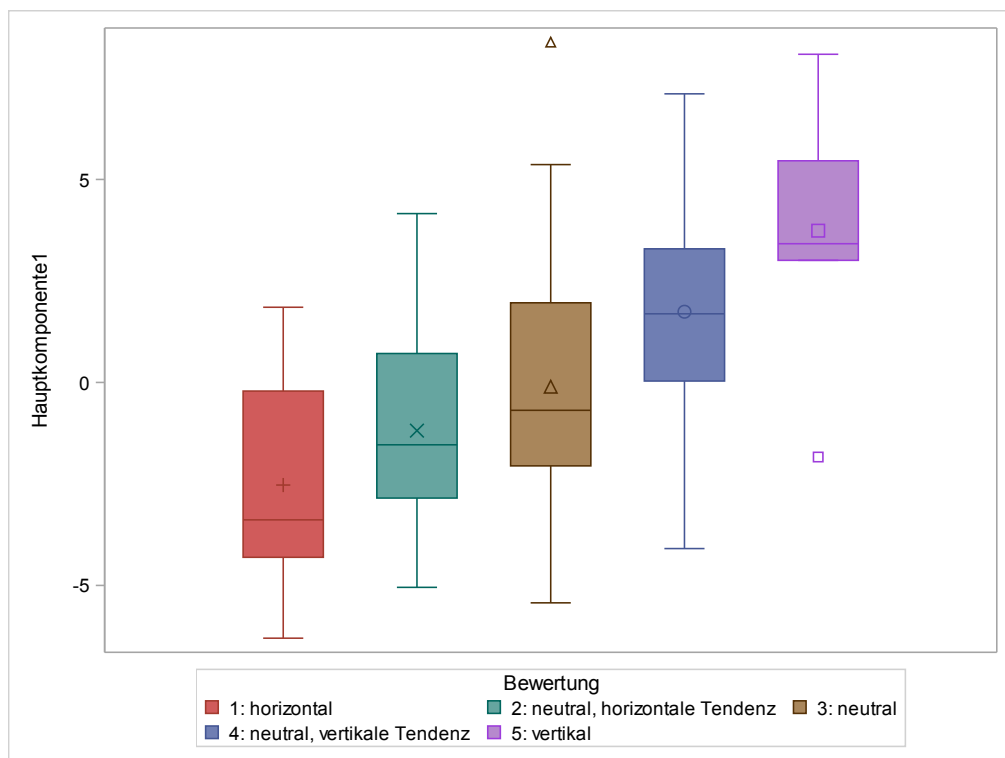


Abbildung 31 Darstellung der Hauptkomponente 1 als Boxplot Hauptkomponente 1 wird als Boxplot dargestellt und gegen die Fotobewertung aufgetragen. Es ist zwar ein Trend der Kategorisierung durch Hauptkomponente 1 entsprechend der Fotobewertung zu beobachten, jedoch überschneiden sich die Boxplots deutlich. Demzufolge ist keine klare Kategorisierung der Patienten entsprechend der Fotobewertung anhand der FRS-Parameter aus Hauptkomponente 1 möglich.

4.2.3 Clusteranalyse

Zur weiteren Untersuchung der FRS-Parameter wird eine Clusteranalyse durchgeführt. Es wird ein hierarchisches Cluster im „complete linkage“ Verfahren angewendet. Das bedeutet, dass der Abstand zwischen zwei Clustern das Maximum aller paarweisen Abstände zwischen je zwei Elementen eines Clusters nicht überschreitet. Die erstellten Cluster sind reproduzierbar, sowohl mit R Version 4.1.1 (Funktion `hclust` aus dem Paket `stats`) als auch mit SAS PROC PRINCOP Version 9.4 werden die gleichen Patientengruppen anhand der FRS-Parameter in Cluster zusammengefasst.

Durch die Clusteranalyse ergeben sich drei Cluster von Patienten, die anhand der FRS-Parameter entsprechend der vertikalen Dimension vergleichbar kategorisiert werden. 17 der 21 untersuchten FRS-Parameter tragen zu der Clusterbildung bei, nur vier Parameter eignen sich nicht. Die 17 FRS-Parameter sind in der folgenden Tabelle 14 gelistet. Folgende vier FRS-Parameter tragen nicht zur Clusterbildung bei: Summenwinkel (fast perfekt korreliert mit dem Parameter ML-NSL-Winkel), Sattelwinkel, Artikularwinkel und Oberer Gonionwinkel (Go1). Diese FRS-Parameter tragen außerdem nur sehr gering zur ersten Hauptkomponente bei.

FRS-Parameter	Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	
	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
Fazialachsenwinkel	91,67	3,55	87,73	3,25	86,06	4,3
Y-Achsen-Winkel	65,69	2,79	68,41	2,68	70,82	4,13
NL-NSL-Winkel	6,85	3,31	7,65	2,81	9,55	3,64
Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	-2,16	3,51	-2,16	3,51	0,09	3,65
Occl-NSL-Winkel	16,74	3,5	19,61	3,25	23,1	2,46
Oberer Okklusionswinkel	9,9	3,46	11,96	2,75	13,55	3,3
Unterkieferebenenwinkel	19,65	3,02	26,94	3,02	32,83	3,53
Untere Gesichtshöhe nach Ricketts	39,43	3,1	43,71	2,92	47,05	3,1
Unterer Gonionwinkel (Go2)	67,68	2,63	73,76	3,04	79,67	2,13
Basiswinkel	21,81	3,78	27,6	3,5	32,73	3,66
ML-NSL-Winkel	28,66	2,87	35,24	2,61	42,29	3,13
Unterer Okklusionswinkel	11,92	3,22	15,65	2,94	19,19	2,43
Verhältnis zwischen unterem Okklusionswinkel und Basiswinkel (OP-MP/PP-MP)	0,46	0,18	0,53	0,11	0,59	0,07
Index/Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe	86,25	7,64	83,09	7,54	81,64	7,55
Gesichtshöhenverhältnis (FHR)	68,16	2,87	63,06	2,14	57,7	2,52
Unterkieferbogenwinkel	35,54	4,09	30,41	4,38	21,64	4,03
Gonialwinkel	119,9 2	5,22	126,5 8	4,95	135,8 1	4,82

Tabelle 14: FRS-Parameter der 3 ClusterDie Tabelle listet die FRS-Parameter, welche die Patienten in drei Cluster einteilen. Zusätzlich wird der Mittelwert der FRS-Parameter der Patienten innerhalb der drei Cluster mit Standardabweichung (SD) dimensionslos angegeben.

In Abbildung 32 ist eine Heatmap mit Dendrogrammen dargestellt. Diese Abbildung gibt eine Übersicht über die unterschiedliche Verteilung der Patienten in den Clustern. Das Dendrogramm oberhalb der Heatmap zeigt auf, welche FRS-Parameter die Patienten ähnlich kategorisieren. So unterscheiden sich beispielsweise die standardisierten Werte des Unterkieferbogenwinkels und des Gonialwinkels relativ gering. Das Dendrogramm links von der Heatmap zeigt auf wie die Patienten in die drei Cluster eingeteilt werden.

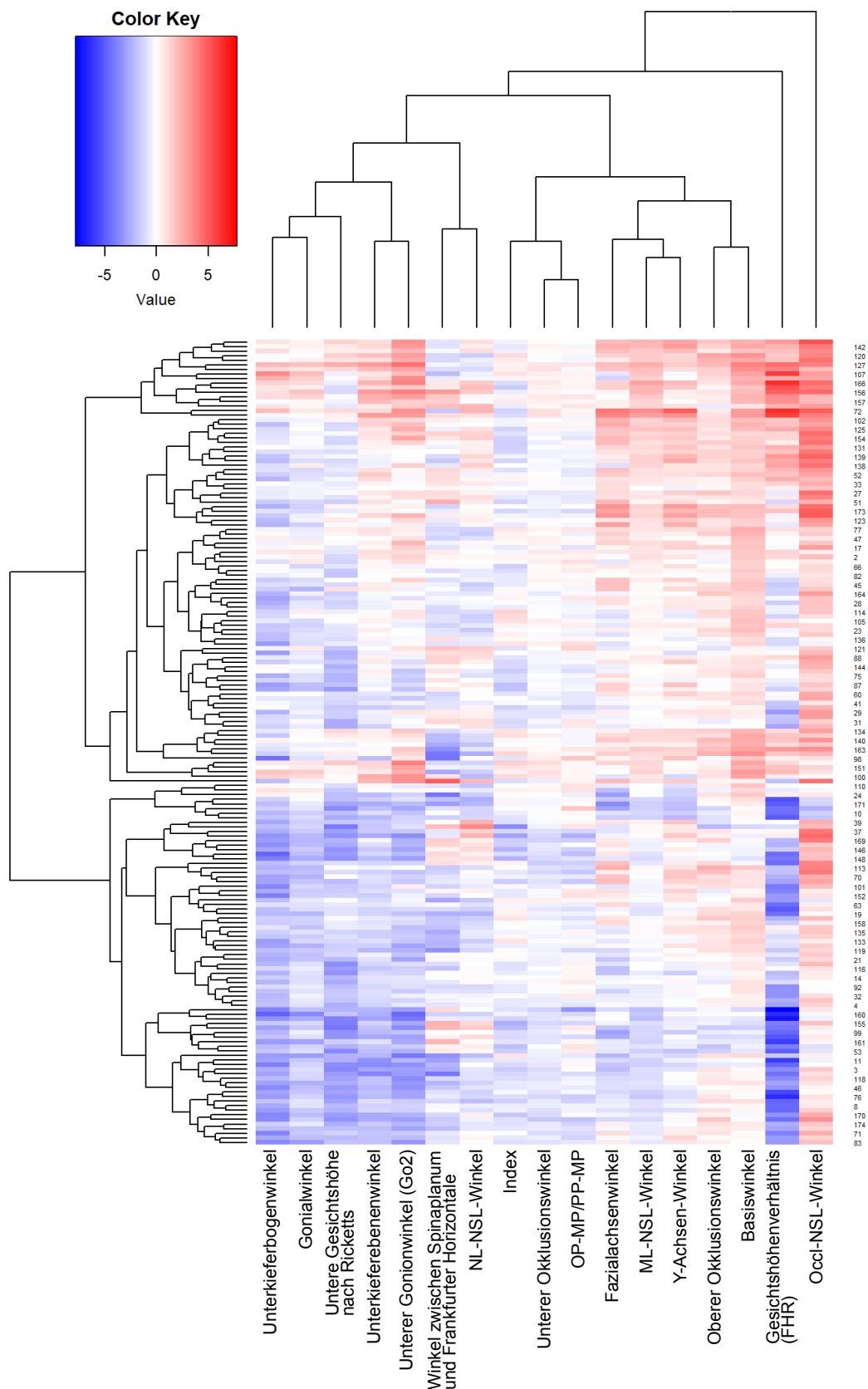


Abbildung 32: Heatmap mit Dendrogrammen Die Farbcodierung der Heatmap bezieht sich auf die vertikale Dimension. Blau steht für horizontale Werte, rote Farben entsprechen vertikalen Werten. Je kräftiger die Farbe ist, desto extremer sind die Werte. Weiß entspricht dem Normwert, blasser Farben stehen für Werte, die nahe des Normwerts liegen. Dem Dendrogramm links der Heatmap sind Cluster von Patienten abzulesen.

4.2.4 Vergleich verschiedener Kategorisierungen

Die Kategorisierung auf Basis gewichteter Mittelung der 18 in Abschnitt 3.3.5 genannten kategorisierten FRS-Parameter wird nun zu der Kategorisierung auf Basis der ungewichteten Mittelung ebendieser 18 FRS-Parameter in Beziehung gesetzt. Es werden Cohens Kappa und das gewichtete Kappa nach Cohen mit einem 95%-Konfidenzintervall berechnet. Cohens Kappa beträgt $\kappa = 0,819$ mit 95%-Konfidenzintervall [0,737; 0,901]. Das gewichtete Kappa nach Cohen beträgt $\kappa = 0,839$ mit 95%-Konfidenzintervall [0,765; 0,913].

Darüber hinaus wird die Verteilung der Patienten auf die fünf Wachstumskategorien der vertikalen Dimension entsprechend der 21 FRS-Parameter und ihrer Normwerte und Standardabweichungen aus der Literatur mit der Verteilung der Patienten auf die drei Cluster verglichen. Die drei Patientencluster ergeben sich aus der Clusteranalyse unter Verwendung der 21 FRS-Parameter, allerdings ohne deren Kategorisierungen. Der Vergleich erfolgt anhand der folgenden Tabelle 15.

Cluster	Kategoriebildung aus ungewichtetem Mittel			
Anzahl Prozent	2: neutral, horizontale Tendenz	3: neutral	4: neutral, vertikale Tendenz	Gesamt
1	46 26%	33 19%	0 0%	79 45%
2	0 0%	74 42%	6 3%	80 45%
3	0 0%	1 1%	16 9%	17 10%
Gesamt	46 26%	108 61%	22 13%	176 100%

Tabelle 15: Clusterbildung und Kategorisierung der Patienten durch das ungewichtete Mittel der FRS-Parameter im Vergleich

Das gleiche Vorgehen erfolgt für die gewichteten 18 FRS-Parameter aus Tabelle 16. Es werden die Kategorisierungen der Patienten durch die gewichteten FRS-Parameter anhand der Normwerte und Standardabweichungen aus der Literatur mit den Patientenclustern verglichen. Die Einteilung der Patienten in die drei Cluster er-

folgt durch die 21 FRS-Parameter, allerdings ohne deren Kategorisierungen und Gewichtung. Der Vergleich erfolgt anhand der folgenden Tabelle 16.

