

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. Collin Jacobs

**Eignung von Verfahren zur Einblendung im
Fernröntgenseitenbild zur Reduktion der
Strahlendosis**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität

Düsseldorf

Vorgelegt von
Sarah Azimi

2026

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter/in: Prof. Dr. med. dent. Kathrin Becker

Zweigutachter/in: Prof. Dr. med. dent. Alfons Hugger

Für meine Eltern

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Becker K, Azimi S, Nienkemper M, Stigler R, Langer LJ, Mücke K. Impact of cranial collimation on cephalometric landmark visibility. *Head Face Med.* 2026 Feb 5;22(1):22. doi: 10.1186/s13005-026-00586-1. PMID: 41645308; PMCID: PMC12937578.

Postervorstellung im Rahmen des *98th Congress of the European Orthodontic Society* in Oslo, Norwegen:

Sarah Azimi, Robert Stigler, Manuel Nienkemper, Dieter Drescher, Kathrin Becker
Collimation of lateral cephalograms – What are the risks of landmark masking?

Postervorstellung im Rahmen der 95. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie in Stuttgart:

S. Azimi, R. Stigler, M. Nienkemper, D. Drescher, K. Becker

Einblendung von Fernröntgenseitenbildern – Wie ist der Einfluss auf die diagnostische Genauigkeit?

Um die Lesbarkeit dieser Arbeit zu erleichtern, wird das generische Maskulinum verwendet. Weibliche sowie andere Geschlechteridentitäten sind dabei ausdrücklich miteingeschlossen.

Zusammenfassung

Entsprechend der Vorgaben des ALARA-Prinzips sollte die Strahlenexposition von Patienten bei Anfertigung eines Röntgenbildes so niedrig wie möglich gehalten werden. Einige Hersteller bieten daher bei Fernröntgenseitenaufnahmen die Möglichkeit der kranialen Einblendung an. Allerdings gibt es keine Informationen bezüglich einer optimalen Einstellung der Einblendung, um eine Ausblendung von diagnostisch relevanten und kranial liegenden Referenzpunkten (*Nasion* und *Sella*) zu vermeiden. Ziel der Studie war es dementsprechend zu ermitteln, wie häufig die kranialen Referenzpunkte *Nasion* und *Sella* bei aktuell genutzten Einblendungseinstellungen ausgeblendet werden und welche Werte zur Einblendung für eine Optimierung der diagnostischen Genauigkeit ratsam wären.

Es wurden $n=1000$ Fernröntgenseitenaufnahmen von Patienten der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Düsseldorf für die Studie verwendet. Die Aufnahmen wurden in eingeblendete sowie nicht eingeblendete Aufnahmen unterteilt. Die ursprünglich nicht eingeblendeten Aufnahmen wurden mit dem Programm Fiji unter Berücksichtigung der Parameter, die vom Hersteller Sirona Dental Systems GmbH (Bensheim, Deutschland) bereitgestellt wurden, virtuell eingeblendet. Die Häufigkeit, mit der die am weitesten kranial gelegenen Referenzpunkte *Nasion* und *Sella* ausgeblendet wurden und der Zusammenhang zwischen der Ausblendung und dem skelettalen Wachstumsmuster sowie der Inklination des Kopfes wurden ermittelt. Auf dieser Grundlage wurden die idealen Einblendungsparameter errechnet, um eine Ausblendung auszuschließen.

Die statistische Analyse wurde mit den Programmen Microsoft Excel sowie R durchgeführt. Das Signifikanzniveau für diese Studie betrug $p<0,05$.

Während *Sella* auf allen FRS-Aufnahmen sichtbar war, wurde *Nasion* in 0,6% der FRS-Aufnahmen ausgeblendet. Um eine Ausblendung in allen Aufnahmen zu vermeiden, hätte man die oberen 16,02% der Bildhöhe der FRS-Aufnahmen einblenden müssen. Da bei 99% der Patienten trotz Einblendung alle diagnostisch notwendigen Referenzpunkte sichtbar waren, sind die aktuellen Einblendungsparameter als empfehlenswert einzustufen. Eine korrekte Einstellung des Kopfes im Röntgengerät könnte eine Ausblendung weiter minimieren.

Abstract

In accordance with the ALARA principle, the exposure to radiation when taking radiographs should be kept as low as reasonably possible. Therefore, some manufacturers offer the possibility to cranially collimate lateral cephalograms in order to mask structures of the head that are not necessary for diagnostics.

However, there is no information available concerning optimal collimation geometries or settings to avoid collimation of diagnostically relevant and cranially located reference points or landmarks (*Nasion* and *Sella*).

The aim of the study was to determine how often the reference points *Nasion* and *Sella* were collimated when applying commercial collimation settings and to obtain recommendations for collimation to optimize diagnostic accuracy.

N=1000 lateral cephalograms of the patients record of the Department of Orthodontics of the University Hospital Dusseldorf in Germany were used for this study. The lateral cephalograms were subdivided into collimated and non-collimated images. The non-collimated images were then virtually collimated with the use of the software Fiji and taking into account the parameters provided by the manufacturer Sirona Dental Systems GmbH (Bensheim, Germany). The frequency by which the most cranially located reference points *Nasion* and *Sella* were collimated and the association with the skeletal growth pattern as well as the inclination of the head were obtained. Based on these findings, ideal collimation geometries were calculated to eliminate collimation of diagnostically relevant reference points.

The statistical analysis was done with the spreadsheet editor Microsoft Excel and the data analysis software R. The significance level for this study amounted to $p < 0.05$.

While *Sella* was visible on all lateral cephalograms, *Nasion* was masked in 0.6% of the images. In order to completely avoid landmark masking in all included lateral cephalograms, the upper 16.02% of the image height had to be collimated. For 99% of the included images no landmark masking occurred with the commercial collimation geometry. Therefore, the currently applied geometry generally can be recommended. By correctly positioning the head of the patient, the risk of landmark masking can be further reduced.

Abkürzungsverzeichnis

ALADAIP	<i>As Low As Diagnostically Acceptable Being Indication-oriented And Patient-specific</i>
ALARA	<i>As Low As Reasonably Achievable</i>
DNA	Desoxyribonukleinsäure
FH	Frankfurter Horizontale
FH-ML-Winkel	Winkel zwischen der Frankfurter Horizontalen und der Mandibularlinie
FH-NSL-Winkel	Winkel zwischen der Frankfurter Horizontalen und der Nasion-Sella-Linie
FRS	Fernröntgenseitenbild
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
KI	Künstliche Intelligenz
NHP	<i>Natural Head Position</i>
NSL	Nasion-Sella-Linie
OPG	Orthopantomogramm / Panoramaschichtaufnahme

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Darstellung eines FRS	1
Abbildung 2 Darstellung eines Fernröntgengerätes	3
Abbildung 3 Darstellung der Strahlendivergenz bei räumlichen Objekten (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)	4
Abbildung 4 Reduktion von Parallaxefehlern durch Fernröntgen-Technik (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)	4
Abbildung 5 Darstellung des Verzerrungseffektes (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)	5
Abbildung 6 Gesichtshorizontale nach Burstone (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)	7
Abbildung 7 Referenzpunkte im FRS (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)	8
Abbildung 8 Bezugslinien im FRS (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)	11
Abbildung 9 Bezugswinkel im FRS (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)	13
Abbildung 10 FRS mit kranialer Einblendung	17
Abbildung 11 FRS ohne kraniale Einblendung	17
Abbildung 12 FRS mit virtueller kranialer Einblendung	18
Abbildung 13 Beispiel einer Björk-Jarabak Analyse mithilfe der Diagnosesoftware „WEBCEPH“ bei einem Patienten mit einem vertikalen Wachstumsmuster	21
Abbildung 14 Beispiel Ricketts-Analyse mithilfe der Diagnosesoftware „WEBCEPH“ bei einem Patienten mit einem vertikalen Wachstumsmuster	22
Abbildung 15a Einzeichnung der FH und NSL	23
Abbildung 15b Messung des FH-NSL-Winkel	23
Abbildung 16 Vermessung der Gesichtshorizontalen nach Burstone	24
Abbildung 17 Darstellung der Frankfurter Horizontalen (FH)	26
Abbildung 18 Ausblendung von Nasion nach virtueller Einblendung mithilfe der Herstellerparameter	28

Abbildung 19 Vergrößerung von Abbildung 18 (Nasion ist rot markiert und gekennzeichnet).....	29
Abbildung 20 Keine Ausblendung von Nasion nach Anpassung der virtuellen Einblendung auf 16,02%	29
Abbildung 21 Vergrößerung von Abbildung 20 (Nasion ist rot markiert und gekennzeichnet).....	30
Abbildung 22 Zusammenhang der Ausblendung mit dem Wachstumsmuster gemäß des Summenwinkels nach Björk	31
Abbildung 23 Zusammenhang der Ausblendung mit dem Wachstumsmuster gemäß des FH-ML-Winkels.....	32
Abbildung 24 Zusammenhang der Ausblendung mit der skelettalen Wachstumsorientierung gemäß des FH-NSL-Winkels	34
Abbildung 25 Zusammenhang der Ausblendung mit der Inklination des Kopfes gemäß der NHP-Abweichung.....	35
Abbildung 26 Zusammenhang der Ausblendung mit der Inklination des Kopfes gemäß der FH-Abweichung	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Erklärung der Referenzpunkte im FRS [1]	10
Tabelle 2 Erklärung von Bezugslinien im FRS [1].....	12
Tabelle 3 Erklärung der Bezugswinkel im FRS [1].....	14

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Abstract	II
Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
1. Einleitung.....	1
1.1. Fernröntgenseitenbild	1
1.1.1. Technischer Hintergrund.....	3
1.1.2. Positionierung des Patientenkopfes	6
1.1.3. Kephalometrische Analyse	7
1.1.4. Strahlenschutz	15
1.2. Ziel der Studie	16
2. Material und Methoden	17
2.1. Studiendesign	17
2.2. Ethikvotum	17
2.3. Fernröntgenseitenbilder	17
2.3.1. Ausrichtung der Patienten	18
2.3.2. Virtuelle kraniale Einblendung	18
2.3.3. Ermittlung von idealen Einblendungsparametern	19
2.3.4. Skelettales Wachstumsmuster	20
2.3.4.1. Summenwinkel nach Björk	20
2.3.4.2. FH-ML-Winkel	21
2.3.4.3. FH-NSL-Winkel	22
2.3.5. Inklination des Kopfes	24
2.3.5.1. NHP-Abweichung.....	24
2.3.5.2. Frankfurter Horizontale	26
2.4. Statistische Auswertung	27
3. Ergebnisse.....	28
3.1. Ausblendung der am weitesten kranial liegenden Referenzpunkte	28
3.2. Zusammenhang zwischen der Ausblendung von Referenzpunkten und dem skelettalen Wachstumsmuster	30

3.2.1. Summenwinkel nach Björk	30
3.2.2. Analyse nach Ricketts	32
3.2.3. FH-NSL-Winkel.....	33
3.3. Zusammenhang zwischen der Ausblendung von Referenzpunkten und der Inklination des Kopfes.....	35
3.3.1. NHP-Abweichung	35
3.3.2. Frankfurter Horizontale	36
4. Diskussion.....	37
4.1. Einführung in die Diskussion.....	37
4.2. Limitationen der Studie	40
4.3. Schlussfolgerung.....	41
5. Literatur- und Quellenverzeichnis	42
Danksagung.....	i

1. Einleitung

1.1. Fernröntgenseitenbild

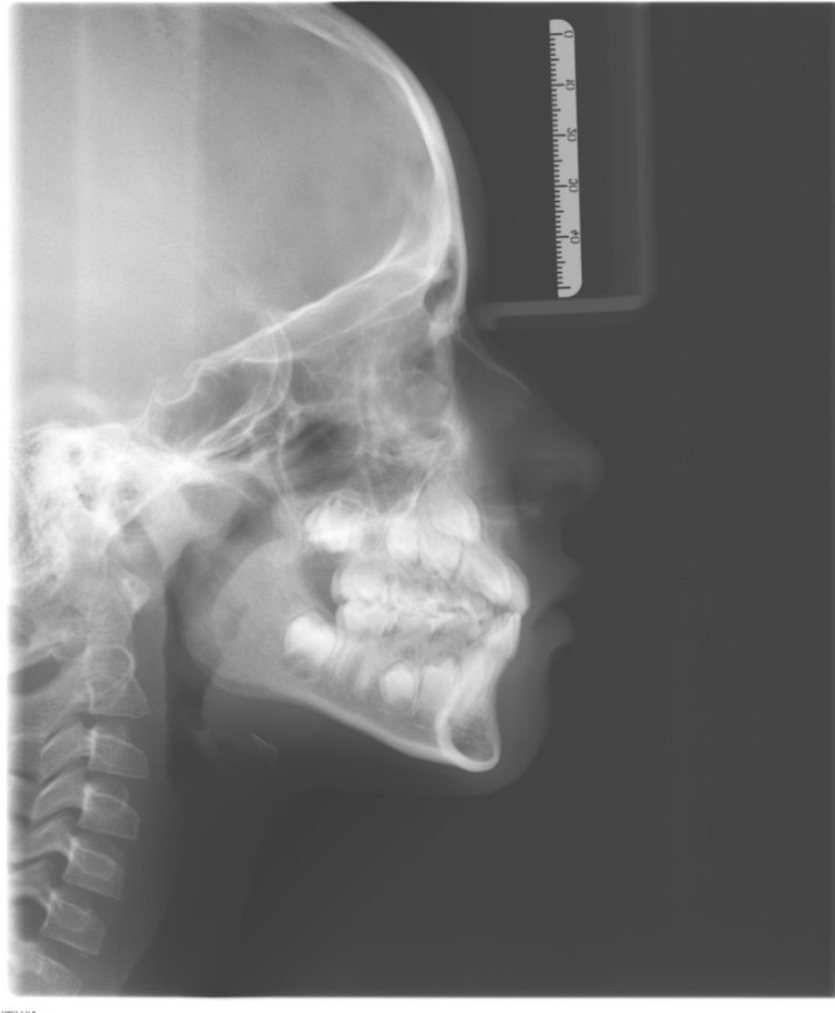


Abbildung 1 Darstellung eines FRS

1922 wurden die ersten seitlichen Röntgenbilder eines Schädels erstellt. Das Verfahren wurde allerdings nicht genau beschrieben. [2] Hofrath [3] und Broadbent [4] entwickelten schließlich 1931 unabhängig voneinander erste standardisierte Verfahren zum Erstellen eines FRS. Mit der Einführung des Kephalostats durch Broadbent war es nun möglich den Patienten reproduzierbar für eine Röntgenaufnahme in der Norma lateralis zu positionieren.