Cluster	Kategoriebildung aus gewichtetem Mittel			
Anzahl Prozent	2: neutral, horizontale Tendenz	3: neutral	4: neutral, vertikale Tendenz	Gesamt
1	36 20%	43 24%	0 0%	79 45%
2	0 0%	69 39%	11 6%	80 45%
3	0 0%	1 1%	16 9%	17 10%
Gesamt	36 20%	113 64%	27 15%	176 100%

Tabelle 16: Clusterbildung und Kategorisierung der Patienten durch das gewichtete Mittel der FRS-Parameter im Vergleich

4.2.5 Vergleich der 3 Cluster mit Fotobewertung

Die drei Patientencluster werden mit der Kategorisierung der Patienten durch die Fotobewertung in Beziehung gesetzt. Die drei Patientencluster ergeben sich aus der Clusteranalyse unter Verwendung der 17 geeigneten FRS-Parameter. Die Clusteranalyse ist in Abschnitt 4.2.3 im Detail beschrieben. Der Vergleich erfolgt anhand der folgenden Tabelle 17.

Cluster	Fotobewertung					
Anzahl Prozent	1: horizontal	2: neutral, horizontale Tendenz	3: neutral	4: neutral, vertikale Tendenz	5: vertikal	Ge- samt
1	16 10%	20 12%	29 18%	7 4%	1 1%	73 45%
2	5 3%	15 9%	21 13%	30 18%	4 2%	75 46%
3	0 0%	2 1%	5 3%	7 4%	2 1%	16 10%
Gesamt	21 13%	37 23%	55 34%	44 27%	7 4%	164 100%

Tabelle 17: Clusterbildung und Kategorisierung der Patienten durch Fotobewertung im Vergleich

Cluster 1 schließt entsprechend der Kategorisierung durch Fotobewertung die meisten Patienten mit horizontaler Wachstumskategorie ein. Cluster 2 umfasst vermehrt neutrale Patienten, und Patienten, welche eine neutrale Wachstumskategorie mit vertikaler oder horizontaler Tendenz aufweisen. Cluster 3 schließt vermehrt Patienten der Wachstumskategorie neutral mit vertikaler Tendenz ein.

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Fragestellung

Ziel der Arbeit ist die Untersuchung der Diagnostik der vertikalen Dimension. Hierzu werden 21 FRS-Parameter ausgewählt. Diese werden untersucht und es sollen nach aktuellen Maßstäben besonders geeignete Parameter herausgestellt werden. Ein Vergleich so vieler FRS-Parameter einschließlich der Untersuchung der zugehörigen Normwerte und Standardabweichungen ist derzeit in der Literatur nicht zu finden. Diese Arbeit soll also eine Untersuchung und anschließende Selektion von besonders geeigneten FRS-Parametern leisten, was angesichts des großen Angebots diagnostischer Parameter sinnvoll erscheint (13, 107, 108).

5.2 Diskussion von Material und Methode

5.2.1 Studiendesign

Für die Studie wird ein Patientengut von 164 Patienten mittels Fotobewertung und FRS-Analyse untersucht. Das Patientengut ist im Vergleich zu anderen Studien welche die Fotobewertung oder FRS-Parameter untersuchen groß angelegt (100, 107, 109-112). Die Fotobewertung wird von vier Zahnärzten durchgeführt. Es nimmt keine überdurchschnittliche Menge an Fotobewertern teil, da die Fotobewertung bereits als Goldstandard empfohlen wird (109-111). Die Anzahl der Fotobewerter in der Literatur reicht von einem einzigen Fotobewerter bis zu 16 Fotobewertern (109-111).

5.2.2 Foto-Bewertung

Die Kategorisierung der vertikalen Dimension durch Fotoanalyse respektive klinische Inspektion ist ein vermehrt angewendetes Verfahren (9, 109, 110). Dieses Verfahren wird als Goldstandard zur Überprüfung der Kategorisierung der vertikalen Dimension mittels FRS-Parametern empfohlen (109). Andere Studien verwenden als Goldstandard lediglich die Angle-Klassifikation, welche jedoch die sagittale Dimension be-

schreibt, oder das Vorliegen eines frontal offenen Bisses oder die Diagnose des Überbisses (109). Ein frontal offener Biss muss jedoch nicht zwangsläufig Ausdruck einer vertikalen Wachstumskategorie sein, sondern kann auch bei neutraler Wachstumskategorie vorliegen (109). Daher erscheint es geeigneter, die Fotobewertung als Goldstandard zu wählen, sodass FRS-Parameter und Goldstandard die vertikale Dimension beschreiben.

5.2.3 FRS-Analyse

Die FRS-Analyse wird durch zwei kalibrierte Untersucherinnen durchgeführt. Die Kalibrierung der beiden Untersucherinnen dient der Sicherstellung der korrekten Lokalisation der Landmarks. Denn Erfahrung und Training haben großen Einfluss auf die korrekte Lokalisation der kephalometrischen Referenzpunkte (41, 45, 46). Die FRS-Analyse wird durch die beiden Untersucherinnen in zwei Durchgängen mit einer einwöchigen Pause dazwischen durchgeführt, was eine Untersuchung des Intra- und Interrater Agreements ermöglicht (106).

Darüber hinaus werden die Normwerte und Standardabweichungen der 21 FRS-Parameter aus der Literatur in der vorliegenden Arbeit verwendet und untersucht. Denn Angaben zu den Normwerten sind teilweise wenig belegt und widersprüchlich (27, 33, 86, 88, 98, 100). Im Rahmen der Literaturrecherche der Normwerte der FRS-Parameter der vertikalen Dimension muss berücksichtigt werden, woher die Normwerte stammen (18). So beschreiben kieferorthopädische Normwerte nicht die durchschnittlichen Werte der Bevölkerung (18). Vielmehr werden Individuen, welche ideale faziale Proportionen und eine ideale Okklusion aufweisen, gezielt ausgewählt und untersucht (2, 18). Die so gewonnen Normwerte werden dann wiederum auf zu behandelnde Patienten angewandt, was berücksichtigt werden sollte (18). Die Vorauswahl der Patienten erfolgt abhängig von den Autoren und den von ihnen untersuchten Parametern (18). Manche Autoren berücksichtigen lediglich die Okklusion (2, 113) oder die Okklusion und den fazialen Aufbau (4, 114, 115). Andere Autoren beziehen sich auf das Urteil der Gesellschaft, dass eine Person ideale faziale Verhältnisse hat und untersuchen Models oder Schönheitswettbewerbsgewinner (18, 53). Es gibt auch die Einteilung nach harmonischen Proportionen, welche ungeachtet der unterschiedlichen Wachstumskategorien Normwerte liefern soll (116). Als

normgesichtig gelten Patienten, deren Gesichtsproportionen harmonisch und balanciert sind und die von der Mehrheit der Kieferorthopäden als ästhetisch eingestuft werden (117). Dies ist eine sehr vage Definition, jedoch stufen einige Autoren Patienten nach diesen Kriterien anhand von Profil- und Frontalfotos als normgesichtig ein und nehmen sie in Studien auf (116, 118).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird bei der Literaturrecherche der Normwerte der FRS-Parameter darauf geachtet, dass für die Bestimmung der Normwerte Patienten mit neutraler vertikaler Wachstumskategorie untersucht werden. Einige Angaben zu Normwerten aus der Literatur sind dennoch kritisch zu hinterfragen (86, 100). Als Beispiel ist der Parameter OP-MP/PP-MP zu nennen. Sato bestimmt bei der Untersuchung von 61 japanischen Probanden mit Normokklusion einen Normwert von 0,54 für den Parameter OP-MP/PP-MP (86). Da die Primärquellen nur in Japanisch vorliegen (119, 120), begrenzt sich die Recherche diesbezüglich auf Sekundärliteratur (86). Fraglich bleibt, ob die Patienten in der Studie Satos lediglich nach Zahnbefunden bezüglich der Normokklusion in die Kontrollgruppen neutral, vertikal und horizontal eingeteilt werden oder ob die Wachstumskategorie der Patienten für die Einteilung berücksichtigt wird (86). Bock und Fuhrmann untersuchen 94 Patienten mit dem Studieneinschlusskriterium des Vorliegens einer skelettalen Klasse I, welche anhand eines ANB-Winkels von $0-4^\circ$ im FRS festgelegt wird (86). Die weitere Einteilung der Patienten in die Kontrollgruppe erfolgt durch reine Modellbefunde (86). Die Kontrollgruppe weist eine gute Okklusion mit Angle-Klasse I und einen vertikalen Überbiss von 2-4 mm auf (86). Für diese neutrale Kontrollgruppe, welche 34 Patienten umfasst, ergibt sich ein Normwert des Parameters OP-MP/PP-MP von $0,54 \pm 0,2^\circ$ (86). Diese Einteilung der Patienten in die Kontrollgruppe anhand reiner Modellbefunde nach der sagittalen Dimension mittels Angle-Klasse und frontalem Überbiss ist kritisch zu werten. Ob die Kontrollgruppe, welche der Ermittlung vertikaler Normwerte für neutrale Individuen dient, tatsächlich nur Patienten mit neutraler Wachstumskategorie der vertikalen Dimension enthält muss hinterfragt werden. Dementsprechend ist auch der resultierende Normwert kritisch zu werten. Celar et al. geben für den Parameter OP-MP/PP-MP einen Normwert von $0,56 \pm 0,16^\circ$ an (100). Allerdings bezieht sich dieser Normwert auf Patienten, welche lediglich anhand der sagittalen Dimension in Gruppen eingeteilt werden, was den ermittelten Normwert für den vertikalen Parameter OP-MP/PP-MP abwertet (100). So werden die Patienten anhand von Modellen durch vier Untersucher in die Angle-Klassen I-III oder in eine Gruppe

mit offenem Biss eingeteilt (100). Die Ermittlung des Quotienten OP-MP/PP-MP erfolgt dann innerhalb der Gruppen mit den FRS der Patienten (100). Zusätzlich liegen Patientenakten vor (100). Der genannte Normwert von $0,56^\circ$ mit einer Standardabweichung von $0,16^\circ$ ergibt sich somit für 32 Patienten der Angle-Klasse I (100). Da die oben genannten Normwerte des Parameters OP-MP/PP-MP zwar kritisch zu hinterfragen sind, jedoch nah beieinander liegen, wird für den in dieser Arbeit verwendeten Normwert gemittelt. So wird in dieser Arbeit ein Normwert von $0,55 \pm 0,2^\circ$ für den Quotienten OP-MP/PP-MP verwendet.

Ein weiteres Beispiel für die Literaturrecherche zur Festlegung der Normwerte der Wachstumskategorien ist der FRS-Parameter Unterer Okklusionswinkel. Der Normwert des Unteren Okklusionswinkels wird mit 16° angegeben (27). Eine Standardabweichung des Normwerts wird nicht angegeben (27, 33, 88, 98). Allerdings werden zahlreiche Angaben zur Aussagekraft und Bedeutung des Unteren Okklusionswinkels gemacht (27, 33, 88, 98). Schudy, welcher den Unteren Okklusionswinkel als FRS-Parameter eingeführt hat, nennt indirekt asymmetrisch um den Normwert von 16° angeordnete Werte als Grenzen der vertikalen Wachstumskategorien (27, 88, 98). So ist nach Schudy ein Wert $\geq 21^\circ$ für die Prognose einer Bissöffnung günstig, ein Wert unter 7° nicht (98). Da weitere Angaben zur Standardabweichung oder Kategorisierung des Unteren Okklusionswinkels fehlen werden anhand dieser Werte mittels Interpolation der quadratischen Funktion die Grenzen der Kategorien des Parameters festgelegt.

5.3 Diskussion der Ergebnisse

5.3.1 Fotobewertung

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zum Intrarater Agreement der Fotobewerter stehen im Gegensatz zur Literatur, welche überwiegend hohe Werte für das Intrarater Agreement im Rahmen der Fotobewertung zur Diagnostik der vertikalen Dimension angibt (109, 110). Darüber hinaus ist die Interrater Reliabilität der Fotobewerter der vorliegenden Arbeit als schlecht zu bezeichnen (106). In der Literatur werden hingegen überwiegend hohe Werte für das Interrater Agreement beschrieben (109, 110). Allerdings wird in einer Studie lediglich eine moderate Interrater Reliabilität erzielt (111). Aufgrund der Ergebnisse des Intra- und Interrater Agreements der vorlie-

genden Studie wurde die Fotobewertung nicht wie geplant als Goldstandard zur weiteren Untersuchung der FRS-Parameter verwendet. Denn für eine konfirmatorische Faktorenanalyse sind die Messfehler der Fotobewertung zu hoch (121).

Im Folgenden werden Unterschiede zwischen der vorliegenden Arbeit und der Literatur herausgearbeitet um die Ursache der unterschiedlichen Ergebnisse näher zu untersuchen. Für die vorliegende Arbeit werden zwei Fachzahnärzte für Kieferorthopädie und zwei Assistenzzahnärzte, welche sich in der Fachzahnarztausbildung befinden, als Fotobewerter ausgewählt. Es werden keine anderen Auswahlkriterien festgelegt. Andere Studien hingegen geben starke Auswahlkriterien für die Fotobewerter an (9, 109, 110). Reis et al. schließen lediglich Fotobewerter in die Studie ein, welche sehr geübt in der klinischen Diagnostik der vertikalen Dimension sind und dies auch an Universitäten lehren (110). Eine andere Studie wählt nur Kieferorthopäden aus, welche mindestens 10 Jahre Berufserfahrung haben (109). Aus 40 Kieferorthopäden, auf die dies zutrifft, werden nur drei ausgewählt, welche die klinische Inspektion in zwei Durchgängen mit einer Woche Pause dazwischen durchführen (109). Teilweise wird vor Beginn der Untersuchung eine Kalibrierung der untersuchenden Kieferorthopäden durchgeführt, sodass diese mit dem Vorgehen vertraut und darin geübt sind (9). Die vier teilnehmenden Zahnärzte der vorliegenden Studie wurden vor der Befragung nicht kalibriert. Reis et al. schließen darüber hinaus nachträglich zwei der 18 Fotobewerter aus, um bessere Ergebnisse zu erzielen (110). Dies verbessert das Intrarater Agreement von $\kappa = 0,8$ auf $\kappa = 0,85$ (110).

In der vorliegenden Arbeit zeichnet sich keine Unterscheidung der Ergebnisse der Fotobewertung entsprechend der Berufserfahrung der Fotobewerter ab. Diese Ergebnisse decken sich mit einer anderen Studie, welche ebenfalls die Intrarater-Reliabilität zwischen erfahrenen und weniger erfahrenen Kieferorthopäden vergleicht und keinen deutlichen Unterschied beobachtet (111).

Darüber hinaus werden für andere Studien die Patienten einer Vorauswahl unterzogen (110, 111). Die Patienten der vorliegenden Studie hingegen wurden zufällig ausgewählt. Im Rahmen anderer Studien werden lediglich Patienten ausgewählt, die das Wachstum bereits abgeschlossen haben (110, 111). Laut den Autoren dieser Studie soll dies eine Kategorisierung erleichtern, da die Wachstumskategorie dann bereits voll ausgeprägt ist (110). Außerdem werden teilweise nur Patienten kaukasischer Ethnie eingeschlossen (110). Eine Studie reduziert die zu bewertenden Patienten von 120 auf 52, um Unaufmerksamkeiten der kategorisierenden Kieferortho-

päden durch Ermüdung zu vermeiden (111). Für eine andere Studie werden die Patienten vor der Studienteilnahme willkürlich in einem Verhältnis von 3 : 1 (vertikal : neutral) ausgewählt (109). Für die vorliegende Studie werden 164 Patienten durch die Fotobewerter in schneller Abfolge diagnostiziert. Eine vergleichende Abschätzung zwischen den Patienten kann zu unsteten Ergebnissen führen. Durch die randomisierte Reihenfolge und die schnelle Abfolge der Fotos können Fehler entstehen. So kann zum Beispiel ein Patient mit Tendenz zur vertikalen Wachstumskategorie nach einem Patienten mit horizontaler Wachstumskategorie als verstärkt vertikal erscheinen.

Ein weiterer beeinflussender Faktor ist die Festlegung der Kategorien der vertikalen Dimension. Die Einteilung der Patienten der vorliegenden Arbeit erfolgt in die fünf folgenden Wachstumskategorien: vertikal, neutral mit vertikaler Tendenz, neutral, neutral mit horizontaler Tendenz und horizontal. Andere Autoren teilen ebenfalls in fünf Kategorien ein, allerdings berücksichtigen sie die vertikale und die sagittale Dimension (110, 111). Sie nutzen folgende Kategorien: Klasse I/neutral, Klasse II, Klasse III, vertikal, horizontal (110, 111). Da in diesen Studien also sowohl die vertikale als auch die sagittale Dimension betrachtet werden (110, 111), wird ein Vergleich mit der vorliegenden Arbeit erschwert. Die vertikale Dimension wird in den beiden Studien nur durch die beiden Abweichungen vertikal und horizontal beschrieben, es werden keine Tendenzen und kein neutrales vertikales Wachstum unabhängig von der Angle-Klassifikation erfasst (110, 111). Bei der oben geschilderten Kategorisierung nach Capellozza wird jeweils nur die stärkere Abweichung, ob sagittal oder vertikal, klassifiziert, die andere Komponente bleibt unberücksichtigt (110, 111). Dementsprechend birgt sie eine höhere Zahl nicht diagnostizierter vertikaler Abweichungen. Es stellt sich heraus, dass die Angle-Klassifikation für die bewertenden Kieferorthopäden einfacher zu diagnostizieren ist als die vertikale Wachstumskategorie (110). Die Diagnose der horizontalen Wachstumskategorie weist die geringste Übereinstimmung mit $\kappa = 0,51$ auf (110). Die Diagnose der vertikalen Wachstumskategorie liegt bei $\kappa = 0,64$ (110). Die neutrale Wachstumskategorie wird von Reis et al. mit der Angle Klasse I zusammen bestimmt, hier ergibt sich $\kappa = 0,71$ (110). Andere Autoren lassen lediglich eine Kategorisierung in eine vertikale Wachstumskategorie oder eine neutrale Wachstumskategorie zu (109). Darüber hinaus entfallen in dieser Studie Patienten in die Kategorie unbestimmt, sofern sie von einem Kieferorthopäden in zwei Durchgängen unterschiedlich kategorisiert werden (109).

Die Fotobewerter der vorliegenden Arbeit erhalten zuzüglich der präsentierten Profil- und Frontalfotos der Patienten keinerlei Hilfsmittel für die Diagnostik der vertikalen Dimension. Andere Studien liefern ihren Fotobewertern mehr Material beziehungsweise Hilfsmittel, welche sie bei der Diagnose leiten sollen (109-111). So haben die Fotobewerter anderer Studien nicht nur Profil- und Frontalfotos der Patienten zur Verfügung, sondern auch ein frontales Foto der lachenden Patienten (110, 111). Dies birgt zusätzliche Informationen für die vertikale Dimension, da eine starke Exposition der oberen Frontzähne und ein gummy smile auf eine vertikale Wachstumskategorie hindeuten (110). Patienten der horizontalen Wachstumskategorie weisen hingegen vermehrt eine geringe Sichtbarkeit der Oberkieferfrontzähne auf (110). Auch das Erkennen eines offenen oder tiefen Bisses kann mit dem zusätzlichen Frontalfoto des lachenden Patienten erleichtert werden (110). Eine Studie lässt zusätzlich zu den Frontal- und Profilfotos und den Frontalfotos der lachenden Patienten ein FRS per Blickdiagnose bewerten (111). Die Begutachtung des FRS hat im Vergleich zu anderen Studien die Qualität der Bewertung jedoch nicht erhöht (111). Im Rahmen einer anderen Studie können die bewertenden Kieferorthopäden einen Fragebogen nutzen, welcher die wichtigsten in der Literatur beschriebenen Merkmale, welche auf eine vertikale Wachstumskategorie hindeuten, aufführt (109). So werden die Kieferorthopäden in ihrer Entscheidung geleitet (109). In einer Studie erhalten die teilnehmenden Kieferorthopäden die Fotos der 105 Patienten in einer PowerPoint Präsentation auf CD, sie führen die Kategorisierung also selbstständig durch (110). Dementsprechend sind Unterbrechungen der Fotobewertung und längere Betrachtungen vor der Kategorisierung der Patienten möglich. Die Fotobewerter der vorliegenden Arbeit haben hingegen ca. 30 Sekunden Zeit um zu entscheiden, in welche Wachstumskategorie der vorgestellte Patient eingeteilt werden soll. Im Anschluss werden direkt die Fotos des nächsten Patienten gezeigt.

Messungen im Rahmen der Fotoanalyse und der Auswertung von Fernröntgenseitenbildern (FRS) sind objektiv, die klinische Inspektion hingegen ist als subjektiv zu bezeichnen (59). Dies gestaltet das Erlernen und die Vermittlung der Durchführung der klinischen Inspektion schwierig (3). Manche Behandler geben an die Patienten nach der Einschätzung der Verhältnisse der vorderen Gesichtshöhe einzuteilen (21). So werden Patienten nach der Einschätzung des Verhältnisses der Strecken Glabella-Weichteilmenton zu Subnasalpunkt-Weichteilmenton im Rahmen der klinischen Untersuchung eingeteilt (21). Da die Bestimmung der Wachstumskategorie von Pa-

tienten mittels klinischer Inspektion subjektiv ist, sollten beeinflussende Faktoren dargestellt werden (59). Karavaka et al. beschreiben, dass bestimmte interne Gesichtsanzeichen die Diagnose der Wachstumskategorie des Behandlers beeinflussen, obwohl sie für die Diagnose nicht relevant sind (59). Sie führen Untersuchungen mittels veränderter und naturbelassener Patientenfotos durch, welche Kieferorthopäden zur Diagnose der Wachstumskategorie gezeigt werden (59). So führt ein verkleinerter interokkularer Abstand verstärkt zu der Diagnose der vertikalen Wachstumskategorie (59). Ein vergrößerter interokkularer Abstand hingegen verleitet den Behandler zu einer Diagnose der horizontalen Wachstumskategorie (59). Weitere Beispiele sind die Lokalisation des Mundes und dessen Breite (59). So diagnostizieren Behandler bei einer Verlagerung des Mundes des Patienten nach kaudal vermehrt eine vertikale Wachstumskategorie, bei der Verlagerung des Mundes Patienten nach kranial wird sich hingegen vermehrt für eine Einteilung des Patienten in die horizontale Wachstumskategorie ausgesprochen (59). Eine Verringerung der Breite des Mundes von Patienten führt zu einer vermehrten Einteilung in die vertikale Wachstumskategorie, während eine Verbreiterung des Mundes keine Auswirkungen auf die Diagnostik hat (59).

Ein Vorteil der Fotoanalyse gegenüber der klinischen Inspektion ist, dass Winkel und Strecken am Computer per Maus oder auf Zeichenpapier mit Stift genau gesetzt und vermessen werden können, was Analysen objektiver und besser vergleichbar gestaltet (11, 58, 59). Außerdem sind mehrfache Messungen und Analysen anhand der gleichen Fotos möglich (10, 11). Auch können Vergleiche verschiedener Fotos und Analysen während der Behandlung und zu Therapieabschluss erfolgen (11). Die Fotoanalyse kann der Behandler ohne die körperliche Anwesenheit des Patienten durchführen, sodass er zeitlich und örtlich ungebunden ist (56, 58, 116). Zur Berücksichtigung der vorliegenden Dimensionen erweist sich eine Größenreferenz auf den Bildern der Fotoanalyse als sinnvoll, da dies die korrekte Einschätzung von Dimensionen und Verhältnissen erleichtert (58, 122).

Wegen der subjektiven Diagnose der Wachstumskategorie und Einflüssen auf diese sollten zur Verbesserung der Ergebnisse der Fotobewertung Messungen im Rahmen einer Fotoanalyse in Anspruch genommen werden (10, 59). Diese weisen je nach Parameter eine hohe Übereinstimmung mit der Festlegung der Wachstumskategorie mittels FRS auf (10). Dementsprechend wäre eine Fotoanalyse für weitere Untersuchungen zur Steigerung der Qualität der Fotobewertung anzudenken.

5.3.2 FRS-Analyse

Das Intra- und Interrater Agreement der FRS-Analyse weisen sehr gut reproduzierbare Ergebnisse auf. Sie werden unter anderem mittels der Bestimmung der Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) und Pearson-Korrelationskoeffizienten je Parameter untersucht. Der Untere Gonionwinkel (Go2) weist mit ICC = 0,986 den größten Wert auf. Der arithmetische Mittelwert der ICC beträgt 0,955. Der Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale weist mit ICC = 0,892 den geringsten Wert auf, was dennoch eine fast perfekte Reliabilität bedeutet (106). Dies deckt sich mit Ergebnissen der Literatur, welche ebenfalls gute Werte für Intra- und Interrater Agreements im Rahmen von FRS-Analysen beschreiben (123).

Darüber hinaus deuten diese guten Korrelationen der Untersucherinnen für alle 21 untersuchten FRS-Parameter auf die gute Reproduzierbarkeit und somit hohe Qualität der FRS-Parameter hin.

Die größten Fehler im Rahmen der FRS-Analyse entstehen durch unpräzise und nicht reproduzierbare Landmark-Identifikation (43, 123, 124). Dies führt anschließend zu Fehlern in der Diagnose (123). In der vorliegenden Arbeit werden die beiden Untersucherinnen vor der definitiven FRS-Analyse einer Kalibrierung unterzogen. Da beide Untersucherinnen über die gleiche Erfahrung verfügen, kann dies das Interrater Agreement positiv beeinflusst haben (43, 123).

Grundsätzlich übersteigt das Intrarater Agreement im Rahmen einer FRS-Analyse in den meisten Fällen das Interrater Agreement (48, 125, 126). In der vorliegenden Studie sind sowohl die Reliabilität der Untersucherinnen in den beiden Durchgängen als auch die Reliabilität der Untersucherinnen untereinander groß.

5.3.2.1 Hauptkomponentenanalyse

Die Hauptkomponente 1 trägt bereits alle 21 untersuchten FRS-Parameter in sich. Sie enthält jedoch viele FRS-Parameter zu einem geringen Anteil, was ein Hervorheben einzelner FRS-Parameter erschwert (121). Mit einem Anteil größer als 0,3 wird die Hauptkomponente 1 jedoch am stärksten von den drei FRS-Parametern Summenwinkel, ML-NSL-Winkel und Unterer Gonionwinkel (Go2) dominiert. Haupt-

komponente 1 beschreibt bereits 40 % der Varianz der Werte. Die anderen Hauptkomponenten werden hier dementsprechend nicht weiter diskutiert.

Trotz der Limitationen von Hauptkomponentenanalyse und Fotobewertung ist ein gemeinsamer Trend der Kategorisierung durch Hauptkomponente 1 entsprechend der Fotobewertung zu beobachten. Dies ist in Abbildung 31 grafisch dargestellt. Die Darstellung mithilfe von Boxplots zeigt auf, dass die Fotobewertung anhand von Mehrheitsentscheidung und die FRS-Parameter der Hauptkomponente 1 die Patienten ähnlich kategorisieren. Jedoch ist anhand der Überschneidung der Boxplots zu erkennen, dass keine scharfe Trennung und dementsprechend keine klare Kategorisierung der Patienten entsprechend der Fotobewertung anhand der FRS-Parameter aus Hauptkomponente 1 möglich ist.

5.3.2.2 Clusteranalyse

Entsprechend der FRS-Parameter entsteht eine Trennung der Patienten in drei Cluster. Patienten, die durch die FRS-Parameter ähnlich kategorisiert werden, befinden sich im gleichen Cluster. Zur besseren Übersicht ist Tabelle 18 erneut aufgeführt. Diese stellt die drei Cluster mit den FRS-Parametern, welche zu dieser Einteilung beitragen, dar. Zusätzlich werden je FRS-Parameter der zugehörige Mittelwert und die Standardabweichung der Patienten in dem jeweiligen Cluster angegeben. Dies sind also keine Werte aus der Literatur, sondern sie beziehen sich lediglich auf das untersuchte Patientenkontingent. Dennoch ist deren Betrachtung interessant. Denn bei einem größeren Patientenkontingent könnten solche Mittelwerte und Standardabweichungen im Rahmen einer Clusteranalyse unter Einbeziehung eines Goldstandards zur Definition neuer Normwerte und Kategorien dienen. In diesem Zusammenhang wäre allerdings eine Bildung von 5 Clustern entsprechend der fünf Kategorien der vertikalen Dimension (vertikal, neutral mit vertikaler Tendenz, neutral, neutral mit horizontaler Tendenz, horizontal) erstrebenswert. Dass die Patienten in der vorliegenden Arbeit in 3 Cluster eingeteilt werden können und bei der Kategorisierung der Patienten entsprechend der Normwerte der FRS-Parameter ebenfalls nicht in allen Kategorien Patienten vorliegen spricht für einen hohen Anteil neutraler Patienten. Dies deckt sich mit der Literatur, da kieferorthopädische Normwerte entsprechend der kaukasischen Population festgelegt werden und die Patienten der

vorliegenden Arbeit in Deutschland leben (54, 127). Der Begriff kaukasisch ist von dem Wort Kaukasus abgeleitet und bezieht sich auf den gemeinsamen Ursprung der beschriebenen weißen Individuen in Zentraleuropa (128). Demensprechend treffen die Normwerte insbesondere auf die weiße nordamerikanische und die europäische Population zu, bei anderen ethnischen Gruppen sind stärkere Abweichungen zu erwarten (127).