Auf Grundlage dieser Entdeckung wurden bis 1957 bis zu 45 verschiedene kephalometrische Analyseverfahren entwickelt. Die Anzahl der Analysen ist mittlerweile auf über 100 gestiegen. [5] 1975 entdeckte Broadbent außerdem, dass sich in der FRS-Aufnahme gemessene Winkel geschlechterabhängig und

mit fortschreitendem Alter verändern [6], sodass Wachstumsprognosen und -richtungen eruiert werden können, was einen maßgeblichen Einfluss auf die Planung der kieferorthopädischen Behandlung hat.

Zur Planung von kieferorthopädischen Behandlungen sind diagnostische Unterlagen, die aus Situationsmodellen oder Scans des Ober- und Unterkiefers, intra- und extraoralen Fotos sowie Röntgenbildern bestehen, notwendig. In der Regel werden sowohl eine Panoramaschichtaufnahme als auch ein Fernröntgenseitenbild [7] benötigt.

Das FRS ist eine zweidimensionale Röntgenaufnahme (Abbildung 1), bei dem der Schädel des Patienten in der Seitenansicht aufgenommen wird und anhand dessen man sagittale und vertikale Strukturmerkmale sowie skelettale und dentale Zusammenhänge beurteilen kann. Mittels kephalometrischer Analyse lassen sich unter anderem die Lagebeziehung vom Ober- und Unterkiefer zum Schädel, skelettales Wachstumsmuster und -richtung und die Achsstellung der Frontzähne bestimmen. [5, 8, 9]

1.1.1. Technischer Hintergrund

Ein Fernröntgengerät (Abbildung 2) besteht aus drei miteinander verbundenen Einheiten: dem Röntgensensor, dem Kephalostaten und dem Film.



Abbildung 2 Darstellung eines Fernröntgengerätes

Der menschliche Schädel als räumliches Objekt weist unterschiedliche Abstände zur Filmebene sowie zur Strahlenquelle auf. Je größer der Abstand zur Filmebene ist, desto größer ist der Vergrößerungsfaktor der Abbildung. Demnach kommt es beim Schädel zu verschiedenen Vergrößerungsfaktoren für die rechte und linke Gesichtshälfte des Patienten. Wegen der sogenannten Strahlendivergenz und den unterschiedlichen Vergrößerungsfaktoren kommt es daher zu Parallaxefehlern auf der Abbildung. Diese zeigen sich als Doppelkontur auf dem Röntgenbild (Abbildung 3 nach [1]).

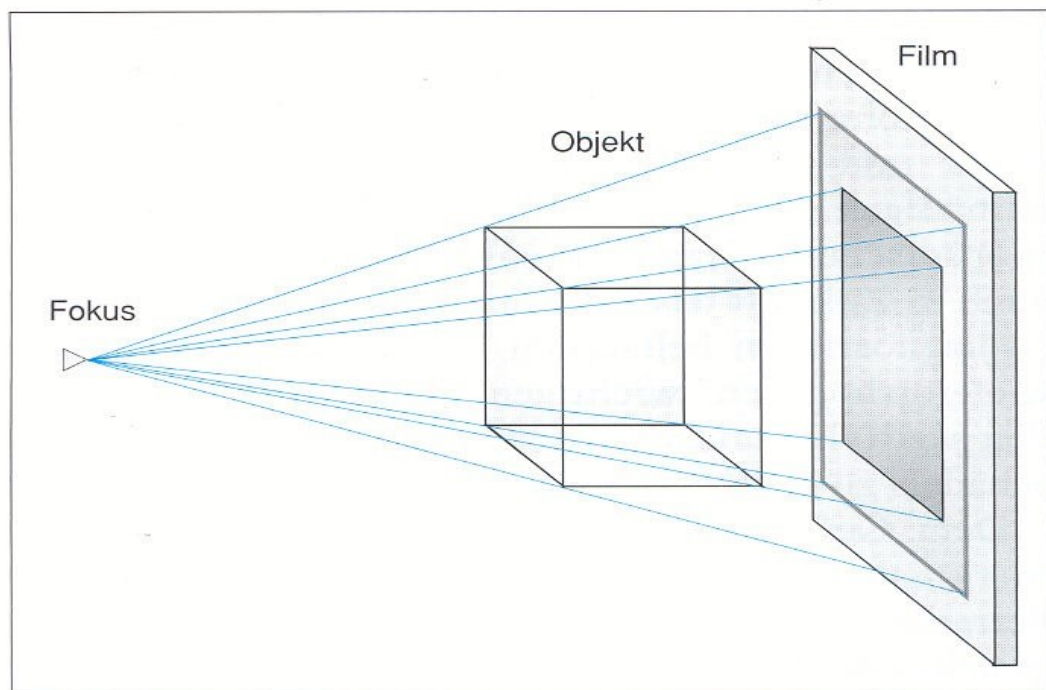


Abbildung 3 Darstellung der Strahlendivergenz bei räumlichen Objekten (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)

Um die Strahlendivergenz zu verkleinern und somit das Problem der Doppelprojektion zu minimieren, kann die Fokus-Film-Distanz (Abstand zwischen Röntgenröhre und Filmebene) vergrößert werden (Abbildung 4 nach [1]).

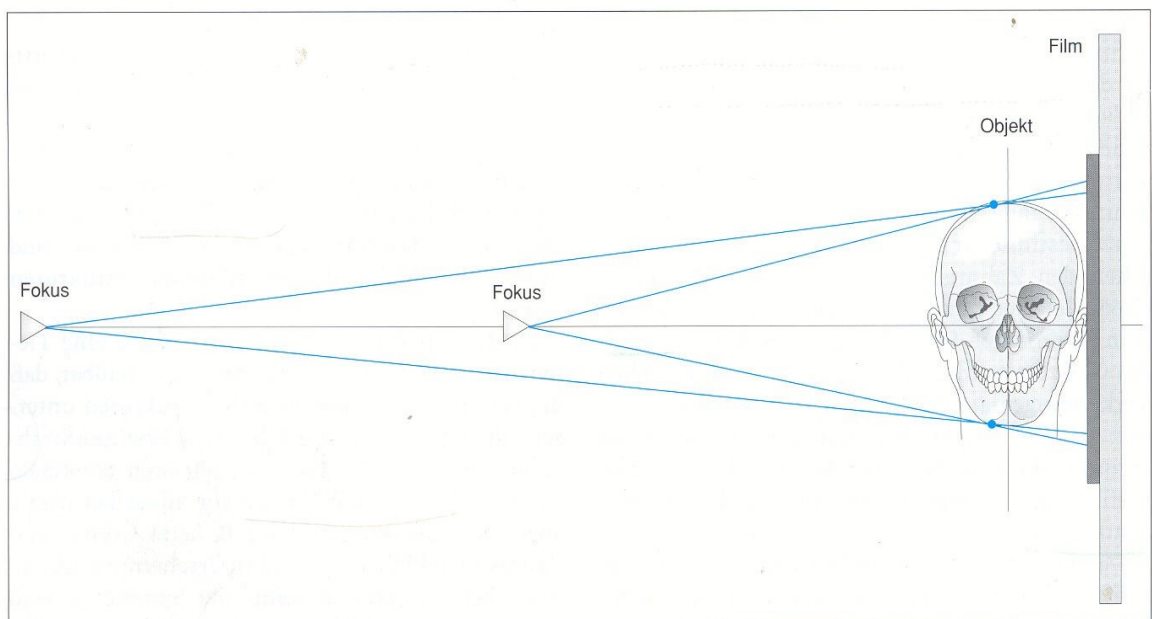


Abbildung 4 Reduktion von Parallaxefehlern durch Fernröntgen-Technik (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)

Mit größer werdendem Abstand steigt allerdings die für die Schwärzung erforderliche Strahlungsenergie quadratisch an und auch wegen praktischen Gründen kann man den Abstand nicht unendlich erweitern. Je größer der Fokus-Film-Abstand ist, desto länger muss auch die Belichtungszeit sein, was wiederum zu Verwackelungsartefakten führen kann. [10] Aufgrund dessen wurde für das FRS ein Fokus-Film-Abstand von 1,5m festgelegt, während der Objekt-Film-Abstand möglichst klein gehalten werden muss, um eine scharfe Aufnahme zu erreichen. Der Vergrößerungsfaktor beträgt bei einem Fokus-Film-Abstand von 1,5m 7%. [1]

Es ist außerdem besonders wichtig, dass der Kopf des Patienten und die Filmebene senkrecht zum Röntgenstrahl positioniert sind, damit es keine Verzerrungsartefakte (Abbildung 5 nach [1]) gibt.

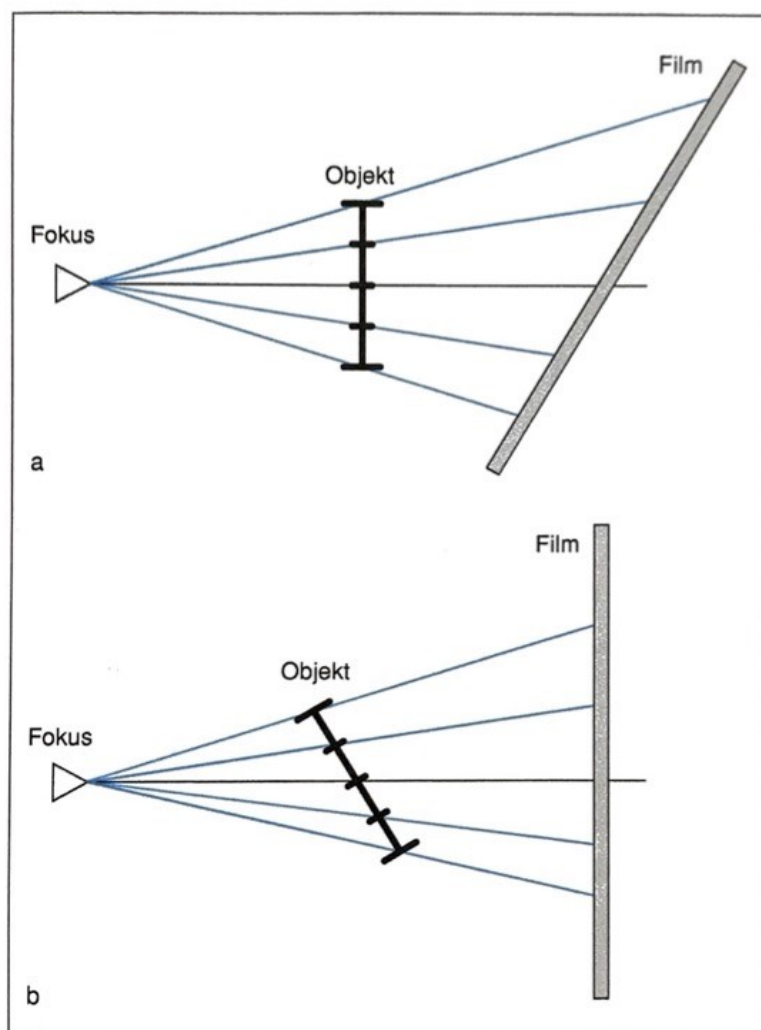


Abbildung 5 Darstellung des Verzerrungseffektes (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)

Die korrekte Einstellung der Röntgenröhre sowie des Filmhalters lässt sich am Fernröntgengerät voreinstellen. Mithilfe des fest eingebauten Kephalostaten wird der Kopf des Patienten so eingestellt, dass die Medianebene des Schädels parallel zur Filmebene steht. [1]

Ein Kephalostat ist eine Halterung für den Schädel, der an beiden Enden sogenannte Ohroliven hat, die in den äußeren Gehörgang des Patienten eingeführt werden.

1.1.2. Positionierung des Patientenkopfes

Mithilfe des Kephalostaten ist es dem Patienten nach korrekter Fixierung nur noch möglich nach anterior oder posterior kippende Bewegungen mit dem Kopf durchzuführen.

Zur Vermeidung dieser Kopfneigung und zur Verringerung von weiteren Verwackelungs- oder Verzerrungsartefakten, wird der Kopf des Patienten zudem durch einen eingebauten Lichtvisier nach der Frankfurter Horizontalen ausgerichtet und mit einer Nasenstütze an der Nasenwurzel fixiert. Der Patient nimmt letztlich die habituelle Okklusion und eine entspannte Lippenhaltung ein, sodass später eine sinnvolle Auswertung der FRS-Aufnahme gewährleistet werden kann.

Verschiedene Autoren empfehlen unterschiedliche Optionen zur Positionierung des Patientenkopfes: Broca schlug 1862 erstmals die *Natural Head Position (NHP)* vor, bei der der Patient seine natürliche Kopfhaltung einnimmt und die visuelle Achse dabei parallel zur Horizontalebene ist. [11, 12]

Daraufhin wurden auch intrakranielle Bezugsebenen definiert, nach denen der Patient im FRS ausgerichtet werden kann. Darunter fällt beispielsweise die Positionierung des Kopfes nach der Frankfurter Horizontalen parallel zur Horizontalebene [13], während zum Beispiel nach Hasund die FRS-Aufnahme bei der Vermessung entlang der Nasion-Sella-Linie horizontal ausgerichtet werden sollte. [14] Burstone et al. entwickelten 1959 eine Gesichtshorizontale, die einen Winkel von 7° zur Nasion-Sella-Linie aufweist [1] und einem statistisch bestimmten Mittelwert entspricht, der den Unterschied in der Neigung zwischen

der Nasion-Sella-Linie und der natürlichen Kopfhaltung (*Natural Head Position*) veranschaulicht (Abbildung 6).

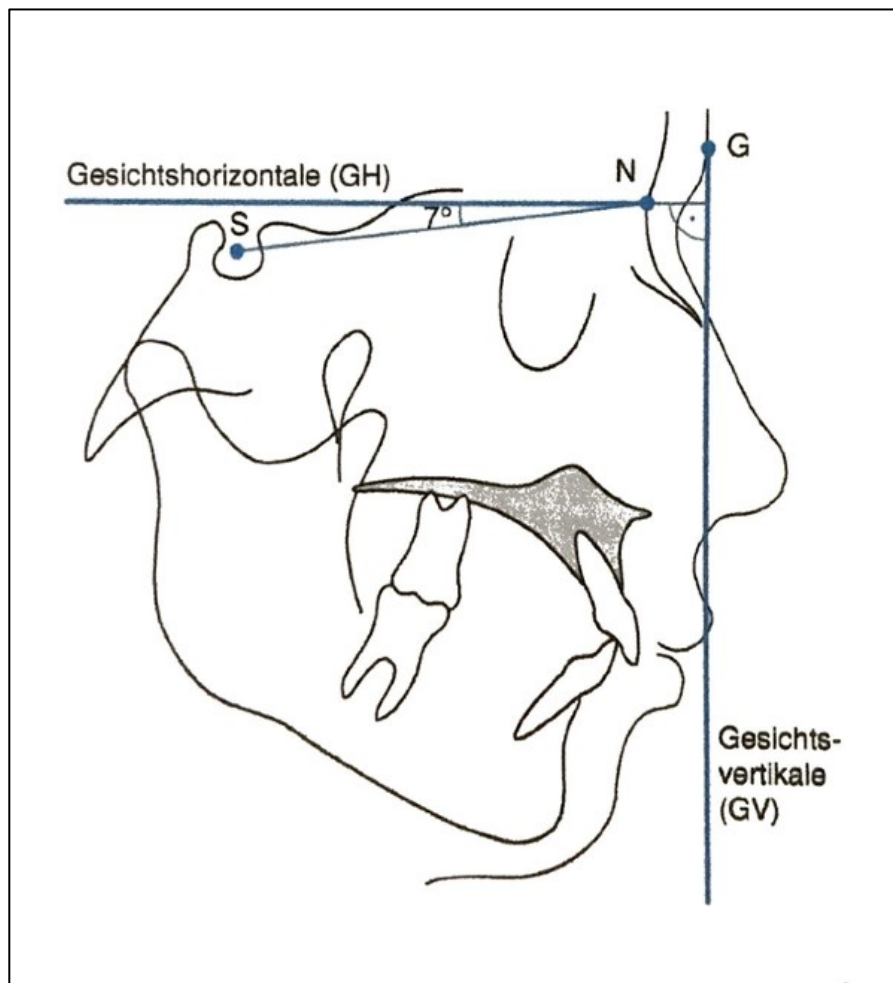


Abbildung 6 Gesichtshorizontale nach Burstone (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)

1.1.3. Kephalometrische Analyse

Um eine FRS-Aufnahme auszuwerten, werden verschiedene Referenzpunkte identifiziert. Anhand dessen können Bezugslinien und -winkel gemessen werden, um Aussagen zum skelettalen Wachstumsmuster, Position von Ober- und Unterkiefer in der Schädelbasis und zur Frontzahnstellung zu treffen.

Inzwischen gibt es weitaus über 200 identifizierbare Referenzpunkte, aus denen eine bestimmte Anzahl an Punkten ausgewählt wird, auf die man die Analyse stützt. [1]

Eine Auswahl an typischen Referenzpunkten für die kephalometrische Analyse werden in Abbildung 7 (nach [1]) dargestellt und in Tabelle 1 beschrieben.

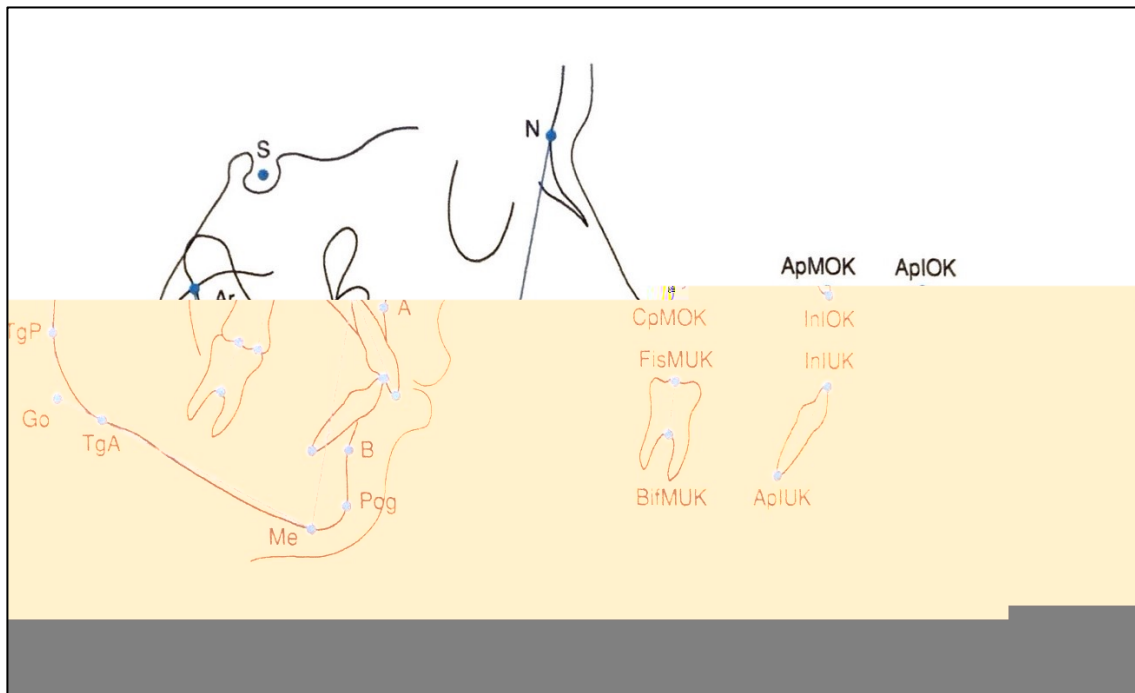


Abbildung 7 Referenzpunkte im FRS (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)

Abkürzung	Referenzpunkt	Erklärung
N	Nasion	Am weitesten anterior gelegener Punkt der Sutura frontonasalis
S	Sella	Mitte der Sella turcica
Ba	Basion	Am weitesten posterior und kaudal gelegener Punkt des vorderen Randes vom Foramen magnum
SpA	Spina nasalis anterior	Am weitesten anterior gelegener Punkt der knöchernen Spina nasalis

SpP	Spina nasalis posterior	Am weitesten posterior gelegener Punkt der knöchernen Spina nasalis
A	A-Punkt	Am tiefsten gelegener Punkt der anterioren Kontur des Oberkieferalveolarfortsatzes
B	B-Punkt	Am tiefsten gelegener Punkt der anterioren Kontur des Unterkieferalveolarfortsatzes
Ar	Articulare	Schnittpunkt der dorsalen Kontur des Collum mandibulae mit dem Unterrand der Schädelbasis
Me	Menton	Am weitesten kaudal gelegener Punkt der Unterkiefersymphyse
Pog	Pogonion	Am weitesten anterior gelegener Punkt der Unterkiefersymphyse
Go	Gonion	Schnittpunkt zwischen der Tangente des aufsteigenden und des horizontalen Unterkieferastes
TgP	Posteriorer Tangentenpunkt	Vom Menton ausgehender Tangentenpunkt an den Unterrand des Unterkiefers
TgA	Anteriorer Tangentenpunkt	Vom Articulare ausgehender Tangentenpunkt an den Hinterrand des Unterkiefers
ApIOK	Apicale Incisivus Oberkiefer	Apikale Wurzelspitze des mittleren Schneidezahnes im Oberkiefer

InIOK	Incisale Oberkiefer	Incisivus	Inzisale Kante des mittleren Schneidezahnes im Oberkiefer
ApIUk	Apicale Unterkiefer	Incisivus	Apikale Wurzelspitze des mittleren Schneidezahnes im Unterkiefer
InIUk	Incisale Unterkiefer	Incisivus	Inzisale Kante des mittleren Schneidezahnes im Unterkiefer
ApMOK	Apicale Molar Oberkiefer		Apikale Wurzelspitze der mesialen Wurzel des ersten Molaren im Oberkiefer
CpMOK	Cuspidale Oberkiefer	Molar	Spitze des mesiobukkalen Höckers der ersten Molaren im Oberkiefer
FisMUK	Fissur Molar Unterkiefer		Querfissur des ersten Molaren im Unterkiefer
BifMUK	Bifurcatio Unterkiefer	Molar	Bifurkation des ersten Molaren im Unterkiefer

Tabelle 1 Erklärung der Referenzpunkte im FRS [1]

Anhand der Referenzpunkte im FRS können Bezugslinien und -winkel errechnet werden. Abbildung 8 (nach [1]) zeigt eine Auswahl an kephalometrischen Linien, die durch Verbinden der zuvor geschilderten Referenzpunkte entstehen. Die Bezugslinien werden in Tabelle 2 erläutert.

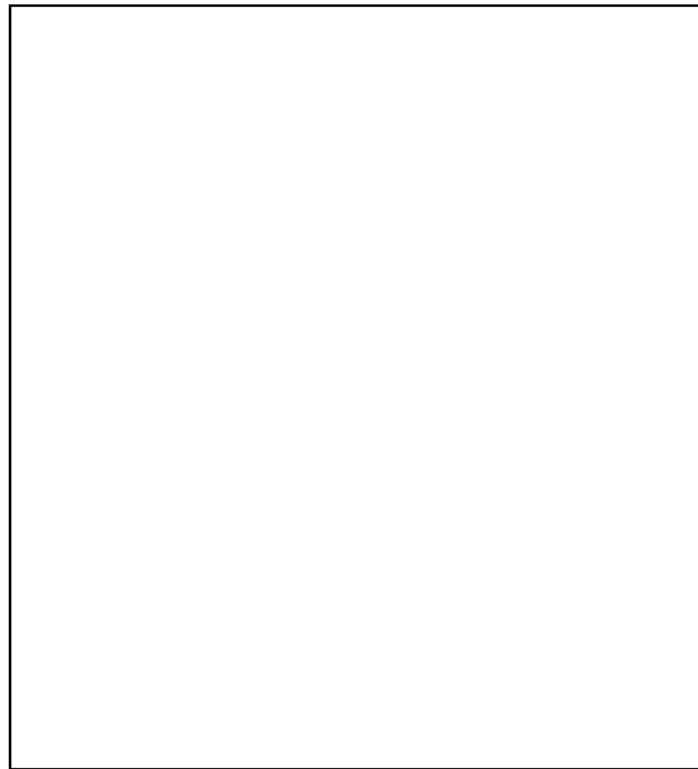


Abbildung 8 Bezugslinien im FRS (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)

Bezugslinie	Abkürzung	Erklärung
Gesichtshorizontale	GH	Linie, die durch den Referenzpunkt <i>Nasion</i> verläuft und 7° im Uhrzeigersinn zur NSL steht
Nasion-Sella-Linie	NSL	Verbindung der Referenzpunkte <i>Nasion</i> und <i>Sella</i>

Nasion-B-Punkt-Linie	NBL	Verbindung der Referenzpunkte <i>Nasion</i> und <i>B-Punkt</i>
Nasion-A-Punkt-Linie	NAL	Verbindung der Referenzpunkte <i>Nasion</i> und <i>A-Punkt</i>
Nasal-Linie	NL	Verbindung der Referenzpunkte <i>SpA</i> und <i>SpP</i>
Okklusionsebene	OE	Verbindung der Referenzpunkte <i>InIOK</i> und <i>CpMOK</i>
Mandibularlinie	ML	Verbindung der Referenzpunkte <i>Gonion</i> und <i>Gnathion</i>
Gesichtsvertikale	GV	Linie, die durch den Referenzpunkt <i>Nasion</i> verläuft und senkrecht zur Frankfurter Horizontalen gezogen wird
Frankfurter Horizontale	FH	Verbindung der Referenzpunkte <i>Porion</i> und <i>Orbitale</i>

Tabelle 2 Erklärung von Bezugslinien im FRS [1]

Abbildung 9 (nach [1]) zeigt eine Auswahl an Winkeln, die sich aus den Bezugslinien ergeben und in Tabelle 3 weiter erläutert werden.