Ein anderer Grund für die Einteilung der Patienten in 3 Cluster und das fehlende Vorliegen von Patienten in allen fünf Kategorien der vertikalen Dimension könnte die bereits diskutierte teilweise wenig belastbare Datenlage zu Normwerten und Standardabweichungen der untersuchten FRS-Parameter sein (27, 33, 86, 88, 98, 100).

FRS-Parameter	Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	
	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
Fazialachsenwinkel	91,67	3,55	87,73	3,25	86,06	4,3
Y-Achsen-Winkel	65,69	2,79	68,41	2,68	70,82	4,13
NL-NSL-Winkel	6,85	3,31	7,65	2,81	9,55	3,64
Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	-2,16	3,51	-2,16	3,51	0,09	3,65
Occl-NSL-Winkel	16,74	3,5	19,61	3,25	23,1	2,46
Oberer Okklusionswinkel	9,9	3,46	11,96	2,75	13,55	3,3
Unterkieferebenenwinkel	19,65	3,02	26,94	3,02	32,83	3,53
Untere Gesichtshöhe nach Ricketts	39,43	3,1	43,71	2,92	47,05	3,1
Unterer Gonionwinkel (Go2)	67,68	2,63	73,76	3,04	79,67	2,13
Basiswinkel	21,81	3,78	27,6	3,5	32,73	3,66
ML-NSL-Winkel	28,66	2,87	35,24	2,61	42,29	3,13
Unterer Okklusionswinkel	11,92	3,22	15,65	2,94	19,19	2,43
Verhältnis zwischen unterem Okklusionswinkel und Basiswinkel (OP-MP/PP-MP)	0,46	0,18	0,53	0,11	0,59	0,07
Index/Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe	86,25	7,64	83,09	7,54	81,64	7,55
Gesichtshöhenverhältnis (FHR)	68,16	2,87	63,06	2,14	57,7	2,52
Unterkieferbogenwinkel	35,54	4,09	30,41	4,38	21,64	4,03
Gonialwinkel	119,92	5,22	126,58	4,95	135,81	4,82

Tabelle 18: FRS-Parameter der Clusteranalyse Die Tabelle listet die 17 FRS-Parameter welche zur Clusterbildung der 164 Patienten beitragen auf. Je FRS-Parameter sind die Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Patienten in den drei Clustern dimensionslos angegeben.

Zur Bildung der 3 Patientencluster tragen 17 der 21 untersuchten FRS-Parameter bei. Diese sind also als wertvoll für die Kategorisierung von Patienten entsprechend der vertikalen Dimension hervorzuheben. Folgende vier FRS-Parameter tragen nicht zur Clusterbildung bei: Summenwinkel, Sattelwinkel, Artikularwinkel und Oberer Gonionwinkel (Go1). Diese FRS-Parameter erscheinen somit für die Kategorisierung von Patienten entsprechend der vertikalen Dimension weniger geeignet. Von den 17 zur Clusterbildung beitragenden Werten sind insbesondere die FRS-Parameter Gesichtshöhenverhältnis (FHR), Unterer Gonionwinkel (Go2), ML-NSL-Winkel und Unterkieferebenenwinkel hervorzuheben. Diese trennen die Patienten recht zuverlässig

und ohne größere Überschneidungen in die drei Cluster, wie ihrer Darstellung mittels Boxplots in Abbildung 33 zu entnehmen ist.

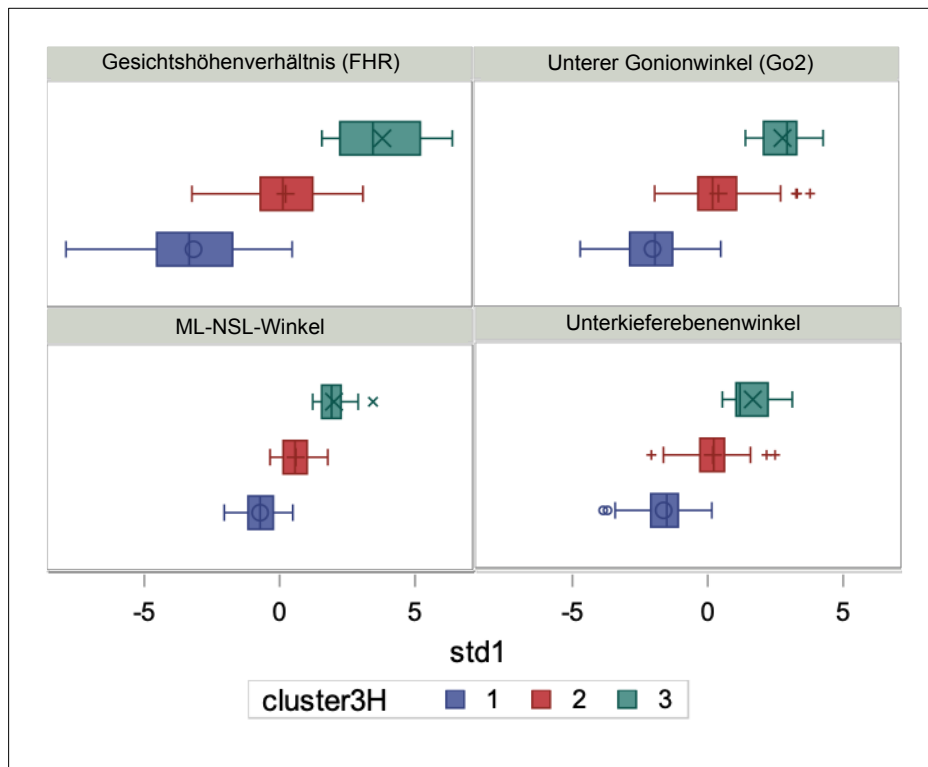


Abbildung 33: FRS-Parameter Gesichtshöhenverhältnis (FHR), Unterer Gonionwinkel (Go2), ML-NSL-Winkel und Unterkiefernebenenwinkel als Boxplots. Die FRS-Parameter sind als Boxplots dargestellt, die die drei Cluster sind farblich hervorgehoben. Die x-Achse stellt die Verteilung der standardisierten Messwerte der FRS-Parameter in den drei Patientenclustern dar.

Auffallend ist, dass die 17 FRS-Parameter, welche zur Clusterbildung beitragen, in den 18 FRS-Parametern, die entsprechend ihrer Bezugsebenen beziehungsweise Hauptmerkmale in 6 Gruppen eingeteilt wurden, enthalten sind. Lediglich der Summenwinkel trägt nicht zur Clusterbildung bei und ist in einer der Gruppen vertreten. Die Gruppen sind in Tabelle 19 zur Übersicht erneut aufgeführt. Gruppe 1 und Gruppe 4 werden doppelt gewertet, da sie fünf FRS-Parameter enthalten, welche als besonders wertvoll für die Bestimmung der Wachstumskategorie bezeichnet werden (25). Die FRS-Parameter werden also gewichtet.

Gruppe	Bezugsebenen/ Hauptmerkmale	FRS-Parameter
1	Wachstumsachse	Fazialachsenwinkel
		Y-Achsen-Winkel
2	Spinaplanum	NL-NSL-Winkel
		Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale
3	Okklusionsebene	Occl-NSL-Winkel
		Oberer Okklusionswinkel
4	Mandibularplanum	Unterkieferenebenenwinkel
		Untere Gesichtshöhe nach Ricketts
		Summenwinkel
		Unterer Gonionwinkel (Go2)
		Basiswinkel
		ML-NSL-Winkel
		Unterer Okklusionswinkel
		Verhältnis zwischen unterem Okklusionswinkel und Basiswinkel (OP-MP/PP-MP)
5	Parameter bestehend aus Indices	Index/Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe
		Gesichtshöhenverhältnis (FHR)
6	Bezug auf den Kieferwinkel	Unterkieferbogenwinkel
		Gonialwinkel

Tabelle 19: Einteilung der FRS-Parameter in Gruppen entsprechend ihrer Bezugsebenen beziehungsweise Hauptmerkmale

Die Verteilung der Patienten entsprechend der FRS-Parameter auf die drei Cluster wird mit der Einteilung der Patienten entsprechend den Normwerten und der Standardabweichung aus der Literatur in die fünf Kategorien der vertikalen Dimension verglichen. Dies ist in Tabelle 15 mit der Kategoriebildung durch die ungewichteten FRS-Parameter erfolgt. In Tabelle 16 werden für die Kategoriebildung die FRS-Parameter der Gruppen 1 und 4 doppelt gewertet. Beim Betrachten der Kreuztabellen fällt auf, dass die Gewichtung der FRS-Parameter zu einer leicht neutraleren und vertikaleren Kategorisierung führt.

Für die Kategorisierung der Patienten auf Basis ungewichteter und gewichteter kategorisierter FRS-Parameter wird darüber hinaus Cohens Kappa errechnet. Die Übereinstimmung der Kategorisierungen der Patienten ist hoch, was sich sowohl anhand des ungewichteten ($\kappa = 0,819$) wie des gewichteten ($\kappa = 0,839$) Kappa-Wertes zeigt.

5.3.2.3 Hauptkomponentenanalyse und Clusteranalyse im Vergleich

Ein Vergleich der Hauptkomponentenanalyse mit der Clusteranalyse zeigt einen gemeinsamen Trend der Kategorisierung entsprechend der vertikalen Dimension auf. So lassen sich die drei Cluster mittels der ersten beiden Hauptkomponenten in Abbildung 34 darstellen.

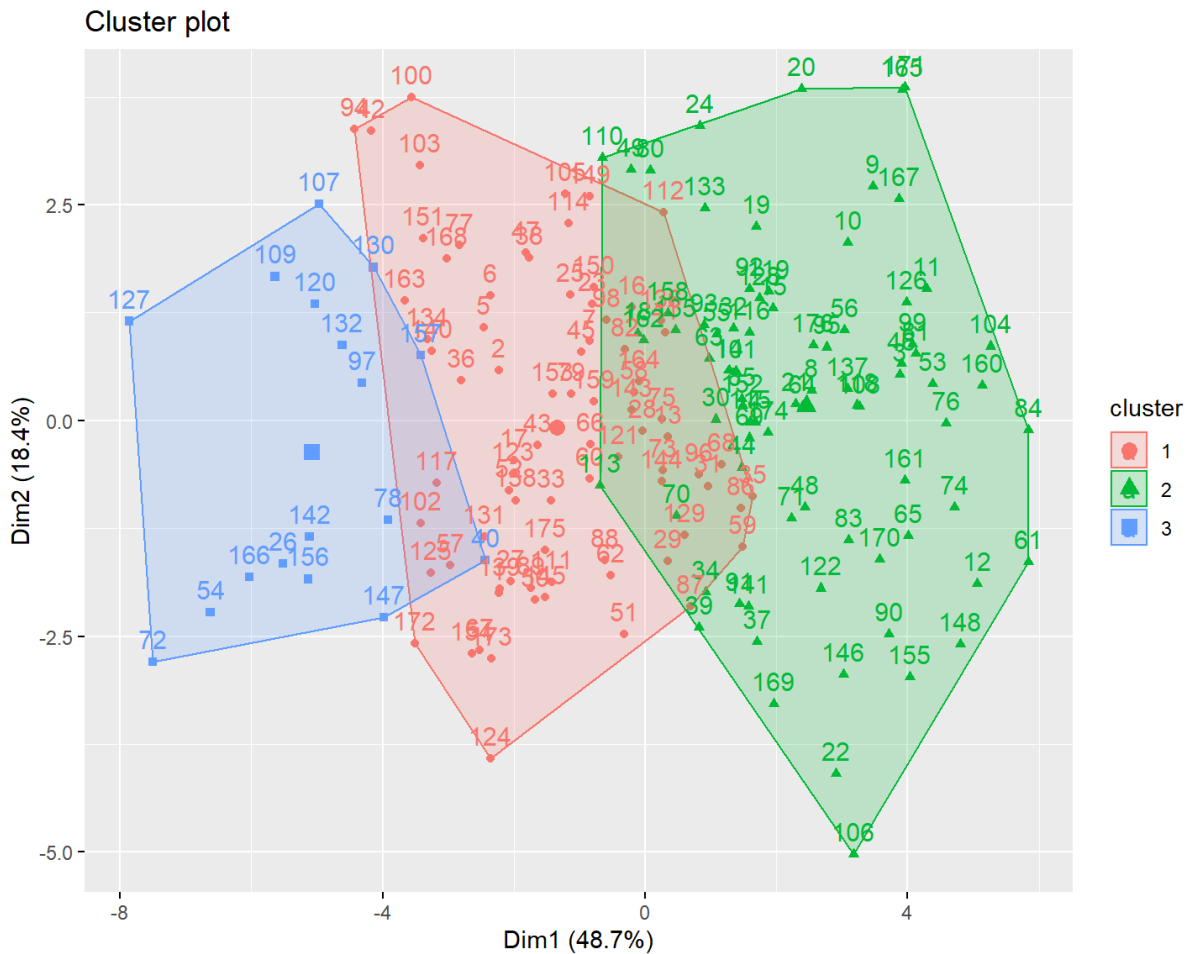


Abbildung 34: Visualisierung der Cluster mittels der ersten beiden Hauptkomponenten. Die drei Cluster sind farblich hervorgehoben. Dim1 bezeichnet Hauptkomponente 1, Dim2 bezeichnet Hauptkomponente 2. Im durch die Vektoren Hauptkomponente 1 und 2 dargestellten Koordinatensystem werden die Cluster 1, 2 und 3 dargestellt.