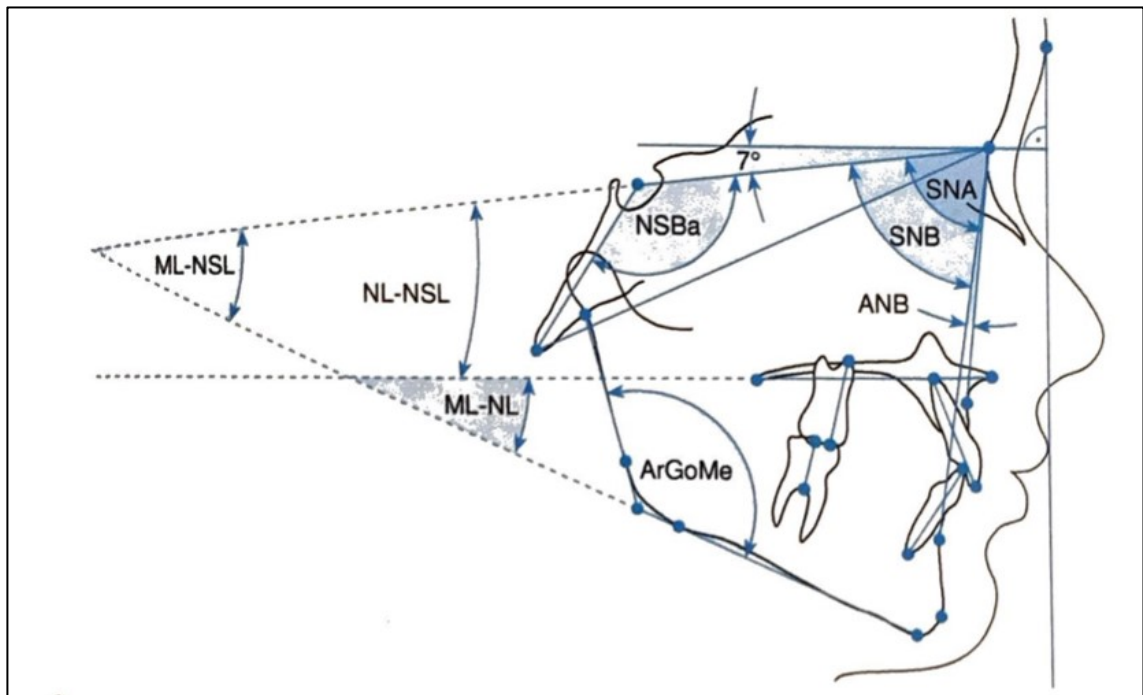


Abbildung 9 Bezugswinkel im FRS (nach [1], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)

Bezugswinkel	Mittelwert	Erklärung
SNA	$82^\circ \pm 3^\circ$	Orthognathe Maxilla (Verkleinerter Wert: retrognathe Maxilla, Vergrößerter Wert: prognathe Maxilla)
SNB	$80^\circ \pm 3^\circ$	Orthognathe Mandibula (Verkleinerter Wert: retrognathe Mandibula, Vergrößerter Wert: prognathe Mandibula)
ANB	$2^\circ \pm 2^\circ$	Neutrale Kieferrelation [Vergrößerter Wert: distal-basale Kieferrelation,

		Verkleinerter Wert: mesial-basale Kieferrelation]
NL-NSL	$8,5^\circ \pm 3^\circ$	Neutrale Neigung des Oberkiefers (Verkleinerter Wert: anteriore Neigung des Oberkiefers, Vergrößerter Wert: posteriore Neigung des Oberkiefers)
ML-NSL	$32^\circ \pm 3^\circ$	Neutrale Neigung des Unterkiefers (Verkleinerter Wert: anteriore Neigung des Unterkiefers, Vergrößerter Wert: posteriore Neigung des Unterkiefers)
ML-NL	$23,5^\circ \pm 3^\circ$	Neutrale Schädelstruktur (Verkleinerter Wert: brachyfaziale Schädelstruktur, Vergrößerter Wert: dolichofaziale Schädelstruktur)
ArGoMe	$126^\circ \pm 10^\circ$	Neutraler Kieferwinkel (Verkleinerter Wert: kleiner Kieferwinkel, Vergrößerter Wert: großer Kieferwinkel)

Tabelle 3 Erklärung der Bezugswinkel im FRS [1]

1.1.4. Strahlenschutz

Heranwachsende Patienten weisen gegenüber Röntgenstrahlung eine hohe Empfindlichkeit auf. [15] Zudem wurde nachgewiesen, dass sogar kumulativ niedrige Strahlendosen oxidativen Stress auslösen und zu potenziellen Schädigungen der DNA führen können. [16]

Die *European Guidelines on Radiation Protection in Dental Radiology* empfehlen daher die Strahlenexposition auf ein klinisch vertretbares Minimum zu reduzieren. [17]

Im Strahlenschutzgesetz sind das ALARA- („*as low as reasonably achievable*“) und das ALADAIP-Prinzip („*as low as diagnostically acceptable being indication-oriented and patient-specific*“) [18] festgelegt worden, laut denen es gilt die Strahlendosis auch so gering wie möglich und diagnostisch akzeptabel zu halten. Abhängig davon welches Format gewählt wird ist es bei einer FRS-Aufnahme entweder möglich den gesamten Schädel oder lediglich das Viszerokranium abzubilden. Da ein Großteil des Neurokraniums für die kieferorthopädische Diagnostik nicht notwendig ist, beschränkt man sich in der Regel darauf das Viszerokranium abzubilden, um die Strahlenexposition zu verringern.

Außerdem kann mittels eines Weichteilfilters die Strahlung im Weichgewebsprofil gezielt abgeschwächt werden, um so eine gute Darstellung der Weichgewebe neben den knöchernen Strukturen zu erhalten.

Eine weitere Möglichkeit, um die Strahlenexposition zu verringern, stellt die Nutzung von Bleischürzen dar. Somit werden dem Kopf naheliegende und besonders röntgenempfindliche anatomische Strukturen vor Strahlung geschützt. Der Gebrauch eines Schilddrüsenschutzes, Bleischürzen mit oder ohne Kragen können die Strahlendosis um 45% reduzieren. [17] Noch eine weitere Methode zur Einschränkung der Strahlendosis ist das Ausblenden des Gehirns [19] oder die kraniale Einblendung. Die klinische Erfahrung zeigte jedoch, dass bei einigen Patienten ein Ausblenden von relevanten Strukturen im Bereich des Nasions auftrat.

1.2. Ziel der Studie

Das Ziel der Studie bestand darin zu analysieren wie häufig bei kranialer Einblendung eine Ausblendung von diagnostisch notwendigen Referenzpunkten vorkommt und in welchem Zusammenhang dies mit dem skelettalen Wachstumsmuster sowie der Position beziehungsweise der Inklination des Kopfes steht.

Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass eine höhere Inzidenz der Ausblendung der am weitesten kranial gelegenen Referenzpunkte *Nasion* und *Sella* bei vertikalem Wachstumsmuster und/oder nach hinten geneigter Kopfposition des Patienten bei der FRS-Aufnahme vorliegt.

Auf Grundlage der Ergebnisse sollte eine Empfehlung für ideale Einblendungsparameter eruiert werden.

2. Material und Methoden

2.1. Studiendesign

Bei dieser Studie handelt es sich um eine retrospektive und anonymisierte Datenanalyse von n=1000 randomisiert ausgewählten FRS-Aufnahmen aus der Datenbank der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Düsseldorf.

2.2. Ethikvotum

Ein positives Votum wurde am 09.02.2022 unter der Studiennummer 2021-1750 durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf erteilt.

2.3. Fernröntgenseitenbilder

Die verwendeten FRS-Aufnahmen wurden mit dem Orthophos XG (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim) aufgenommen. Die Aufnahmen wurden randomisiert ausgewählt, anonymisiert und in kranial eingeblendete Aufnahmen (n=49) sowie nicht eingeblendete Aufnahmen (n=951) unterteilt (Abbildung 10 und 11).

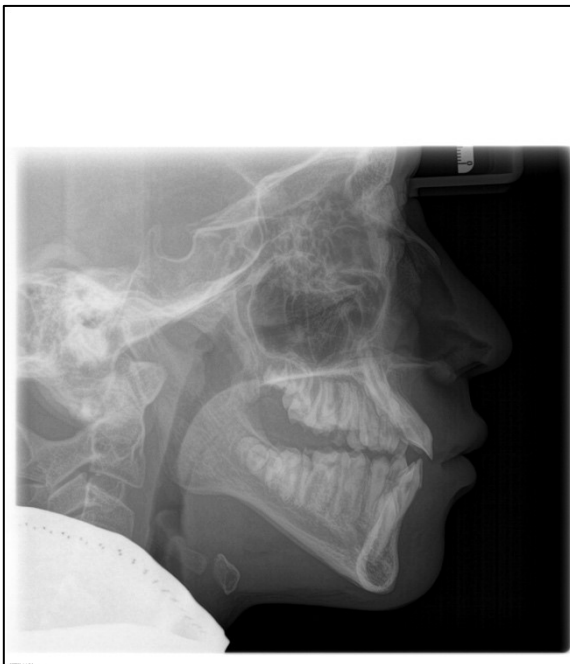


Abbildung 10 FRS mit kranialer Einblendung

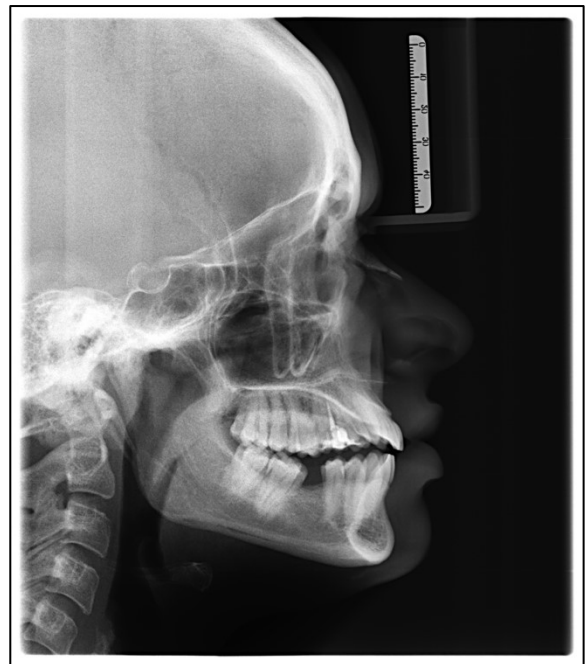


Abbildung 11 FRS ohne kraniale Einblendung

2.3.1. Ausrichtung der Patienten

Gemäß den Empfehlungen der Bundeszahnärztekammer [20] wurden die Patienten für die FRS-Aufnahmen horizontal an der Frankfurter Horizontalen ausgerichtet und die Mediansagittalebene wurde parallel zur Projektionsebene ausgerichtet. Das Programm, welches für die Aufnahmen verwendet wurde, lautet C3 [Orthophos XG (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim)]. Dabei handelt es sich um eine Lateralaufnahme im Vollformat (ca. 18 x 23 cm), bei dem der Vorderkopf des Patienten abgebildet wird.

2.3.2. Virtuelle kraniale Einblendung



Abbildung 12 FRS mit virtueller kranialer Einblendung

Die FRS-Aufnahmen, bei denen keine kraniale Einblendung vorlag, wurden unter Verwendung der vom Hersteller Sirona Dental Systems GmbH (Bensheim) zur

Verfügung gestellten Parameter virtuell eingeblendet. Bei dem angewandten Programm C3 mit kranialer Einblendung wird laut Hersteller die Bildfläche der FRS-Aufnahme um 18% reduziert.

Um die virtuelle Einblendung durchzuführen, wurde das *Open-Source* Bildverarbeitungsprogramms „Fiji“ verwendet. Die initial nicht eingeblendeten FRS-Aufnahmen wurden vermessen, d.h. die Bildhöhe, die Bildbreite und die Bildfläche wurden bei jeder Aufnahme ausgemessen. Damit die Bildhöhe für die virtuelle Einblendung ausgerechnet werden konnte, wurde gemäß Herstellerparameter die Bildfläche berechnet, indem 18% der ursprünglich gemessenen Bildfläche abgezogen wurden. Die Bildhöhe für die virtuelle kraniale Einblendung wurde anschließend errechnet, indem die berechnete reduzierte Bildfläche durch die gemessene Bildbreite geteilt wurde. Mit diesen ermittelten Parametern (unveränderte Bildbreite und reduzierte Bildhöhe) wurden die FRS-Aufnahmen virtuell angepasst, um darzustellen, wie die Aufnahme mit einer kranialen Einblendung aussehen würde (Abbildung 12).

Alle FRS-Aufnahmen wurden in zwei Kategorien unterteilt:

- Kategorie 1: Alle diagnostisch relevanten Referenzpunkte sind trotz kranialer Einblendung erkennbar.
- Kategorie 2: Diagnostisch relevante Referenzpunkte wurden nach kranialer Einblendung ausgeblendet.

Die Parameter und Messdaten wurden im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel zusammengetragen und es wurde ermittelt wie häufig die Referenzpunkte *Nasion* und / oder *Sella* ausgeblendet wurden oder sichtbar waren. Zudem wurden für beide Referenzpunkte die x- und y-Koordinaten in der FRS-Aufnahme ermittelt.

2.3.3. Ermittlung von idealen Einblendungsparametern

Zur Berechnung der idealen Einblendungsparameter wurde in allen FRS-Aufnahmen, wo der Referenzpunkt *Nasion* nach virtueller Einblendung nicht mehr erkennbar war, die y-Koordinate mithilfe des *Open-Source* Bildverarbeitungsprogramms „Fiji“ ermittelt. Anschließend wurde der jeweils ermittelte Wert der y-Koordinate durch die gesamte Bildhöhe der jeweiligen Aufnahme geteilt, um den optimalen Prozentsatz zu errechnen, wo der

Referenzpunkt *Nasion* sichtbar gewesen wäre. Der hierbei niedrigste ermittelte Wert lässt eine Ausblendung von *Nasion* in allen FRS-Aufnahmen dieser Studie ausschließen.

2.3.4. Skelettales Wachstumsmuster

Um das skelettale Wachstumsmuster beziehungsweise die skelettale Schädelstruktur und die antero-posteriore skelettale Disharmonie der Patienten zu bestimmen, wurden sowohl der Summenwinkel nach Björk gemäß der Björk-Jarabak Analyse [21] als auch der Winkel FH-ML (Frankfurter Horizontale-Mandibularlinie) [22, 23] gemäß der Ricketts-Analyse und der FH-NSL-Winkel gemessen.

Dies wurde unter anderem mithilfe der webbasierten und KI-gestützten kieferorthopädischen Diagnosesoftware „*WEBCEPH*“ (*AssembleCircle Corp.*, Republik Korea) realisiert. Die notwendigen Referenzpunkte für die kephalometrische Analyse wurden zuerst durch die KI gesetzt und anschließend manuell überprüft und korrigiert. Bei den FRS-Aufnahmen, wo eine Ausblendung der notwendigen Referenzpunkte vorlag, wurden die Punkte schätzungsweise platziert, um die notwendigen Winkel für die Analyse der skelettalen Verhältnisse errechnen zu können.

Auf Basis der gesetzten Referenzpunkte, konnten die beiden erforderlichen Winkel mittels der Diagnosesoftware „*WEBCEPH*“ errechnet werden.

2.3.4.1. Summenwinkel nach Björk

Der Summenwinkel nach Björk beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Unterkiefer und der Schädelbasis und kann für die Beurteilung der Wachstumsrichtung des Unterkiefers verwendet werden. Gemäß der Björk-Jarabak Analyse (Abbildung 13) errechnet sich der Winkel aus der Summe des Sellawinkels (NSAr), Gelenkwinkels (SArGo) und Gonionwinkels (ArGoMe). Der Richtwert für ein neutrales Wachstumsmuster beziehungsweise für einen harmonisches Unterkieferwachstum liegt bei $396^{\circ} \pm 4^{\circ}$. Beträgt der Wert mehr als 400° liegt eine vertikales Wachstumsmuster/Schädelaufbau vor und bei

weniger als 392° spricht man von einem horizontalen Wachstumsmuster/Schädelaufbau. [21]

Die errechneten Werte wurden für jede FRS-Aufnahme im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel notiert und die Häufigkeit eines neutralen, vertikalen oder horizontalen Wachstumsmuster wurde ermittelt.

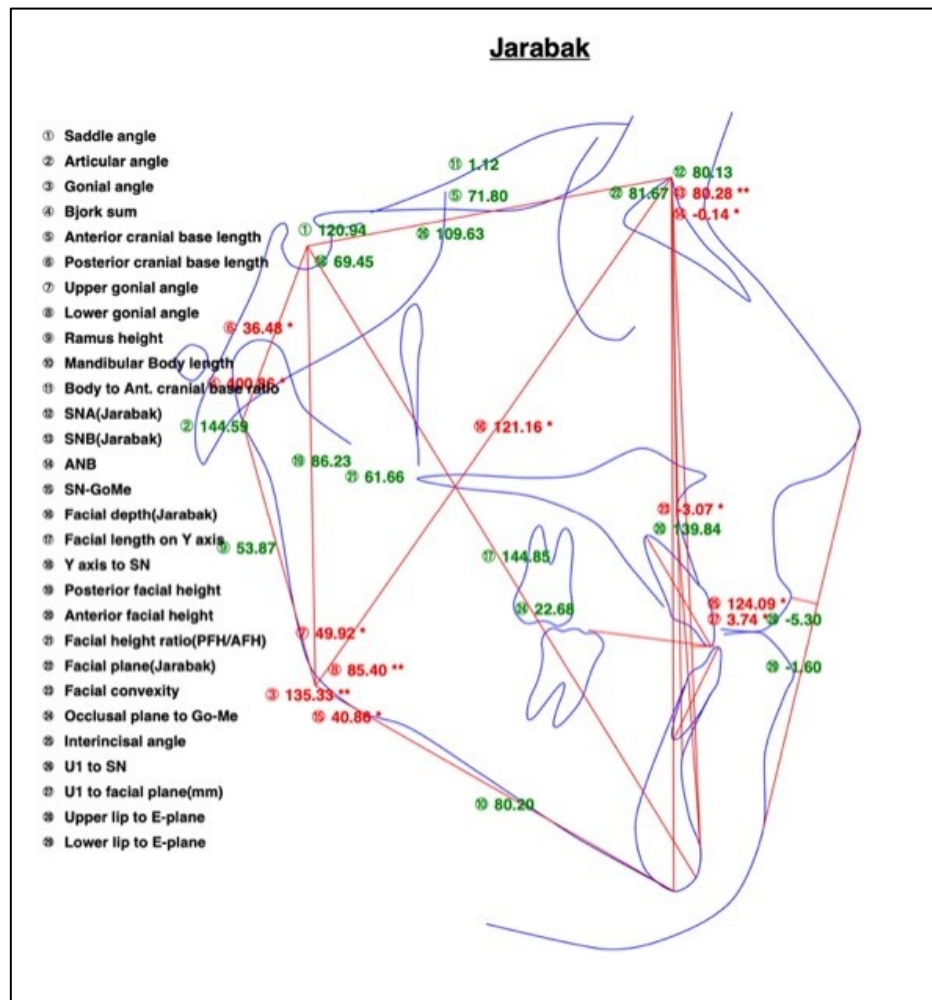


Abbildung 13 Beispiel einer Björk-Jarabak Analyse mithilfe der Diagnosesoftware „WEBCEPH“ bei einem Patienten mit einem vertikalen Wachstumsmuster

2.3.4.2. FH-ML-Winkel

Der FH-ML-Winkel gemäß der Analyse nach Ricketts (Abbildung 14) ist ein Winkel, der zwischen der Frankfurter Horizontalen und der Mandibularlinie (GoGn) gemessen wird. Er beschreibt die Inklination der Mandibularebene zur Frankfurter Horizontalen. Der Richtwert für eine ideale Inklination der

Mandibularebene beträgt hierbei $25^\circ \pm 5^\circ$. Ein Winkel über 30° weist auf eine steile Mandibularebene hin, die mit einem vertikalen Wachstumsmuster assoziiert ist. Bei einem Winkel von unter 20° liegt eine flache Mandibularebene vor, was typisch für ein horizontales Wachstumsmuster ist. [23]

Auch hier wurden die gemessenen Werte für jede FRS-Aufnahme im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel notiert und die Häufigkeit eines neutralen, vertikalen oder horizontalen Wachstumsmuster ermittelt.

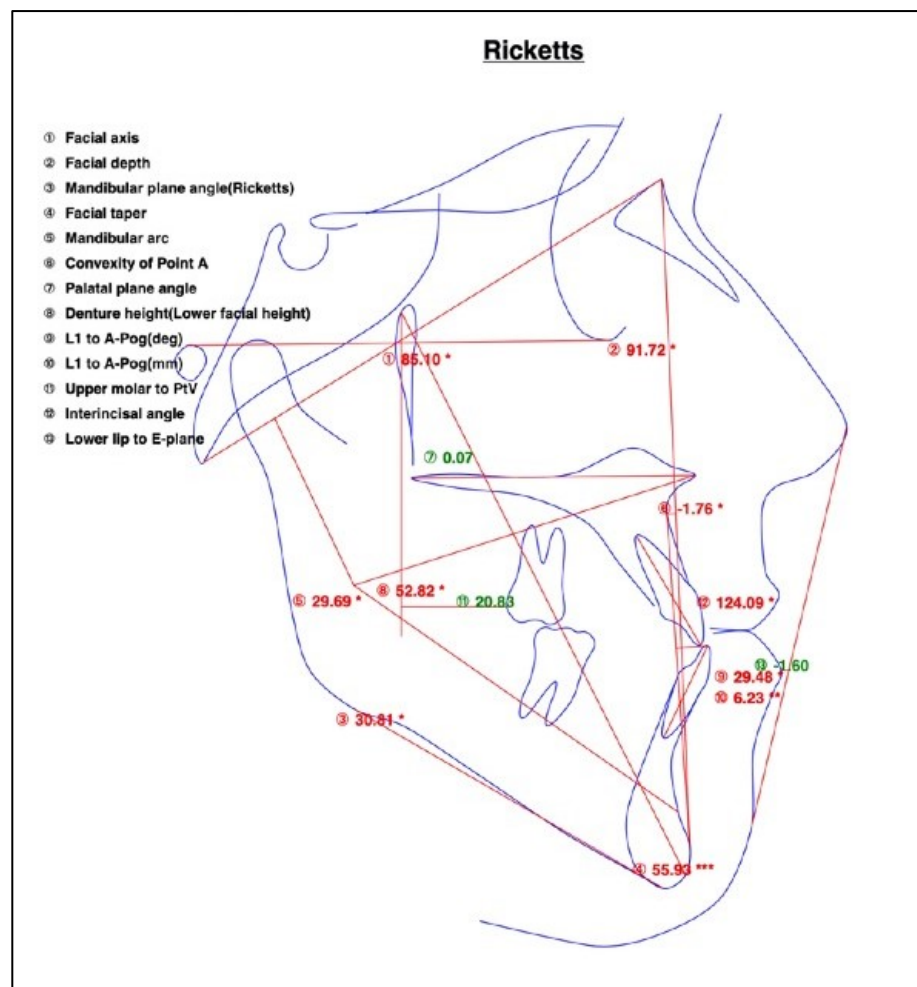


Abbildung 14 Beispiel Ricketts-Analyse mithilfe der Diagnosesoftware „WEBCEPH“ bei einem Patienten mit einem vertikalen Wachstumsmuster

2.3.4.3. FH-NSL-Winkel

Der Winkel zwischen der Frankfurter Horizontalen und der Nasion-Sella-Linie (FH-NSL-Winkel) veranschaulicht die Neigung der vorderen Schädelbasis zur

Frankfurter Horizontalen und dient demnach der Bewertung der räumlichen Orientierung der Schädelbasis. 1957 untersuchte Daugaard-Jensen die Beziehung zwischen den beiden Referenzlinien und stellte fest, dass der Winkel während des Wachstums nahezu konstant bei 7° bleibt. [24] Ist der FH-NSL-Winkel größer als 7° , deutet dies auf eine vertikale Orientierung der Schädelbasis hin, während ein kleinerer FH-NSL-Winkel auf eine horizontale Orientierung der Schädelbasis hinweist. [25] Somit dient dieser Winkel zur Beurteilung des skelettalen Wachstumsverhalten.

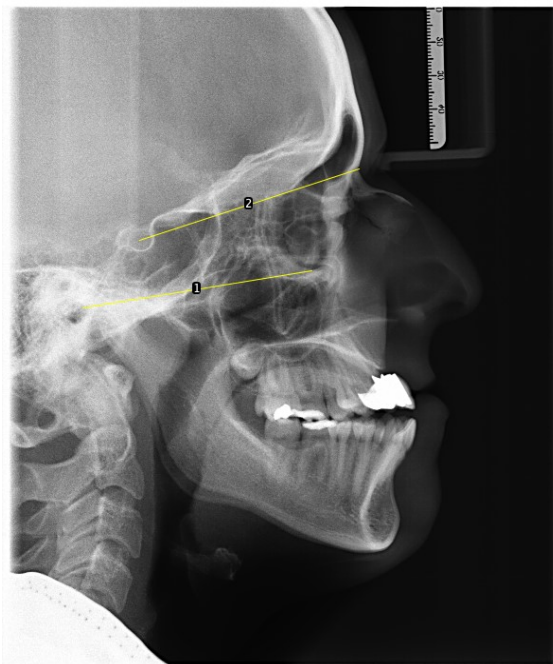


Abbildung 15a Einzeichnung der FH und NSL

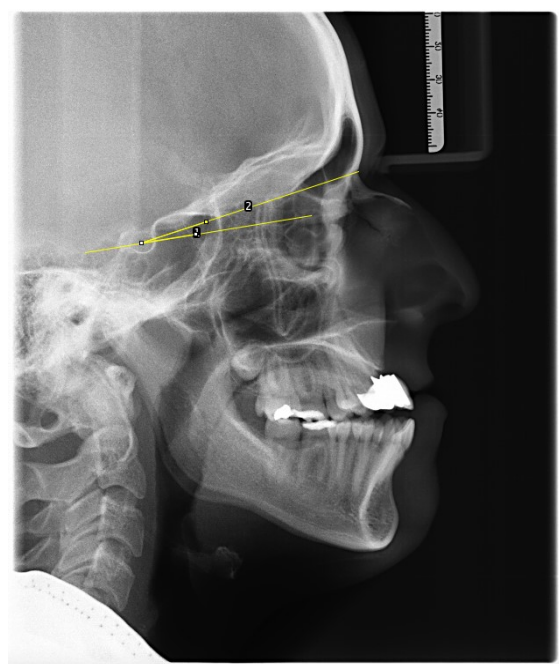


Abbildung 15b Messung des FH-NSL-Winkel

Der FH-NSL-Winkel wurde bei allen FRS-Aufnahmen ($n=1000$) nachgemessen und die Patienten wurden dementsprechend in mesiofaziale, vertikale oder horizontale Wachstumsmuster eingeteilt. Dazu wurden erst die beiden Linien (Frankfurter Horizontale und Nasion-Sella-Linie) eingezeichnet (Abbildung 15a) und anschließend wurde die Frankfurter Horizontale (Linie 1) nach oben verschoben, um den Winkel zwischen den beiden Referenzlinien zu messen (Abbildung 15b).

2.3.5. Inklination des Kopfes

Um die Inklination des Kopfes nach vorne oder hinten zu untersuchen, wurde zum einen die Gesichtshorizontale nach Burstone ermittelt und zum anderen wurde die Neigung des Kopfes mithilfe der Frankfurter Horizontale bestimmt.

2.3.5.1. NHP-Abweichung

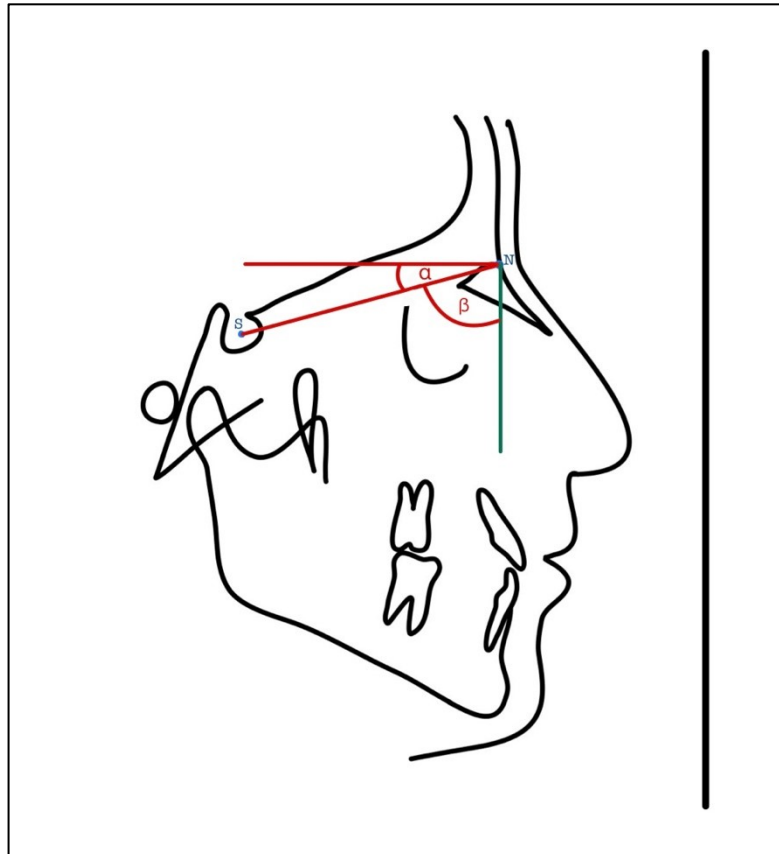


Abbildung 16 Vermessung der Gesichtshorizontalen nach Burstone

Die Gesichtshorizontale nach Burstone ist eine Linie, die durch den Referenzpunkt *Nasion* verläuft und eine Neigung von 7° im Uhrzeigersinn zur Nasion-Sella-Linie aufweist (Abbildung 16, α -Winkel). Sie repräsentiert die natürliche Kopfhaltung (*Natural Head Position* = NHP), die alternativ zur Frankfurter Horizontalen für die Ausrichtung von Patienten beim FRS genutzt wird.