Anhand der Hauptkomponenten können die Ergebnisse der Clusteranalyse visualisiert werden. Es ist ersichtlich, dass es gewisse Überlappungen der Cluster in der durch die beiden ersten Hauptkomponenten aufgespannten Ebene gibt. Allerdings trägt die zweite Hauptkomponente kaum noch zur Trennung der Cluster bei, was sich ebenfalls aus der Visualisierung ablesen lässt.

5.4 Ausblick

Eine weitere Untersuchung der 17 FRS-Parameter, welche anhand der Hauptkomponentenanalyse und Clusteranalyse hervorgehoben werden konnten, ist empfehlenswert. In der vorliegenden Arbeit werden die Patienten entsprechend der Normwerte und Standardabweichungen der 21 FRS-Parameter lediglich in drei der möglichen fünf Kategorien der vertikalen Dimension eingeteilt. Im Rahmen der Clusteranalyse werden die Patienten ebenfalls in 3 Cluster eingeteilt. Dies legt die Frage nahe, ob zur Diagnostik der vertikalen Dimension drei Wachstumskategorien anstelle der fünf verwendeten Wachstumskategorien besser geeignet sind. Allerdings müssen auch bei dieser Annahme die FRS-Parameter weiter untersucht werden, um eine klarere Trennung zwischen den Kategorien der vertikalen Dimension zu erhalten und um die am besten geeigneten FRS-Parameter zu selektieren. Eine neue Definition der Normwerte und der zugehörigen Standardabweichungen der herausgestellten 17 FRS-Parameter der vertikalen Dimension könnte erfolgen und die Qualität der Kategorisierung erhöhen. Im Rahmen einer solchen Untersuchung wäre die Bildung von 5 respektive 3 Patientenclustern entsprechend den Wachstumskategorien der vertikalen Dimension ansprechend. So könnten die Mittelwerte und Standardabweichungen der Patientencluster wichtige Informationen liefern. Auch eine weitere Untersuchung der FRS-Parameter mithilfe der Hauptkomponentenanalyse könnte interessante Informationen liefern. Im Zuge dieser Untersuchungen wären jedoch ein größeres Patientenkollektiv und eine klinische Einordnung der Ergebnisse erforderlich. Sofern als klinische Einordnung die Methode der klinischen Inspektion in Betracht gezogen wird, sollte diese durch Messungen im Rahmen einer Fotoanalyse oder eine Kalibrierung der untersuchenden Kieferorthopäden vorab unterstützt werden.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit soll einen Vergleich der Diagnostik der vertikalen Dimension durch klinische Inspektion und durch die Auswertung von Fernröntgenseitenbildern (FRS) leisten. Von den 21 untersuchten FRS-Parametern sollen besonders geeignete Parameter hervorgehoben werden. Für die klinische Inspektion, welche als Goldstandard dienen soll, werden 164 Patienten anhand von Profil- und Frontalfotos durch vier Zahnärzte entsprechend ihrer vertikalen Wachstumskategorie eingeteilt. Es werden folgende fünf Wachstumskategorien verwendet: vertikal, neutral mit vertikaler Tendenz, neutral, neutral mit horizontaler Tendenz, horizontal. Die Ergebnisse des Intra- und Interrater Agreements der Fotobewertung lassen jedoch keine Verwendung der Fotobewertung als Goldstandard zur weiteren Untersuchung der FRS-Parameter zu. Das Interrater Agreement der Fotobewerter ist als schlecht zu bezeichnen. Mögliche Gründe hierfür sind in der Diskussion beschrieben.

Die FRS von 176 Patienten werden durch zwei kalibrierte Untersucherinnen ausgewertet. Die Auswertung erfolgt in zwei Durchgängen mit einer Woche Pause dazwischen. Die Patienten werden in randomisierter Reihenfolge ausgewertet. Das Intra- und Interrater Agreement der FRS-Analyse weisen sehr gut reproduzierbare Ergebnisse auf. Sie werden unter anderem mittels der Bestimmung der Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) je Parameter untersucht. Der Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale weist mit $ICC = 0,892$ den geringsten Wert auf, was dennoch eine fast perfekte Reliabilität bedeutet. Die FRS-Auswertung ist somit gut reproduzierbar.

Zur explorativen Analyse der FRS-Parameter ohne Goldstandard werden eine Hauptkomponentenanalyse und eine Clusteranalyse durchgeführt. Im Rahmen der Hauptkomponentenanalyse und der Clusteranalyse heben sich die gleichen 17 der 21 FRS-Parameter hervor. Diese 17 FRS-Parameter sind anteilig in der Hauptkomponente 1 enthalten, welche bereits 40% der Varianz der Werte erklärt. Anhand der gleichen 17 FRS-Parameter lassen sich die Patienten in drei Cluster einteilen.

Die drei Cluster lassen sich mittels der ersten beiden Hauptkomponenten visualisieren.

Folgende 17 FRS-Parameter können entsprechend der Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse und der Clusteranalyse hervorgehoben werden: Fazialachsenwinkel, Y-Achsen-Winkel, NL-NSL-Winkel, Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfur-

ter Horizontale, Occl-NSL-Winkel, Oberer Okklusionswinkel, Unterkieferebenenwinkel, Untere Gesichtshöhe nach Ricketts, Unterer Gonionwinkel (Go2), Basiswinkel, ML-NSL-Winkel, Unterer Okklusionswinkel, Verhältnis zwischen unterem Okklusionswinkel und Basiswinkel (OP-MP/PP-MP), Index/Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe, Gesichtshöhenverhältnis (FHR), Unterkieferbogenwinkel und Gonialwinkel.

Darüber hinaus werden die 17 FRS-Parameter zuzüglich des Summenwinkels nach ihren Bezugsebenen in 6 Gruppen eingeteilt. Entsprechend der Literatur werden die Gruppen 1 und 4 doppelt gewichtet. Für die Kategorisierung der Patienten auf Basis ungewichteter und gewichteter kategorisierter FRS-Parameter wird Cohens Kappa errechnet. Die Übereinstimmung der Kategorisierungen der Patienten ist hoch, was sich sowohl anhand des ungewichteten ($\kappa = 0,819$) wie des gewichteten ($\kappa = 0,839$) Kappa-Wertes zeigt. Bei den doppelt gewichteten FRS-Parametern der Gruppen 1 und 4 handelt sich um folgende FRS-Parameter: Fazialachsenwinkel, Y-Achsen-Winkel, Unterkieferebenenwinkel, Untere Gesichtshöhe nach Ricketts, Unterer Gonionwinkel (Go2), Basiswinkel, ML-NSL-Winkel, Unterer Okklusionswinkel, Verhältnis zwischen unterem Okklusionswinkel und Basiswinkel (OP-MP/PP-MP).

Eine weitere Untersuchung der oben genannten 17 FRS-Parameter ist empfehlenswert. Eine neue Definition der Normwerte und der zugehörigen Standardabweichungen der herausgestellten FRS-Parameter der vertikalen Dimension könnte erfolgen und die Qualität der Kategorisierung erhöhen. Im Rahmen einer solchen Untersuchung wäre die Bildung von 5 Patientenclustern entsprechend den fünf Wachstumskategorien der vertikalen Dimension ansprechend. Alternativ wäre eine Bildung von 3 Patientenclustern und die Festlegung neuer Wachstumskategorien der vertikalen Dimension anzudenken. In beiden Fällen könnten die Mittelwerte und Standardabweichungen der Patientencluster wichtige Informationen liefern. Auch eine weitere Untersuchung der FRS-Parameter mithilfe der Hauptkomponentenanalyse könnte interessante Informationen liefern. Im Zuge dieser Untersuchungen wären jedoch ein größeres Patientenkollektiv und eine klinische Einordnung der Ergebnisse erforderlich.

7 Literaturverzeichnis

1. Rakosi T. Einführung in die Problematik der Befunderhebung in der Kieferorthopädie. Fortschritte der Kieferorthopädie. 1977;38(2):115-20.
2. Downs WB. Variations in facial relationships: their significance in treatment and prognosis. American journal of orthodontics. 1948;34(10):812-40.
3. Luke LS, Atchison KA, White SC. Consistency of patient classification in orthodontic diagnosis and treatment planning. The Angle orthodontist. 1998;68(6):513-20.
4. Tweed CH. The Frankfort-mandibular plane angle in orthodontic diagnosis, classification, treatment planning, and prognosis. American journal of orthodontics and oral surgery. 1946;32(4):175-230.
5. Kühn J. Welche Aussagekraft haben kephalometrische Messungen am Fernröntgenprofilbild für die rekonstruktive Zahnheilkunde beim Erwachsenen? Fortschritte der Kieferorthopädie. 1983;44(3):225-42.
6. Nanda SK. Patterns of vertical growth in the face. American journal of orthodontics. 1988;93(2):103-16.
7. Schudy FF. The rotation of the mandible resulting from growth: its implications in orthodontic treatment. The Angle orthodontist. 1965;35(1):36-50.
8. Franco FCM, Araujo TMd, Vogel CJ, Quintão CCA. Brachycephalic, dolichocephalic and mesocephalic: Is it appropriate to describe the face using skull patterns? Dental press journal of orthodontics. 2013;18(3):159-63.
9. Torres-Restrepo AM, Quintero-Monsalve AM, Giraldo-Mira JF, Rueda ZV, Vélez-Trujillo N, Botero-Mariaca P. Agreement between cranial and facial classification through clinical observation and anthropometric measurement among envigado school children. BMC oral health. 2014;14(1):1-8.
10. Martins LF, Vigorito JW. Photometric analysis applied in determining facial type. Dental Press Journal of Orthodontics. 2012;17(5):71-5.
11. De Menezes M, Rosati R, Allievi C, Sforza C. A photographic system for the three-dimensional study of facial morphology. The Angle orthodontist. 2009;79(6):1070-7.
12. Rakosi T. Progenie im Fernröntgenbild. Fortschritte der Kieferorthopädie. 1978;39(6):486-92.

13. Ricketts RM. Perspectives in the clinical application of cephalometrics. The Angle orthodontist. 1981;51:115-50.
14. Ricketts R, Bench R, Gugino C, Hilgers J, Schulhof R. Bioprogressive Therapie. Hüthig GmbH, Heidelberg; 1995.
15. Ricketts RM. The value of cephalometrics and computerized technology. The Angle orthodontist. 1972;42(3):179-99.
16. Nanda RM. The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms. American journal of orthodontics. 1975;41:658-73.
17. Steiner CC. Cephalometrics for you and me. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 1953;39(10):729-55.
18. Peck H, Peck S. A concept of facial esthetics. The Angle orthodontist. 1970;40(4):284-317.
19. Bütow K-W. Extension of cephalo-photometric analysis. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 1987;15:75-8.
20. Downs WB. Analysis of the dentofacial profile. The Angle orthodontist. 1956;26(4):191-212.
21. Fields HW, Proffit WR, Nixon W, Phillips C, Stanek E. Facial pattern differences in long-faced children and adults. American journal of orthodontics. 1984;85(3):217-23.
22. Steiner CC. Cephalometrics in clinical practice. The Angle orthodontist. 1959;29(1):8-29.
23. Jarabak JR, Fizzell J. Technique and treatment with light-wire edgewise appliances, ed. 2, St. Louis,, The CV Mosby Company. 1972.
24. Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontia: the introduction of cephalometric radiography. The Angle orthodontist. 1981;51(2):93-114.
25. Schopf P. Schädel- und Gebissentwicklung, Prophylaxe, Kieferorthopädische Diagnostik, Herausnehmbare Behandlungsgeräte: Quintessenz Verlags-GmbH; 2008.
26. Ricketts RM. The influence of orthodontic treatment on facial growth and development. The Angle orthodontist. 1960;30(3):103-33.
27. Schudy FF. Vertical growth versus anteroposterior growth as related to function and treatment. The Angle orthodontist. 1964;34(2):75-93.

28. Fuhrmann A. Zahnärztliche Radiologie: Georg Thieme Verlag; 2013.
29. White SC, Mallya S. Update on the biological effects of ionizing radiation, relative dose factors and radiation hygiene. Australian dental journal. 2012;57:2-8.
30. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC. Patient risk related to common dental radiographic examinations: the impact of 2007 International Commission on Radiological Protection recommendations regarding dose calculation. The journal of the American Dental association. 2008;139(9):1237-43.
31. Solow B, Tallgren A. Natural head position in standing subjects. Acta odontologica Scandinavica. 1971;29(5):591-607.
32. Nötzel F, Schultz C. Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis: Deutscher Ärzteverlag; 2009.
33. Rakosi T. Atlas und Anleitung zur praktischen Fernröntgenanalyse: Hanser; 1988.
34. Hans MG, Palomo JM, Valiathan M. History of imaging in orthodontics from Broadbent to cone-beam computed tomography. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2015;148(6):914-21.
35. von Török A. Grundzüge einer systematischen Kraniometrie: F. Enke; 1890.
36. Wanders-Borst G, Möckel E. Die Lagebeziehung des Kiefergelenkes zu Tragon, Porion und "Ohrpunkt nach Schwarz". Fortschritte der Kieferorthopädie. 1959;20(4):390-3.
37. Moorrees CF, Kean MR. Die natürliche Kopfhaltung und ihre grundlegende Bedeutung für die Beurteilung zephalometrischer Röntgenaufnahmen. Fortschritte der Kieferorthopädie. 1959;20(2):142-55.
38. Downs WB. The role of cephalometrics in orthodontic case analysis and diagnosis. American journal of orthodontics. 1952;38(3):162-82.
39. Björk A. The Face in Profile, Lund. Svensk tandläk. 1947;40(Suppl. 5B).
40. Beckmann SH, Segner D. Floating norms and post - treatment overbite in open bite patients. The European Journal of Orthodontics. 2002;24(4):379-90.
41. Murali R, Sukumar M, Tajir TF, Rajalingam S. Comparative study of manual cephalometric tracing and computerized cephalometric tracing in digital lateral cephalogram for accuracy and reliability of landmarks. Indian Journal of Multidisciplinary Dentistry. 2011;1(3).