Um die Neigung des Patientenkopfes in der FRS-Aufnahme zu errechnen und zu beurteilen, ob die Gesichtshorizontale während der Aufnahme parallel zur

Horizontalebene war, wurde eine modifizierte Gesichtshorizontale (Abbildung 16) definiert, bei der es sich um eine Linie handelt, die orthogonal zur vertikalen Bildkante steht. Zusätzlich wurde ein Winkel β (Abbildung 16) definiert, der zwischen der Nasion-Sella-Linie und der vertikalen Bildkante gemessen wird. Die Summe aus $\alpha=7^\circ$ und β (=idealerweise 83°) beträgt demnach bei idealer Neigung des Kopfes 90° . Damit die Abweichung der Kopfposition zur idealen Kopfneigung berechnet werden konnte, wurde der Winkel β gemessen und das Ergebnis um 83° subtrahiert. Die Differenz wurde definiert als NHP-Abweichung, da sie die den abweichenden Winkel zwischen der Gesichtshorizontalen zu der Horizontalebene darstellt. Es wurde folgende Formel angewandt:

$$\text{NHP-Abweichung} = \beta - 83^\circ$$

Werte von $\beta > 83^\circ$ repräsentierten eine im Uhrzeigersinn nach vorne geneigte Position des Patientenkopfes und Werte $< 83^\circ$ repräsentierten eine gegen den Uhrzeigersinn nach hinten geneigte Position des Patientenkopfes. Bei einer NHP-Abweichung von 0° lag demnach eine ideale Neigung des Kopfes vor. Werte von über 0° repräsentierten daher eine vorwärts beziehungsweise nach vorne geneigte Kopfposition, während Werte von unter 0° eine rückwärts beziehungsweise nach hinten geneigte Kopfposition repräsentierten.

2.3.5.2. Frankfurter Horizontale

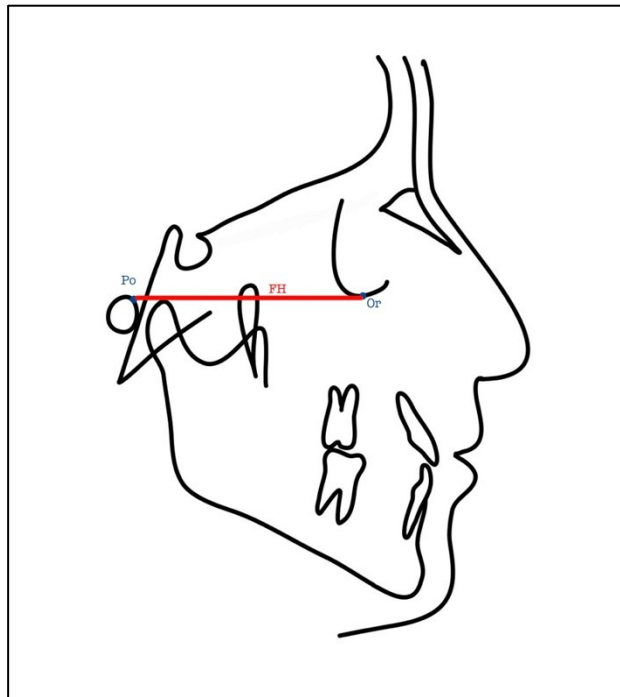


Abbildung 17 Darstellung der Frankfurter Horizontalen (FH)

Die Frankfurter Horizontale wurde 1872 erstmalig von Ihering vorgestellt und ist seit dem Beschluss der Frankfurter Vereinbarung im Jahre 1884 eine Bezugslinie für den menschlichen Schädel und hat sich insbesondere in der Kieferorthopädie und kephalometrischen Analyse als sehr wichtig erwiesen, da sie die zuverlässigste Annäherung an die Horizontalebene liefert, wenn der Patient die individuell natürliche Kopfposition einnimmt. [26] Dabei handelt es sich um eine intrakraniale Linie, die vom tiefsten Punkt des unteren Orbitarandes (Orbitale) zum höchsten Punkt des äußeren Gehörgangs (Porion) verläuft [27] (Abbildung 17).

Für die Bestimmung der Kopfneigung wurden bei allen FRS-Aufnahmen die Referenzpunkte *Porion* und *Orbitale* eingezeichnet und verbunden, sodass die Frankfurter Horizontale bestimmt werden konnte. Anschließend wurde die linke Bildkante als vertikale Referenzlinie definiert und der Winkel zwischen der vertikalen Referenzlinie und der Frankfurter Horizontalen gemessen und als FH-Abweichung bezeichnet. Beträgt der gemessene Wert 90° , verläuft die Frankfurter Horizontale parallel zur Horizontalebene und man kann von einer idealen Kopfneigung ausgehen. Bei einer rückwärts gerichteten Kopfneigung

wäre der Winkel verkleinert und bei einer vorwärts gerichteten Kopfneigung dementsprechend vergrößert.

2.4. Statistische Auswertung

Die gesammelten Daten wurden alle im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel als anonymisierte Datenbank zusammengetragen und statistisch ausgewertet. Die Auswertung erfolgte unter anderem mithilfe von Microsoft Excel sowie mit der *Open-Source-Software* „R“. Um zu überprüfen, ob ein Zusammenhang zwischen dem skelettalen Wachstumsmuster beziehungsweise der Inklination des Kopfes mit der Ausblendung von kranialen Referenzpunkten vorliegt, wurde die logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse erwiesen sich hierbei bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ als signifikant.

3. Ergebnisse

3.1. Ausblendung der am weitesten kranial liegenden Referenzpunkte

Der Referenzpunkt *Sella* war auf allen FRS-Aufnahmen mit initialer Einblendung sowie nach virtueller Einblendung erkennbar. Somit gab es keine Ausblendung von diesem Referenzpunkt.

Der Referenzpunkt *Nasion* wurde dagegen in sechs FRS-Aufnahmen ausgeblendet, wovon vier FRS-Aufnahmen ohne initiale Einblendung beziehungsweise mit virtueller Einblendung waren (66,67%) und zwei FRS-Aufnahmen mit initialer kranialer Einblendung (33,33%). Insgesamt entspricht dies einer Ausblendung von kranialen Referenzpunkten in 0,6% aller FRS-Aufnahmen. *Nasion* wäre in keiner der FRS-Aufnahmen verdeckt worden, wenn ausschließlich die oberen 16,02% der Bildhöhe der Aufnahme ausgeblendet worden wären.



Abbildung 18 Ausblendung von *Nasion* nach virtueller Einblendung mithilfe der Herstellerparameter



Abbildung 19 Vergrößerung von Abbildung 18 (Nasion ist rot markiert und gekennzeichnet)



Abbildung 20 Keine Ausblendung von Nasion nach Anpassung der virtuellen Einblendung auf 16,02%

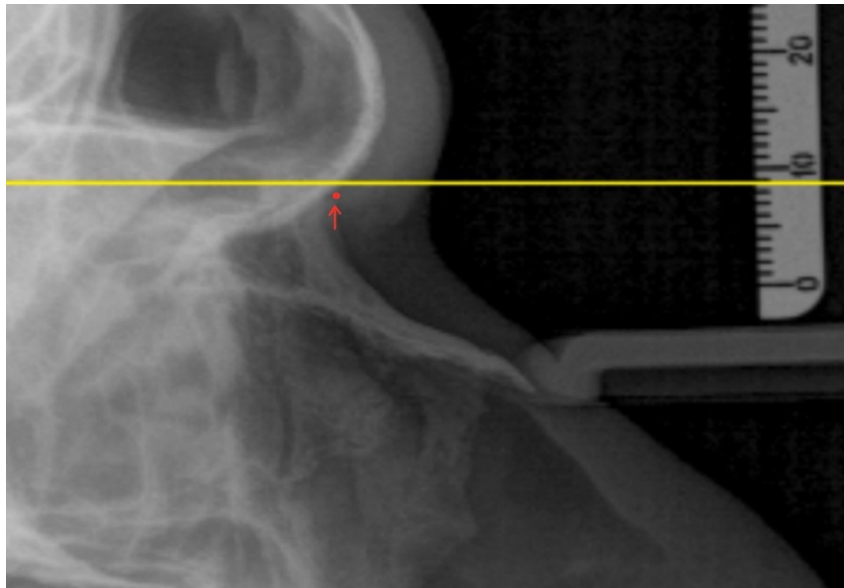


Abbildung 21 Vergrößerung von Abbildung 20 (Nasion ist rot markiert und gekennzeichnet)

3.2. Zusammenhang zwischen der Ausblendung von Referenzpunkten und dem skelettalen Wachstumsmuster

3.2.1. Summenwinkel nach Björk

Die meisten Patienten zeigten nach Analyse des Summenwinkels nach Björk ein horizontales Wachstumsmuster ($n=473$; 47,3%) auf, gefolgt von einem mesiofazialen Wachstumsmuster ($n=370$; 37%) und einem vertikalen Wachstumsmuster ($n=157$; 15,7%).

Trotz dieser Verteilung zeigte die Analyse des Summenwinkels nach Björk in allen FRS-Aufnahmen durchschnittlich ein mesiofaziales Wachstumsmuster mit einem Mittelwert von $392,77^\circ \pm 7,51^\circ$ auf. Bei den FRS-Aufnahmen ohne Ausblendung von kranialen Referenzpunkten betrug der Mittelwert $392,70^\circ \pm 7,50^\circ$, während der Mittelwert bei den FRS-Aufnahmen mit Ausblendung von kranialen Referenzpunkten bei $399,26^\circ \pm 5,70^\circ$ betrug.

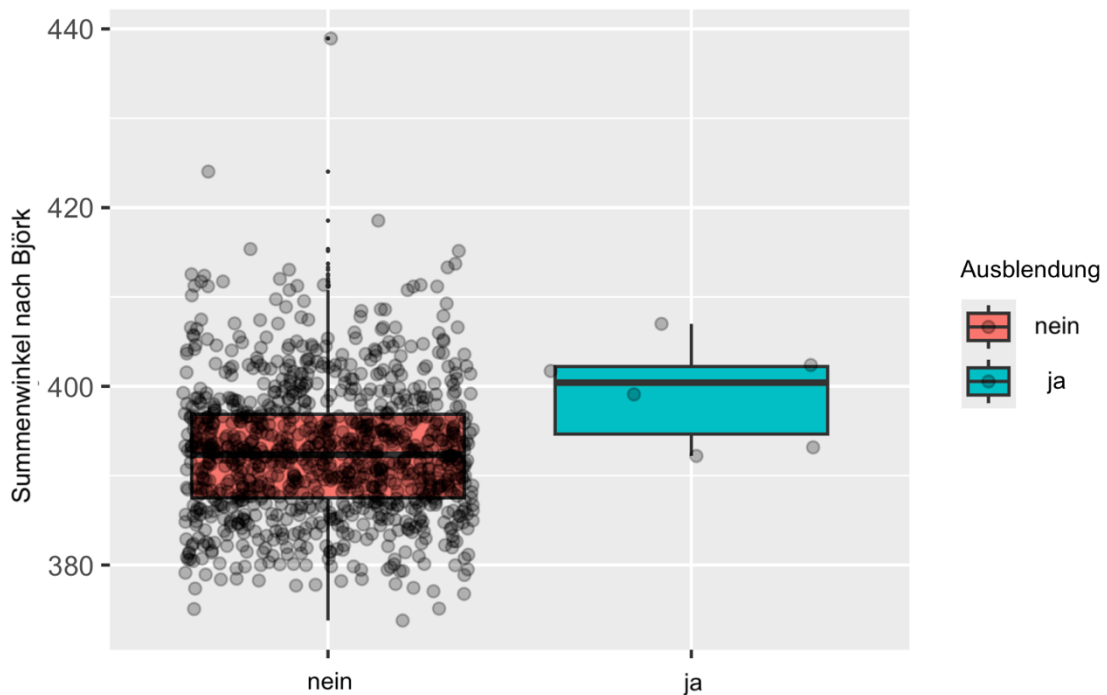


Abbildung 22 Zusammenhang der Ausblendung mit dem Wachstumsmuster gemäß des Summenwinkels nach Björk

Die logistische Regressionsanalyse (Abbildung 22) bestätigte einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Ausblendung von diagnostisch notwendigen Referenzpunkten und dem skelettalen Wachstumsmuster. Der P-Wert betrug hierbei 0,029. Die Werte für den errechneten Summenwinkel konzentrieren sich bei den FRS-Aufnahmen, wo eine Ausblendung der kranialen Referenzpunkte vorlag, stärker um den Bereich um 395° bis $> 400^\circ$. Der Median liegt demnach bei ungefähr 400° . Dies deutet auf eine Tendenz zum vertikalen Wachstumsmuster hin. Werte die auf ein horizontales Wachstumsmuster hinweisen liegen nicht vor. Der Median der FRS-Aufnahmen ohne Ausblendung von kranialen Referenzpunkten liegt bei unter 395° , was eine Konzentration im Bereich des mesiofazialen und horizontalen Wachstumsmuster widerspiegelt. Die Streuung der Werte ist bei den FRS-Aufnahmen mit einer Ausblendung von kranialen Referenzpunkten geringer, während bei den FRS-Aufnahmen ohne Ausblendung von kranialen Referenzpunkten eine breitere Streuung mit einer stärkeren Repräsentation von mesiofazialen, horizontalen und vertikalen Wachstumsmustern vorlag.

Die Ergebnisse zeigen somit, dass eine Ausblendung von kranialen Referenzpunkten häufiger bei Patienten mit vertikalem Wachstumsmuster oder

einer Tendenz zum vertikalen Wachstumsmuster auftritt. Im Gegensatz dazu sind Patienten mit einem horizontalen Wachstumsmuster seltener von einer Ausblendung der kranialen Referenzpunkte betroffen. Liegt keine kraniale Einblendung vor, so ist die Darstellung von diagnostisch relevanten Referenzpunkten unabhängig des Wachstumsmusters möglich.

3.2.2. Analyse nach Ricketts

Die Berechnung des FH-ML-Winkels ergab, dass die Mehrheit der Patienten ein mesiofaziales Wachstumsmuster ($n=551$, 55,1%) aufwies und die Anzahl der Patienten mit horizontalem Wachstumsmuster ($n=273$; 27,3%) und vertikalem Wachstumsmuster ($n=176$; 17,6%) kleiner war.

Der durchschnittliche FH-ML-Winkel betrug $24,25^\circ \pm 6,87^\circ$, sodass im Mittel ein mesiofaziales Wachstumsmuster vorlag. Bei den FRS-Aufnahmen ohne Ausblendung von kranialen Referenzpunkten lag der Durchschnitt bei $24,22^\circ \pm 6,85^\circ$, während der Durchschnitt bei den FRS-Aufnahmen mit Ausblendung von kranialen Referenzpunkten bei $29,52^\circ \pm 8,31^\circ$ lag.

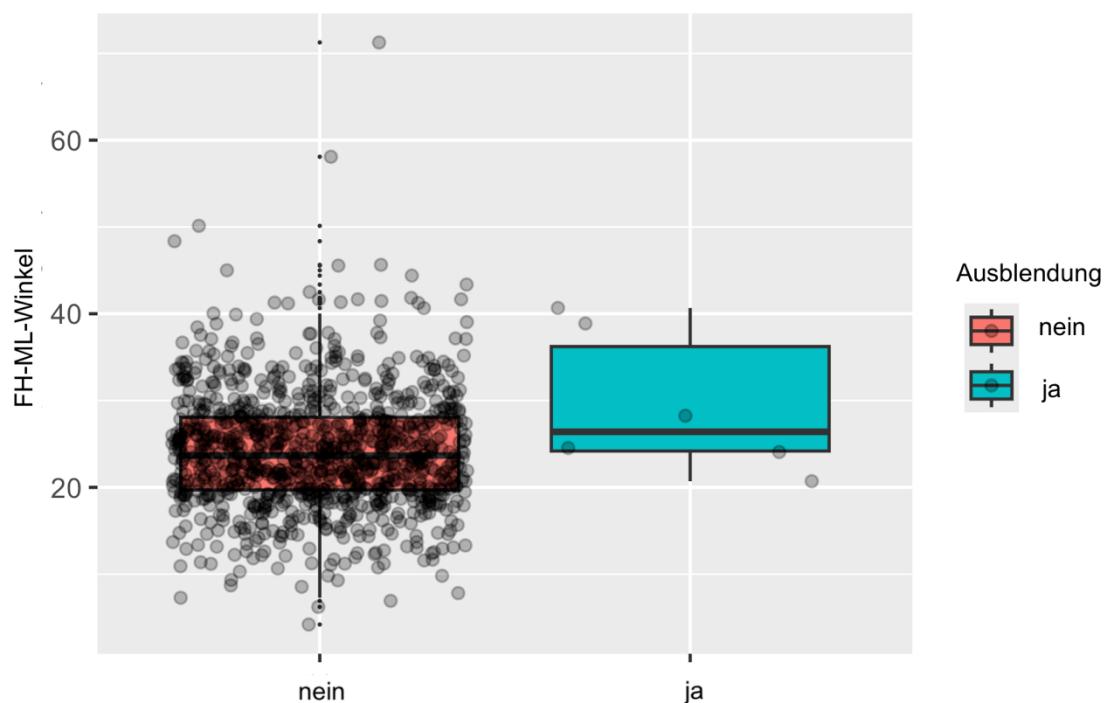


Abbildung 23 Zusammenhang der Ausblendung mit dem Wachstumsmuster gemäß des FH-ML-Winkels

Der Vergleich zwischen den FRS-Aufnahmen mit und ohne Ausblendung von kranialen Referenzpunkten zeigt, dass der Median der Winkelverteilung bei den FRS-Aufnahmen ohne Ausblendung von kranialen Referenzpunkten bei etwa 25° und somit im Normbereich für ein mesiofaziales Wachstumsmuster liegt.

Der Median der Winkelverteilung bei den FRS-Aufnahmen mit Ausblendung von kranialen Referenzpunkten ist höher, was auf eine tendenziell steilere Inklination der Mandibularebene und somit auf ein tendenziell vertikales Wachstumsmuster hindeutet. Somit verdeutlichen die Ergebnisse, dass eine Ausblendung von kranialen Referenzpunkten besonders bei Patienten mit einer Tendenz zum vertikalen Wachstumsmuster auftritt. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei Patienten mit einem horizontalen Wachstumsmuster eine niedrigere Häufigkeit der Ausblendung von kranialen Referenzpunkten. Die logistische Regressionsanalyse (Abbildung 23) ergab allerdings keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem skelettalen Wachstumsmuster und der Ausblendung von kranialen Referenzpunkten. Der P-Wert betrug 0,051.

3.2.3. FH-NSL-Winkel

Im Durchschnitt betrug der in allen FRS-Aufnahmen gemessene FH-NSL-Winkel $9,61^\circ \pm 3,02^\circ$, was eine durchschnittlich vertikale Orientierung der Schädelbasis bei der Mehrheit der Patienten darstellt. Der gemessene Wert lag über dem Idealwert von 7° , der eine harmonische Orientierung der Schädelbasis beschreibt.

Bei den FRS-Aufnahmen mit Ausblendung von kranialen Referenzpunkten lag der FH-NSL-Winkel im Schnitt bei $9,42^\circ \pm 3,85^\circ$. Dabei wurden die initial eingeblendeten FRS-Aufnahmen allerdings nicht berücksichtigt, da der Referenzpunkt Nasion ausgeblendet war. Der durchschnittliche FH-NSL-Winkel war bei den FRS-Aufnahmen mit Ausblendung von kranialen Referenzpunkten demnach niedriger als der Durchschnitt bei allen FRS-Aufnahmen, zeigte aber dennoch eine vertikale Orientierung der Schädelbasis, da der Wert über dem Idealwert von 7° liegt. Die größere Standardabweichung bei den FRS-Aufnahmen mit Ausblendung der kranialen Referenzpunkten deutet außerdem auf eine größere Streuung der ermittelten Werte hin.

Die logistische Regressionsanalyse (Abbildung 24) zeigte in diesem Fall allerdings trotz des vertikalen Trends keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Ausblendung von kranialen Referenzpunkten und dem skelettalen Wachstumsmuster. Der P-Wert von 0,880 zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der Trend zum vertikalen Wachstumsmuster in Korrelation mit der Ausblendung von kranialen Referenzpunkten steht, zufällig ist.

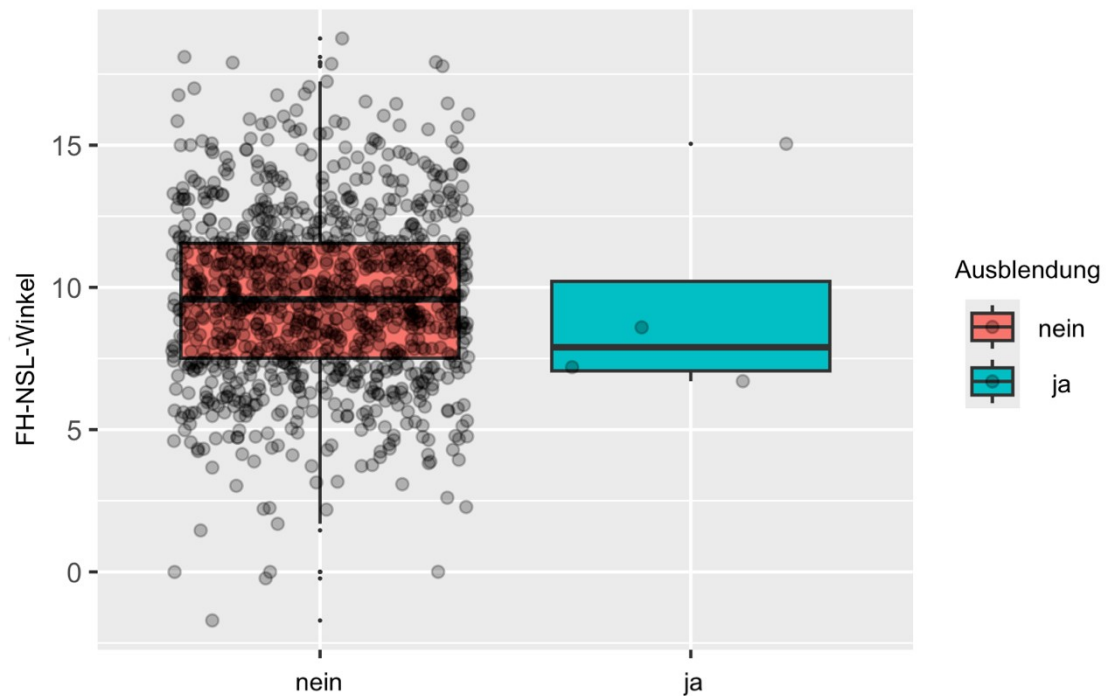


Abbildung 24 Zusammenhang der Ausblendung mit der skelettalen Wachstumsorientierung gemäß des FH-NSL-Winkels

3.3. Zusammenhang zwischen der Ausblendung von Referenzpunkten und der Inklination des Kopfes

3.3.1. NHP-Abweichung

Die gemessene NHP-Abweichung wies durchschnittlich einen Wert von $-6,57^\circ \pm 6,58^\circ$ auf. Bei den FRS-Aufnahmen, wo eine Ausblendung von kranialen Referenzpunkten vorlag, lag der Durchschnitt bei $-12,58^\circ \pm 4,27^\circ$, wobei hier wieder die initial eingeblendeten Aufnahmen nicht berücksichtigt wurden, da der Referenzpunkt *Nasion* ausgeblendet war. Der Durchschnitt von $-12,58^\circ \pm 4,27^\circ$ deutet auf eine mehr rückwärts gerichtete Neigung des Kopfes hin. Bei den FRS-Aufnahmen ohne Ausblendung von kranialen Referenzpunkten lag der Durchschnitt allerdings bei $-6,55^\circ \pm 6,57^\circ$, was eine deutlich geringere Abweichung bedeutet.

Bei den FRS-Aufnahmen ohne Ausblendung von kranialen Referenzpunkten lag der Median der NHP-Abweichung bei etwa -7° . Im Gegensatz dazu liegt der Median bei den FRS-Aufnahmen mit Ausblendung von kranialen Referenzpunkten bei etwa -11° , was eine deutlich nach rückwärts gerichtete Inklination des Kopfes widerspiegelt. Die Ergebnisse bestätigen daher, dass die

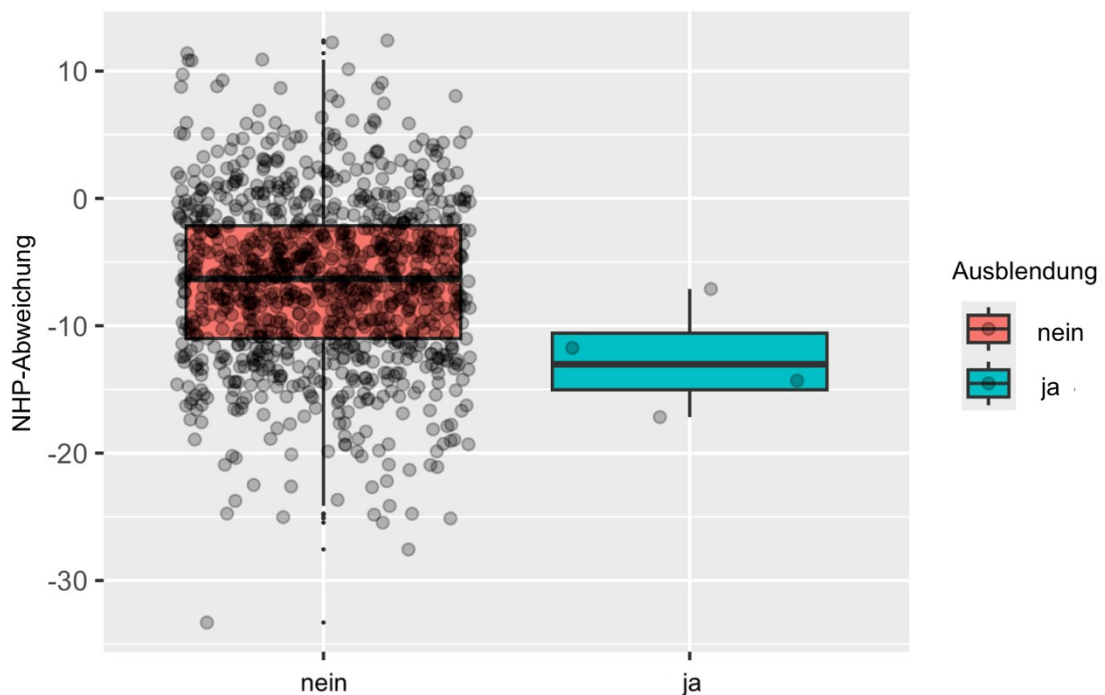


Abbildung 25 Zusammenhang der Ausblendung mit der Inklination des Kopfes gemäß der NHP-Abweichung

rückwärts gerichtete Neigung des Kopfes ein entscheidender Faktor für die Ausblendung von kranialen Referenzpunkten ist. Die logistische Regressionsanalyse (Abbildung 25) bestätigte allerdings keine signifikante Korrelation der Kopfkinklation mit der Ausblendung von kranialen Referenzpunkten. Der P-Wert betrug hierbei 0,064.