42. Trpkova B, Major P, Prasad N, Nebbe B. Cephalometric landmarks identification and reproducibility: a meta analysis. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 1997;112(2):165-70.
43. Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. 1. Landmark identification. *American journal of orthodontics*. 1971;60(2):111-27.
44. Kim I-H, Kim Y-G, Kim S, Park J-W, Kim N. Comparing intra-observer variation and external variations of a fully automated cephalometric analysis with a cascade convolutional neural net. *Scientific Reports*. 2021;11(1):1-9.
45. Houston W, Maher R, McElroy D, Sherriff M. Sources of error in measurements from cephalometric radiographs. *The European Journal of Orthodontics*. 1986;8(3):149-51.
46. Chen YJ, Chen SK, Chang HF, Chen KC. Comparison of landmark identification in traditional versus computer-aided digital cephalometry. *The Angle orthodontist*. 2000;70(5):387-92.
47. Stabrun AE, Danielsen K. Precision in cephalometric landmark identification. *The European Journal of Orthodontics*. 1982;4(3):185-96.
48. Sayinsu K, Isik F, Trakyalı G, Arun T. An evaluation of the errors in cephalometric measurements on scanned cephalometric images and conventional tracings. *The European Journal of Orthodontics*. 2007;29(1):105-8.
49. Schwarz AM. *Die Röntgenostatik: die kieferorthopädische Diagnose am Fern-Röntgenbild*: Urban & Schwarzenberg; 1958.
50. Yu S-H, Nahm D-S, Baek S-H. Reliability of landmark identification on monitor-displayed lateral cephalometric images. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008;133(6):790. e1-. e6.
51. Rueda S, Alcañiz M, editors. *An approach for the automatic cephalometric landmark detection using mathematical morphology and active appearance models*. *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*; 2006: Springer.
52. Liu J-K, Chen Y-T, Cheng K-S. Accuracy of computerized automatic identification of cephalometric landmarks. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2000;118(5):535-40.
53. Ricketts RM. The biologic significance of the divine proportion and Fibonacci series. *American journal of orthodontics*. 1982;81(5):351-70.

54. Allanson JE, Cuniff C, Hoyne HE, McGaughan J, Muenke M, Neri G. Elements of morphology: standard terminology for the head and face. *American Journal of Medical Genetics Part A*. 2009;149(1):6-28.
55. Göz G, Jonas I, Rakosi T. Profil und Planung kieferchirurgischer Korrekturen. *Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1984;45(1):55-64.
56. Samawi S. Clinical digital photography in orthodontics: professional photographic records in daily practice. *Jordan Dental Journal*. 2012;18(1).
57. Fernández - Riveiro P, Smyth - Chamosa E, Suárez - Quintanilla D, Suárez - Cunqueiro M. Angular photogrammetric analysis of the soft tissue facial profile. *The European Journal of Orthodontics*. 2003;25(4):393-9.
58. Fortes HNdR, Guimarães TC, Belo IML, Matta ENRd. Photometric analysis of esthetically pleasant and unpleasant facial profile. *Dental press journal of orthodontics*. 2014;19(2):66-75.
59. Karavaka SM, Halazonetis DJ, Spyropoulos MN. Configuration of facial features influences subjective evaluation of facial type. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2008;133(2):277-82.
60. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning. Part I. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 1993;103(4):299-312.
61. Vegter F, Hage JJ. Clinical anthropometry and canons of the face in historical perspective. *Plastic and reconstructive surgery*. 2000;106(5):1090-6.
62. Bashour M. History and current concepts in the analysis of facial attractiveness. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2006;118(3):741-56.
63. Finlay LM. Craniometry and cephalometry: a history prior to the advent of radiography. *The Angle orthodontist*. 1980;50(4):312-21.
64. GONZÁLEZ-ULLOA M. Quantitative principles in cosmetic surgery of the face (profileplasty). *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1962;29(2):186-98.
65. Farkas LG, Hreczko TA, Kolar JC, Munro IR. Vertical and horizontal proportions of the face in young adult North American Caucasians: revision of neoclassical canons. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1985;75(3):328-38.
66. Ricketts RM. Planning treatment on the basis of the facial pattern and an estimate of its growth. *The Angle orthodontist*. 1957;27(1):14-37.

67. Vaden JL, Pearson LE, editors. Diagnosis of the vertical dimension. Seminars in Orthodontics; 2002: Elsevier.
68. Björk A. Prediction of mandibular growth rotation. American journal of orthodontics. 1969;55(6):585-99.
69. Moss ML. Vertical growth of the human face. American journal of orthodontics. 1964;50(5):359-76.
70. Moon S-C, Kim H-K, Kwon T-K, Han SH, An C-H, Park Y-S. Patterns of vertical facial growth in Korean adolescents analyzed with mixed-effects regression analysis. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2013;143(6):810-8.
71. Trouten JC, Enlow DH, Rabine M, Phelps AE, Swedlow D. Morphologic factors in open bite and deep bite. The Angle orthodontist. 1983;53(3):192-211.
72. Ricketts RM. A foundation for cephalometric communication. American journal of orthodontics. 1960;46(5):330-57.
73. Swennen GR. 3-D cephalometric soft tissue landmarks. Three-dimensional cephalometry: Springer; 2006. p. 183-226.
74. Reich U, Dannhauer K-H. Zur kraniofazialen Morphologie kieferorthopädisch unbehandelter Patienten aus dem Raum Sachsen. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie. 1996;57(4):246-58.
75. Yosano A, Katakura A, Takaki T, Shibahara T. Influence of mandibular fixation method on stability of the maxillary occlusal plane after occlusal plane alteration. The Bulletin of Tokyo Dental College. 2009;50(2):71-82.
76. Schopf P. Zur prognose des vertikalen wachstumstyps. Fortschritte der Kieferorthopädie. 1982;43(4):271-81.
77. Alarcon JA, Bastir M, Rosas A. Variation of mandibular sexual dimorphism across human facial patterns. Homo. 2016;67(3):188-202.
78. Ricketts RM. Cephalometric analysis and synthesis. The Angle orthodontist. 1961;31(3):141-56.
79. Greene S, Kau CH, Sittitavornwong S, Powell K, Childers N, MacDougall M, et al. Surgical management and evaluation of the craniofacial growth and morphology in Cleidocranial Dysplasia: a five-year evaluation. The Journal of craniofacial surgery. 2018;29(4):959.

80. Fischer-Brandies H, Schmid R, Fischer-Brandies E. Craniofacial development in patients with Down's syndrome from birth to 14 years of age. *The European Journal of Orthodontics*. 1986;8(1):35-42.
81. Bushra E. Variations in the human facial pattern in norma lateralis. *The Angle orthodontist*. 1948;18(3):100-2.
82. Segner D. Floating norms as a means to describe individual skeletal patterns. *The European Journal of Orthodontics*. 1989;11(3):214-20.
83. De Castrillon FS, Baccetti T, Franchi L, Grabowski R, Klink-Heckmann U, McNamara JA. Lateral cephalometric standards of Germans with normal occlusion from 6 to 17 years of age. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2013;74(3):236-56.
84. Segner D, Hasund A. Individualisierte Kephalmetrie: Segner Hamburg; 1994.
85. Hasund A, Bøe OE. Klinische Kephalmetrie für die Bergen-Technik: Kieferorthopädische Abt. des zahnärztlichen Inst. der Univ. in Bergen; 1976.
86. Bock JJ, Fuhrmann RA. Evaluation of vertical parameters in cephalometry. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2007;68(3):210-22.
87. Björk A. Cranial base development. *American journal of orthodontics*. 1955;41:198-225.
88. Rakosi T. Über die Problematik der Diagnostik und Behandlung des tiefen Bisses. *Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1973;34(1):94-101.
89. V. Sassouni SN. Analysis of dentofacial vertical proportions. *American journal of orthodontics*. 1964;50:801-23.
90. Tanaka EM, Sato S. Longitudinal alteration of the occlusal plane and development of different dentoskeletal frames during growth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008;134(5):602. e1-. e11.
91. Kim J, Akimoto S, Shinji H, Sato S. Importance of vertical dimension and cant of occlusal plane in craniofacial development. *international journal of stomatology & occlusion medicine*. 2009;2(3):114.
92. Jarabak JR. Open bite. *Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1983;44(2):122-33.
93. Batwa W, Hunt NP, Petrie A, Gill D. Effect of occlusal plane on smile attractiveness. *The Angle orthodontist*. 2012;82(2):218-23.

94. Steiner CC. The use of cephalometrics as an aid to planning and assessing orthodontic treatment: report of a case. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1960;46(10):721-35.
95. Ricketts RM. Cephalometric synthesis: An exercise in stating objectives and planning treatment with tracings of the head roentgenogram. *American journal of orthodontics*. 1960;46(9):647-73.
96. Jarabak JR. Development of a treatment plan in the light of one's concept of treatment objectives. *American journal of orthodontics*. 1960;46(7):481-514.
97. Schudy GF. Posttreatment craniofacial growth: its implications in orthodontic treatment. *American journal of orthodontics*. 1974;65(1):39-57.
98. Schudy FF. The control of vertical overbite in clinical orthodontics. *The Angle orthodontist*. 1968;38(1):19-39.
99. Celar AG, Freudenthaler JW, Pescheck A. Denture Frame Analyse nach Sato-Kephalometrische Werte einer mitteleuropäischen Population. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie*. 2001;34(04):317-28.
100. Celar AG, Freudenthaler JW, Celar RM, Jonke E, Schneider B. The denture frame analysis: an additional diagnostic tool. *The European Journal of Orthodontics*. 1998;20(5):579-87.
101. Ricketts RM. A principle of arcial growth of the mandible. *The Angle orthodontist*. 1972;42(4):368-86.
102. Team RC. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2021.
103. Meyer D, Zeileis A, Hornik K. vcd: Visualizing Categorical Data. R package version. 2020:1.4-8.
104. Signorell A, Aho K, Alfons A, Anderegg N, Aragon T. DescTools: Tools for Descriptive Statistics. R package version 0.99.42. 2021.
105. Bock JJ, Fuhrmann RA. Evaluation of vertical parameters in cephalometry. *J Orofac Orthop*. 2007;68(3):210-22.
106. Held L, Rufibach K, Seifert B. *Medizinische Statistik: Konzepte, Methoden, Anwendungen*: Pearson; 2013.
107. Schmuth G, Chow K, Drescher D. Comparison of cephalometric mean values. *The European Journal of Orthodontics*. 1988;10(1):68-71.

108. Ahmed M, Shaikh A, Fida M. Diagnostic performance of various cephalometric parameters for the assessment of vertical growth pattern. *Dental press journal of orthodontics*. 2016;21(4):41-9.
109. Yezioro Rubinsky S, Eslava-Schmalbach J. Experts' clinical diagnosis test as a gold standard for cephalometric evaluation of vertical facial excess. *Revista de Salud Pública*. 2007;9:399-407.
110. Reis SAB, Abrão J, Claro CAA, Fornazari RF, Capelloza Filho L. Agreement among orthodontists regarding facial pattern diagnosis. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2011;16(4):60-72.
111. Queiroz GV, Rino Neto J, Paiva JBd, Capelloza Filho L. Analysis of reliability, accuracy, sensitivity and predictive value of a subjective method to classify facial pattern in adults. *Dental press journal of orthodontics*. 2016;21(6):58-66.
112. Scheideman G, Bell W, Legan H, Finn R, Reisch J. Cephalometric analysis of dentofacial normals. *American journal of orthodontics*. 1980;78(4):404-20.
113. Altamus LA. A comparison of cephalofacial relationships. *The Angle orthodontist*. 1960;30(4):223-40.
114. Nanda R, Nanda RS. Cephalometric study of the dentofacial complex of North Indians. *The Angle orthodontist*. 1969;39(1):22-8.
115. Cotton WN, Takano WS, Wong WM. The Downs analysis applied to three other ethnic groups. *The Angle orthodontist*. 1951;21(4):213-20.
116. Stoner MM. A photometric analysis of the facial profile: a method of assessing facial change induced by orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1955;41(6):453-69.
117. Tweed CH. Evolutionary trends in orthodontics, past, present, and future. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1953;39(2):81-108.
118. Merrifield LL. The profile line as an aid in critically evaluating facial esthetics. *American journal of orthodontics*. 1966;52(11):804-22.
119. Sato S. Longitudinal study of the denture frame changes and its relationship with the development of skeletal malocclusions. *J Jpn Orthod Soc*. 1988;47:186-96.
120. Sato S. Alteration of occlusal plane due to posterior discrepancy related to development of malocclusion-introduction to denture frame analysis. *Bull Kanagawa Dent Col*. 1987;15:115-23.
121. Wolf C, Best H. *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse*: Springer; 2010.

122. Tollefson TT, Sykes JM. Computer imaging software for profile photograph analysis. *Archives of facial plastic surgery*. 2007;9(2):113-9.
123. Durao AP, Morosolli A, Pittayapat P, Bolstad N, Ferreira AP, Jacobs R. Cephalometric landmark variability among orthodontists and dentomaxillofacial radiologists: a comparative study. *Imaging science in dentistry*. 2015;45(4):213-20.
124. Tng TT, Chan TC, Hägg U, Cooke MS. Validity of cephalometric landmarks. An experimental study on human skulls. *The European Journal of Orthodontics*. 1994;16(2):110-20.
125. Ulkur F, Ozdemir F, Germec-Cakan D, Kaspar EC. Landmark errors on posteroanterior cephalograms. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2016;150(2):324-31.
126. Uysal T, Baysal A, Yagci A. Evaluation of speed, repeatability, and reproducibility of digital radiography with manual versus computer-assisted cephalometric analyses. *The European Journal of Orthodontics*. 2009;31(5):523-8.
127. Farkas LG, Katic MJ, Forrest CR. International anthropometric study of facial morphology in various ethnic groups/races. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2005;16(4):615-46.
128. Bhopal R, Donaldson L. White, European, Western, Caucasian, or what? Inappropriate labeling in research on race, ethnicity, and health. *American journal of public health*. 1998;88(9):1303-7.