3.3.2. Frankfurter Horizontale

Im Durchschnitt betrug der gemessene Winkel zwischen der linken vertikalen Bildkante und der Frankfurter Horizontalen bei allen FRS-Aufnahmen bei $86,20^\circ \pm 6,15^\circ$. Bei den FRS-Aufnahmen mit Ausblendung von kranialen Referenzpunkten zeigte sich ein Mittelwert von $80,19^\circ \pm 6,02^\circ$, was eine stärkere rückwärts geneigte Kopfhaltung demonstriert, wobei hier wiederum die initial eingblendeten FRS-Aufnahmen nicht berücksichtigt wurden.

Die logistische Regressionsanalyse bestätigte hierbei einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Ausblendung von kranialen Referenzpunkten und der Inklination des Patientenkopfes. Der P-Wert betrug 0,040.

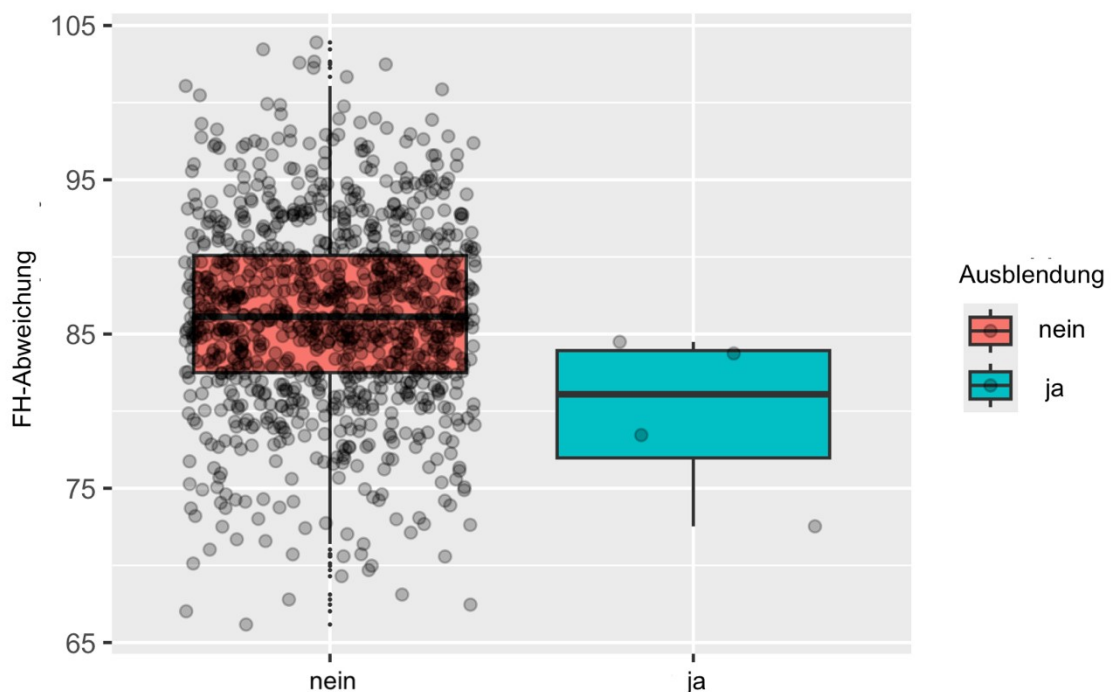


Abbildung 26 Zusammenhang der Ausblendung mit der Inklination des Kopfes gemäß der FH-Abweichung

4. Diskussion

4.1. Einführung in die Diskussion

Heranwachsende Patienten befinden sich häufig in kieferorthopädischer Behandlung. Frühere Studien haben gezeigt, dass diese Patienten aufgrund der Notwendigkeit von Röntgenbildern zu diagnostischen Zwecken für die Behandlungsplanung einer höheren Röntgendosis ausgesetzt sind als Gleichaltrige, die nicht kieferorthopädisch behandelt wurden. [28]

Gemäß aktuellen Richtlinien des Strahlenschutzgesetzes muss die Strahlendosis so niedrig wie möglich gehalten werden, da insbesondere heranwachsende Patienten empfindlich gegenüber Röntgenstrahlung sind. Dabei gilt es laut dem ALARA-Prinzip die Strahlendosis „so niedrig wie vernünftigerweise möglich“ zu halten. Das ALADAIP-Prinzip gibt zudem vor die Strahlendosis „so niedrig wie diagnostisch akzeptabel, indikationsorientiert und spezifisch an die Gegebenheiten des Patienten angepasst“ zu reduzieren. [18] Unter Beachtung dieser Richtlinien kann eine rechtfertigende Indikation für eine Röntgenaufnahme gewährleistet werden.

Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es keine ausreichenden Informationen bezüglich der kranialen Ausblendung von Fernröntgenseitenbildern in der Kieferorthopädie. Demnach besteht das Risiko einer Ausblendung von kranial gelegenen Referenzpunkten in der FRS-Aufnahme. Dies kann unter Umständen ein Wiederholen der FRS-Aufnahme notwendig machen, um alle diagnostisch notwendigen Referenzpunkte für die kephalometrische Analyse darzustellen. Somit würde es im ungünstigen Fall zu einer vermeidbaren Erhöhung der Gesamtstrahlendosis kommen.

Die vorliegende Studie zeigte, dass eine Ausblendung der oberen 18% der Bildfläche der FRS-Aufnahme, wie derzeit vom Hersteller vorgesehen, nur eine Ausblendung des kranialen Referenzpunktes *Nasion* verursachen kann. Dabei sind entweder Patienten mit einem vertikalen Wachstumsmuster, einer nach rückwärts geneigten Kopfposition oder einer Kombination aus beidem betroffen.

Um die Inklination oder Neigung des Kopfes im FRS zu bewerten, wurde die NHP-Abweichung definiert, die sich an der nach Burstone vorgestellten Gesichtshorizontalen orientiert hat, sowie die Diskrepanz der rechten vertikalen Bildkante zur Frankfurter Horizontalen errechnet. Die Gesichtshorizontale nach Burstone und die Frankfurter Horizontale sind sehr wichtige Referenzlinien für die kephalometrische Auswertung von FRS-Aufnahmen, da beide wertvolle Informationen über die Neigung und Ausrichtung des Patientenkopfes liefern.

A. M. Schwarz [29] aus Deutschland bevorzugte zur Ausrichtung der Patienten im FRS als horizontale Referenzebene die Frankfurter Horizontale, die 1884 vorgestellt wurde. Wegen der klinischen Praktikabilität, ist die Frankfurter Horizontale nach wie vor als international anerkannte Referenzebene für die Horizontale anerkannt. Moorrees et al. [30] oder Viazis [31] befürworteten wegen der Einschränkungen der Ausrichtung nach der Frankfurter Horizontalen hingegen die Ausrichtung des Patienten nach der von Broca [11, 12] erstmals vorgeschlagenen „natürlichen Kopfposition“ (*Natural Head Position*), da dies eine einfachere Positionierung des Patienten während der Bildaufnahme möglich macht, die auf der natürlichen Kopfhaltung des Patienten basiert.

Burstone et al. [1, 32] schlugen 1959 zudem eine Gesichtshorizontale vor, die durch den Referenzpunkt *Nasion* verläuft und einen Winkel von 7° im Uhrzeigersinn zur Nasion-Sella-Linie aufweist. Dieser Winkel entstammt aus Studien, die die Nasion-Sella-Linie mit der *Natural Head Position* in Beziehung setzten. Somit basiert die Gesichtshorizontale nach Burstone auf der *Natural Head Position* und ist demnach eine standardisierte horizontale Referenzebene, die für die kephalometrische Analyse verwendet werden kann. Da die Referenzpunkte *Sella* und *Nasion* gut identifizierbare Punkte sind, ist die Gesichtshorizontale prinzipiell eine gute Referenzebene, um die Neigung des Patientenkopfes in FRS-Aufnahmen zu beurteilen.

Um die Neigung des Kopfes umfassend bewerten zu können und die Referenzebenen vergleichen zu können, wurden in dieser Studie beide Winkel analysiert. Die NHP-Abweichung zeigte keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Ausblendung von Referenzpunkten und einer nach hinten gerichteten Kopfhaltung, während die Frankfurter Horizontale einen signifikanten Zusammenhang nachwies. Die Positionierung nach der „*Natural Head Position*“ ist von Faktoren, wie der individuellen Haltung des Patienten oder der visuellen

Ausrichtung im Spiegel abhängig, während die Positionierung anhand der Frankfurter Horizontalen auch variabel sein kann, da es bei der Identifikation der Referenzpunkte zur Bestimmung der Horizontalen zu Fehlern kommen kann. Trotzdem ist die Ausrichtung des Patientenkopfes nach der Frankfurter Horizontalen, auch bei kranialer Kollimation, reproduzierbarer als die Ausrichtung nach der „*Natural Head Position*“. Während die Frankfurter Horizontale durch zwei anatomische Punkte fest definiert ist, orientiert sich die „*Natural Head Position*“ an der natürlichen Kopfhaltung des Patienten, die abhängig von Tagesform, Körperhaltung und Blickrichtung sein kann. Ohne fest definierte Punkte, kann die Schädelneigung variieren. In der Regel werden bei kieferorthopädischen Behandlungen vor, während und nach der Behandlung Röntgenaufnahmen gemacht, die miteinander verglichen werden, um die Behandlung zu reevaluieren. Hierbei ist es besonders wichtig, dass die Messungen nicht durch variabel ausgerichtete FRS-Aufnahmen verfälscht werden. Durch feste anatomische Punkte, wie bei der Frankfurter Horizontalen, die nicht durch die kraniale Kollimation betroffen sind, kann der Kopf des Patienten bei jeder Aufnahme mit der gleichen Neigung eingestellt werden.

Zusätzlich konnten durch das Messen des Winkels zwischen der Nasion-Sella-Linie und der Frankfurter Horizontalen Aussagen über die Neigung der vorderen Schädelbasis zur Frankfurter Horizontalen getroffen werden. Dabei wird die Frankfurter Horizontale erneut als Referenz für die tatsächliche Horizontale festgelegt. [33-37] Die Patienten, die in dieser Studie inkludiert wurden, wiesen eine eher vertikale Orientierung der Schädelbasis auf, da die Auswertung einen durchschnittlich höheren Winkel ergab, als der von Daugaard-Jensen empfohlene Wert von 7°. Da es bei den in der Studie inkludierten FRS-Aufnahmen der Patienten jedoch Unterschiede hinsichtlich des Geschlechtes, des Alters, der Ethnie oder der Genetik gibt, kann man sowohl größere als auch kleinere Winkel beobachten.

4.2. Limitationen der Studie

Trotz dem, dass keine Einschränkungen hinsichtlich der Einbeziehung von FRS-Aufnahmen vorgenommen wurden, wies die Studie einige Limitationen auf.

Allen voran muss beachtet werden, dass eine Fernröntgenseitenaufnahme nur eine zweidimensionale Darstellung der dreidimensionalen Gesichtsstrukturen darstellt und es somit zu Einschränkungen bezüglich der Analyse der Strukturen kommen kann.

Des Weiteren sind die Referenzpunkte *Orbitale* und *Porion* für die Lokalisierung der Frankfurter Horizontale im FRS nicht so gut identifizierbar wie die Referenzpunkte *Nasion* und *Sella* [38, 39], sodass es bei der Datenerhebung zu Fehlern aufgrund von Identifikationsproblemen kommen kann.

Auch die Anzahl der Patienten mit einer Ausblendung von Referenzpunkten war sehr gering. Das hat zur Folge, dass die Aussagekraft des ermittelten Kollimationswert nicht sehr hoch ist und weitere Studien mit mehr FRS-Aufnahmen, bei denen eine Ausblendung von Referenzpunkten vorliegen, notwendig sind, um eine Aussage darüber treffen zu können, ob bei Patienten mit bestimmten äußeren Merkmalen wie beispielsweise ein „*long face*“-Gesichtstyp, welcher häufig mit einem vertikalen Wachstumsmuster beziehungsweise vertikalem Schädelaufbau einhergeht, ohne kraniale Einblendung geröntgt werden sollte.

Eine weitere Limitation der Studie ist, dass die FRS-Aufnahmen retrospektiv analysiert wurden und nicht prospektiv aufgenommen wurden. Zudem musste bei der Mehrzahl der vorliegenden Aufnahmen eine virtuelle Ausblendung angewendet werden, was mit Messfehlern einhergehen kann.

Außerdem wurden nur sagittale Abweichungen der Kopfhaltung untersucht. Transversale Abweichungen konnten nicht analysiert werden.

4.3. Schlussfolgerung

Abschließend sollte betont werden, dass die Verwendung einer kranialen Einblendung unter Verwendung der vom Hersteller aktuell bereit gestellten Parametern nur bei 0,6% der Aufnahmen zu einer Ausblendung vom Referenzpunkt *Nasion* geführt hat und dies lediglich bei Patienten mit einem vertikalen Wachstumsmuster/Schädelaufbau und/oder einer nach hinten gebeugter Kopfhaltung. Um dieses Risiko einer Ausblendung von diagnostisch wichtigen Referenzpunkten zu vermeiden, kann nach Analyse der Aufnahmen eine neue Empfehlung zu den Einblendungsparametern gegeben werden: Statt der vom Hersteller vorgegebenen 18% kranialen Einblendungsfläche