8 Anhang

8.1 Faktorladungen der FRS-Parameter auf die Hauptkomponenten

FRS-Parameter	Hauptkomponente 1	Hauptkomponente 2	Hauptkomponente 3	Hauptkomponente 4
Fazialachsenwinkel	-,204499	-,312836	0,152267	-,120603
Y-Achsen-Winkel	0,200308	0,359283	0,005377	-,156899
NL-NSL-Winkel	0,027391	0,335784	0,407544	0,154048
Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	0,016749	0,180210	0,244231	0,464400
OccI-NSL-Winkel	0,183270	0,362872	0,093062	-,195354
Oberer Okklusionswinkel	0,174822	0,077797	-,286248	-,361599
Unterkieferebenenwinkel	0,294774	0,008149	-,008655	0,203329
Untere Gesichtshöhe nach Ricketts	0,274871	-,008401	-,218777	-,045361
Summenwinkel	0,317082	0,090941	0,072431	-,019201
Unterer Gonionwinkel (Go2)	0,303875	-,034111	0,045521	0,093822
Basiswinkel	0,294307	-,117391	-,179835	-,113513
ML-NSL-Winkel	0,316981	0,090853	0,072834	-,020254
Unterer Okklusionswinkel	0,246565	-,227948	0,006893	0,162693
Verhältnis zwischen unterem Okklusi- onswinkel und Basiswinkel	0,107410	-,248375	0,112325	0,274667
Index/Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe	-,131209	0,294662	0,309209	0,089054
Gesichtshöhenverhältnis (FHR)	-,296468	-,035023	-,092804	0,032375
Unterkieferbogenwinkel	-,252447	0,183079	-,151619	0,013004
Gonialwinkel	0,248085	-,225963	0,240187	-,007879
Sattelwinkel	-,048402	0,134116	0,272086	-,471227
Artikularwinkel	0,017334	0,191696	-,412972	0,372603
Oberer Gonionwinkel (Go1)	0,071390	-,342745	0,354122	-,121022

Tabelle 20: Faktorladungen der FRS-Parameter auf die Hauptkomponenten 1-4

FRS-Parameter	Hauptkomponenten- te5	Hauptkomponenten- te6	Hauptkomponenten- te7	Hauptkomponenten- te8	Hauptkomponenten- te9
Fazialachsenwinkel	-,044891	0,029322	0,443016	-,347835	-,044366
Y-Achsen-Winkel	0,267517	0,062653	-,257644	0,069553	-,026110
NL-NSL-Winkel	0,042241	0,066723	0,243179	-,002336	-,378139
Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	-,311403	0,370487	-,088615	-,261282	0,328582
Occl-NSL-Winkel	-,239995	0,020623	0,358633	0,149252	0,011460
Oberer Okklusions- winkel	-,304006	-,039832	0,161048	0,166335	0,372060
Unterkieferebenen- winkel	-,152671	0,128318	-,085199	-,238174	0,393286
Untere Gesichtshöhe nach Ricketts	0,026638	0,353670	-,175600	-,012559	-,281284
Summenwinkel	0,086612	-,088767	0,125687	-,066785	-,054070
Unterer Gonionwinkel (Go2)	-,059350	0,206042	0,019347	0,291239	-,191465
Basiswinkel	0,059173	-,127162	-,027353	-,064136	0,180336
ML-NSL-Winkel	0,088597	-,086223	0,123700	-,067864	-,047716
Unterer Okklusions- winkel	0,346716	-,138022	-,177408	-,232879	-,082171
Verhältnis zwischen unterem Okklusions- winkel und Basiswin- kel	0,488823	0,131506	0,332737	0,439674	0,391164
Index/Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe	0,050798	-,527939	-,264592	0,211372	0,240741
Gesichtshöhenver- hältnis (FHR)	-,077831	0,307147	-,307968	0,350047	-,020187
Unterkieferbogenwin- kel	0,192037	0,203696	0,299100	0,134089	0,075991
Gonialwinkel	-,197904	0,029719	-,024439	0,264164	-,129203
Sattelwinkel	0,341082	0,249450	-,090732	-,274420	0,225909
Artikularwinkel	-,006469	-,296383	0,190247	-,100967	-,089571
Oberer Gonionwinkel (Go1)	-,266517	-,184818	-,063038	0,114244	0,002841

Tabelle 21: Faktorladungen der FRS-Parameter auf die Hauptkomponenten 5-9

8.2 Boxplots der Hauptkomponentenanalyse, gruppiert nach den Fotobewertungen

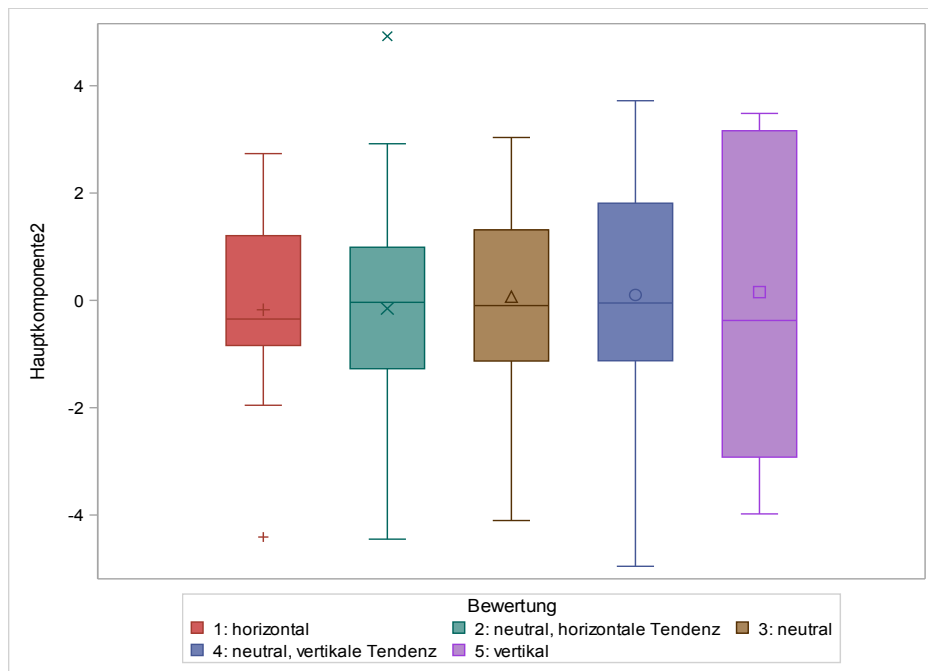


Abbildung 35: Boxplot der Hauptkomponente 2

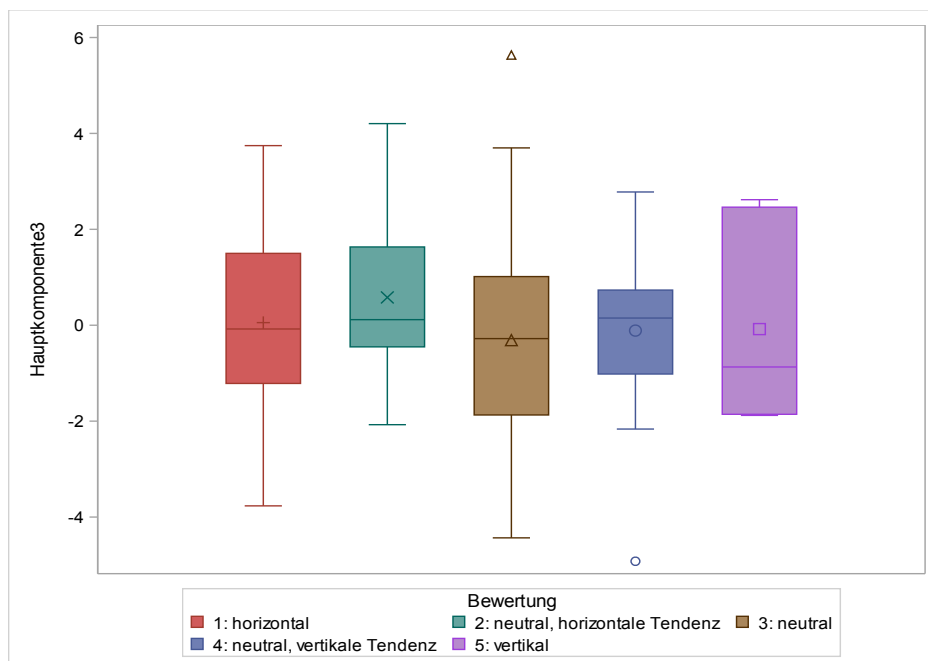


Abbildung 36: Boxplot der Hauptkomponente 3

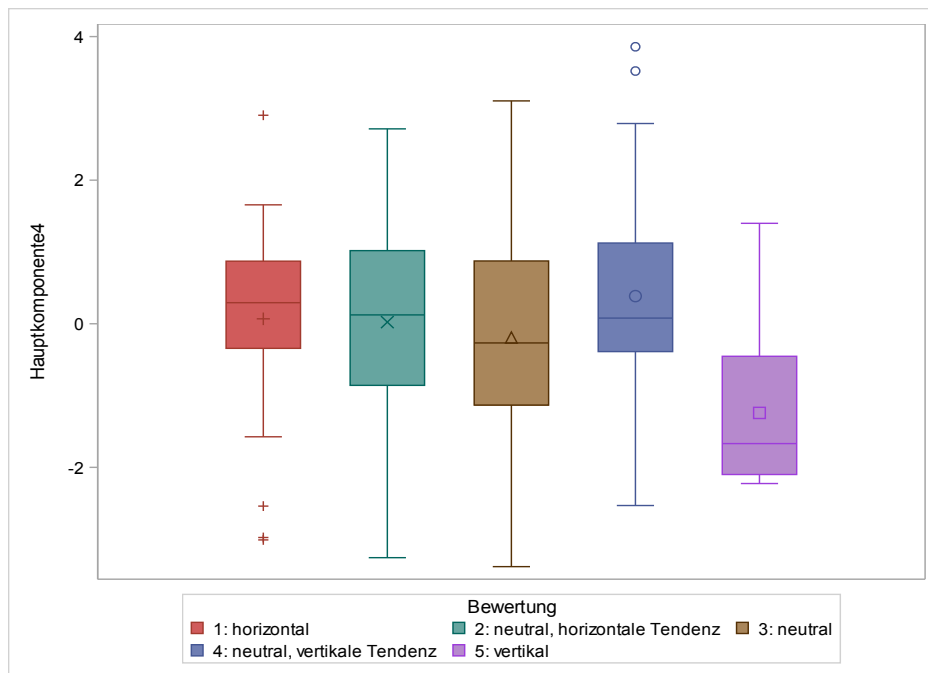


Abbildung 37: Boxplot der Hauptkomponente 4

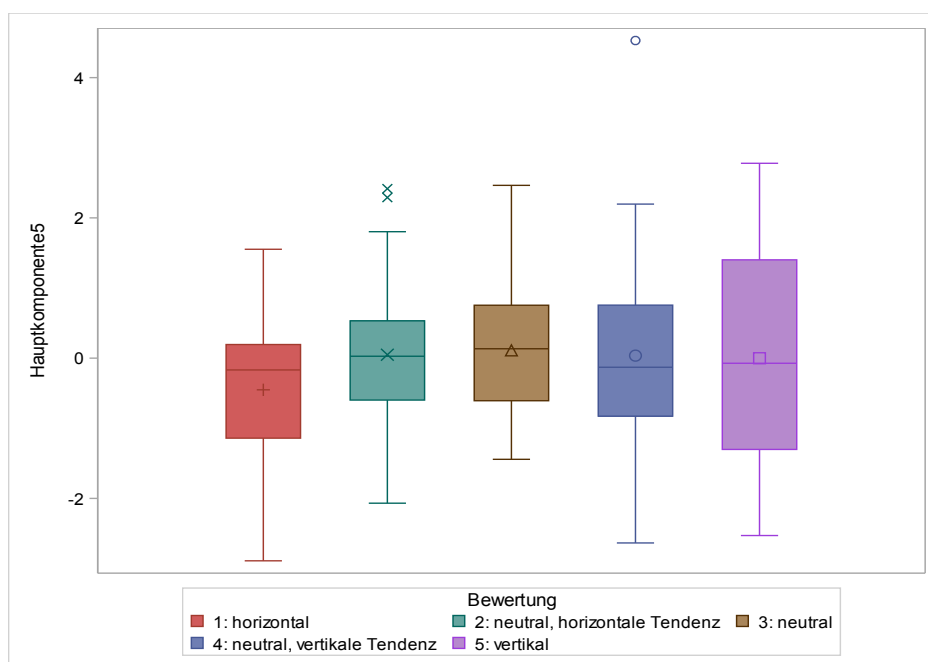


Abbildung 38: Boxplot der Hauptkomponente 5

8.3 Pearson-Korrelationskoeffizienten der FRS-Parameter

	FZAW	YAW	NL_NSL	PP_FFH	Occl_NSL	O_Occl	UKEW	UGHR	Go2	ML_NSL	BasisW	U_Occl	OPMP_PPMP	Index	FHR	UKBW	GonialW
FZAW Fazialachsenwinkel	1,00	-0,80 <,0001	-0,26 0,00	-0,22 0,00	-0,61 <,0001	-0,45 <,0001	-0,61 <,0001	-0,61 <,0001	-0,54 <,0001	-0,64 <,0001	-0,49 <,0001	-0,26 0,00	0,04 0,60	-0,01 0,93	0,49 <,0001	0,23 0,00	-0,13 0,08
YAW Y-Achsen-Winkel	-0,80 <,0001	1,00	0,44 <,0001	0,06 0,45	0,76 <,0001	0,45 <,0001	0,48 <,0001	0,57 <,0001	0,50 <,0001	0,73 <,0001	0,47 <,0001	0,23 0,00	-0,05 0,47	0,11 0,16	-0,59 <,0001	-0,21 0,00	0,14 0,07
NL_NSL NL-NSL-Winkel	-0,26 0,00	0,44 <,0001	1,00	0,62 <,0001	0,56 <,0001	-0,32 <,0001	0,13 0,09	-0,15 0,05	0,17 0,02	0,32 <,0001	-0,30 <,0001	-0,12 0,11	0,02 0,84	0,60 <,0001	-0,28 0,00	-0,02 0,77	0,09 0,24
PP_FFH Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	-0,22 0,00	0,06 0,45	0,62 <,0001	1,00	0,23 0,00	-0,32 <,0001	0,41 <,0001	-0,10 0,20	0,18 0,02	0,11 0,13	-0,27 0,00	-0,08 0,29	0,03 0,67	0,35 <,0001	-0,07 0,39	-0,08 0,28	0,11 0,16
Occl_NSL Occl-NSL-Winkel	-0,61 <,0001	0,76 <,0001	0,56 <,0001	0,23 0,00	1,00	0,61 <,0001	0,47 <,0001	0,39 <,0001	0,48 <,0001	0,67 <,0001	0,33 <,0001	-0,09 0,23	-0,26 0,00	0,15 0,04	-0,60 <,0001	-0,26 0,00	0,25 0,00
O_Occl oberer Okklusionswinkel	-0,45 <,0001	0,45 <,0001	-0,32 <,0001	-0,32 <,0001	0,61 <,0001	1,00	0,42 <,0001	0,59 <,0001	0,39 <,0001	0,46 <,0001	0,66 <,0001	0,01 0,87	-0,32 <,0001	-0,40 <,0001	-0,41 <,0001	-0,28 0,00	0,20 0,01
UKEW Unterkiefererebenenwinkel	-0,61 <,0001	0,48 <,0001	0,13 0,09	0,41 <,0001	0,47 <,0001	0,42 <,0001	1,00	0,73 <,0001	0,86 <,0001	0,84 <,0001	0,77 <,0001	0,66 <,0001	0,28 0,00	-0,33 <,0001	-0,78 <,0001	-0,69 <,0001	0,66 <,0001
UGHR untere Gesichtshöhe nach Ricketts	-0,61 <,0001	0,57 <,0001	-0,15 0,05	-0,10 0,20	0,39 <,0001	0,59 <,0001	0,73 <,0001	1,00	0,77 <,0001	0,74 <,0001	0,84 <,0001	0,60 <,0001	0,19 0,01	-0,63 <,0001	-0,63 <,0001	-0,56 <,0001	0,48 <,0001
Go2 Unterer Gonionwinkel	-0,54 <,0001	0,50 <,0001	0,17 0,02	0,18 0,02	0,48 <,0001	0,39 <,0001	0,86 <,0001	0,77 <,0001	1,00	0,88 <,0001	0,78 <,0001	0,70 <,0001	0,38 <,0001	-0,37 <,0001	-0,75 <,0001	-0,71 <,0001	0,81 <,0001
ML_NSL ML-NSL-Winkel	-0,64 <,0001	0,73 <,0001	0,32 <,0001	0,11 0,13	0,67 <,0001	0,46 <,0001	0,84 <,0001	0,74 <,0001	0,88 <,0001	1,00	0,81 <,0001	0,67 <,0001	0,29 0,00	-0,22 0,00	-0,95 <,0001	-0,68 <,0001	0,67 <,0001
BasisW Basiswinkel	-0,49 <,0001	0,47 <,0001	-0,30 <,0001	-0,27 0,00	0,33 <,0001	0,66 <,0001	0,77 <,0001	0,84 <,0001	0,78 <,0001	0,81 <,0001	1,00	0,76 <,0001	0,28 0,00	-0,59 <,0001	-0,78 <,0001	-0,67 <,0001	0,62 <,0001
U_Occl Unterer Okklusionswinkel	-0,26 0,00	0,23 0,00	-0,12 0,11	-0,08 0,29	-0,09 0,23	0,01 0,87	0,66 <,0001	0,60 <,0001	0,70 <,0001	0,67 <,0001	0,76 <,0001	1,00	0,65 <,0001	-0,44 <,0001	-0,68 <,0001	-0,65 <,0001	0,66 <,0001
OPMP_PPMP Verhältnis zwischen unterem Okklusionswinkel und Basiswinkel	0,04 0,60	-0,05 0,47	0,02 0,84	0,03 0,67	-0,26 0,00	-0,32 <,0001	0,28 0,00	0,19 0,01	0,38 <,0001	0,29 0,00	0,28 0,00	0,65 <,0001	1,00	-0,23 0,00	-0,29 <,0001	-0,29 0,00	0,40 <,0001
Index Index/Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe	-0,01 0,93	0,11 0,16	0,60 <,0001	0,35 <,0001	0,15 0,04	-0,40 <,0001	-0,33 <,0001	-0,63 <,0001	-0,37 <,0001	-0,22 0,00	-0,59 <,0001	-0,44 <,0001	-0,23 0,00	1,00	0,22 0,00	0,28 0,00	-0,32 <,0001
FHR Gesichtshöhenverhältnis	0,49 <,0001	-0,59 <,0001	-0,28 0,00	-0,07 0,39	-0,60 <,0001	-0,41 <,0001	-0,78 <,0001	-0,63 <,0001	-0,75 <,0001	-0,95 <,0001	-0,78 <,0001	-0,68 <,0001	-0,29 <,0001	0,22 0,00	1,00	0,70 <,0001	-0,65 <,0001
UKBW Unterkieferbogenwinkel	0,23 0,00	-0,21 0,00	-0,02 0,77	-0,08 0,28	-0,26 0,00	-0,28 0,00	-0,69 <,0001	-0,56 <,0001	-0,71 <,0001	-0,68 <,0001	-0,67 <,0001	-0,65 <,0001	-0,29 0,00	0,28 0,00	0,70 <,0001	1,00	-0,84 <,0001
GonialW Gonialwinkel	-0,13 0,08	0,14 0,07	0,09 0,24	0,11 0,16	0,25 0,00	0,20 0,01	0,66 <,0001	0,48 <,0001	0,81 <,0001	0,67 <,0001	0,62 <,0001	0,66 <,0001	0,40 <,0001	-0,32 <,0001	-0,65 <,0001	-0,84 <,0001	1,00

Tabelle 22: Pearson-Korrelationskoeffizienten der FRS-Parameter Die Pearson-Korrelationskoeffizienten der FRS-Parameter werden in einer Kreuzta-
belle dargestellt. Es werden die Korrelationen zwischen den FRS-Parametern betrachtet

8.4 Bias und Limits of Agreement der FRS-Parameter

FRS-Parameter	Vergleich	Bias	Lower Limit of Agreement	Upper Limit of Agreement
Fazialachsenwinkel	U1, M1 - M2	-0,14	-1,27	0,98
	U2, M1 - M2	-0,08	-1,99	1,83
	U1 - U2, M1	0,8	-1,33	2,93
	U1 - U2, M2	0,86	-1,33	3,05
Y-Achsen-Winkel	U1, M1 - M2	-0,05	-0,9	0,79
	U2, M1 - M2	-0,13	-1,08	0,83
	U1 - U2, M1	-0,29	-1,42	0,85
	U1 - U2, M2	-0,36	-1,65	0,93
NL-NSL-Winkel	U1, M1 - M2	-0,14	-1,53	1,26
	U2, M1 - M2	0,11	-1,74	1,96
	U1 - U2, M1	-0,86	-2,82	1,09
	U1 - U2, M2	-0,62	-2,74	1,51
Winkel zwischen Spinaplanum und Frankfurter Horizontale	U1, M1 - M2	-0,22	-1,69	1,25
	U2, M1 - M2	0,49	-2	2,99
	U1 - U2, M1	-0,77	-3,98	2,45
	U1 - U2, M2	-0,05	-3,43	3,33
Occl-NSL-Winkel	U1, M1 - M2	-0,01	-1,48	1,46
	U2, M1 - M2	0,24	-1,97	2,44
	U1 - U2, M1	-0,27	-2,48	1,94
	U1 - U2, M2	-0,02	-2,2	2,16
Oberer Okklusionswinkel	U1, M1 - M2	0,13	-1,53	1,79
	U2, M1 - M2	0,12	-2,29	2,52
	U1 - U2, M1	0,6	-1,9	3,1
	U1 - U2, M2	0,58	-1,8	2,96
Unterkieferebenenwinkel	U1, M1 - M2	-0,01	-1,26	1,25
	U2, M1 - M2	0,1	-2,06	2,27
	U1 - U2, M1	-0,23	-3,42	2,95
	U1 - U2, M2	-0,12	-3,63	3,38
Untere Gesichtshöhe nach Ricketts	U1, M1 - M2	0,38	-0,96	1,71
	U2, M1 - M2	0,05	-1,73	1,83
	U1 - U2, M1	0,11	-2,29	2,51
	U1 - U2, M2	-0,22	-2,02	1,58
Summenwinkel	U1, M1 - M2	0,07	-1,09	1,22
	U2, M1 - M2	-0,29	-1,61	1,03
	U1 - U2, M1	-0,34	-1,97	1,29
	U1 - U2, M2	-0,7	-2,6	1,21
Unterer Gonionwinkel (Go2)	U1, M1 - M2	0,07	-0,79	0,94
	U2, M1 - M2	-0,16	-1,12	0,8
	U1 - U2, M1	-0,3	-1,63	1,03
	U1 - U2, M2	-0,54	-1,87	0,79
Basiswinkel	U1, M1 - M2	0,21	-1,11	1,53
	U2, M1 - M2	-0,41	-2,21	1,39
	U1 - U2, M1	0,53	-1,44	2,5
	U1 - U2, M2	-0,08	-2,16	1,99
ML-NSL-Winkel	U1, M1 - M2	0,07	-1,09	1,22
	U2, M1 - M2	-0,29	-1,59	1,02
	U1 - U2, M1	-0,33	-1,98	1,32
	U1 - U2, M2	-0,68	-2,6	1,23
Unterer Okklusionswinkel	U1, M1 - M2	0,08	-1,28	1,44
	U2, M1 - M2	-0,53	-2,69	1,63
	U1 - U2, M1	-0,07	-2,48	2,34
	U1 - U2, M2	-0,68	-3,12	1,76
Verhältnis zwischen unterem Okklusionswinkel und Basiswinkel (OP-MP/PP-MP)	U1, M1 - M2	-0,02	-0,12	0,09
	U2, M1 - M2	-0,01	-0,1	0,09
	U1 - U2, M1	-0,01	-0,14	0,12
	U1 - U2, M2	0	-0,11	0,11
Index/Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe	U1, M1 - M2	-0,08	-2,03	1,87
	U2, M1 - M2	0,15	-2,36	2,66
	U1 - U2, M1	0,17	-2,51	2,86
	U1 - U2, M2	0,4	-2,66	3,47
Gesichtshöhenverhältnis (FHR)	U1, M1 - M2	-0,11	-1,26	1,05
	U2, M1 - M2	0,2	-1,1	1,5
	U1 - U2, M1	-0,04	-1,78	1,7
	U1 - U2, M2	0,26	-1,69	2,22
Unterkieferbogenwinkel	U1, M1 - M2	-0,24	-2,41	1,93
	U2, M1 - M2	0,15	-4,31	4,61
	U1 - U2, M1	0,13	-5,22	5,48
	U1 - U2, M2	0,52	-4,99	6,02
Gonialwinkel	U1, M1 - M2	0,03	-1,6	1,67
	U2, M1 - M2	-0,16	-2,23	1,91
	U1 - U2, M1	-0,17	-3,31	2,96
	U1 - U2, M2	-0,37	-3,21	2,48
Sattelwinkel	U1, M1 - M2	-0,34	-1,84	1,16
	U2, M1 - M2	-0,46	-2,43	1,51
	U1 - U2, M1	-0,4	-2,9	2,1
	U1 - U2, M2	-0,53	-2,66	1,61
Artikularwinkel	U1, M1 - M2	0,38	-1,5	2,25
	U2, M1 - M2	0,31	-2,33	2,95
	U1 - U2, M1	0,24	-3,72	4,2
	U1 - U2, M2	0,18	-2,9	3,26
Oberer Gonionwinkel (Go1)	U1, M1 - M2	-0,04	-1,19	1,12
	U2, M1 - M2	0	-1,47	1,48
	U1 - U2, M1	0,13	-2,13	2,39
	U1 - U2, M2	0,17	-1,91	2,24

Tabelle 23: Übersicht über Bias und Limits of Agreement der FRS-Parameter U1 = FRS-Untersucher 1, U2 = FRS-Untersucher 2, M1 = 1. Messung, M2 = 2. Messung

Danksagung

Ich danke dem ersten Gutachter für die Möglichkeit meine Dissertation in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz zu verfassen.

Mein größter Dank gilt meiner Betreuerin. Vielen Dank für die Überlassung des Dissertationsthemas, das Korrekturlesen und die guten Ratschläge. Ohne Sie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Ebenfalls herzlich danken möchte ich meiner statistischen Beraterin für die ausführliche und stets freundliche statistische Unterstützung.

Ich danke meiner Familie für den starken Rückhalt, der mein Studium und diese Dissertation überhaupt erst ermöglicht hat.

Vielen Dank an meine Freunde für ihre Motivation, Ratschläge und für den fachlichen Austausch und die Unterstützung.

Auch dem Fachpersonal der Bereichsbibliothek Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz danke ich für die stets fachkundige und freundliche Beratung.

Lebenslauf

Name	Petersen
Vorname	Caren Isabelle
Geburtsort	Köln
Geburtsland	Deutschland
Erwerbstätigkeit	
01.07.2022 – dato	Zahnärztin in Anstellung Zahnarztpraxis Dres. Braun Griesheim
01.04.2021 – 30.06.22	Zahnärztin in Anstellung Gemeinschaftspraxis Dr. Nassau und Dr. Neuroth-Nassau Stockstadt am Rhein
1.04.2019 – 31.03.2021	Vorbereitungsassistentenzahnärztin Gemeinschaftspraxis Dr. Nassau und Dr. Neuroth-Nassau Stockstadt am Rhein Zahnarztpraxis Danny Rohm Wiesbaden
Ausbildung	
26.11.2018	Approbation als Zahnärztin
2013 - 2018	Studium der Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz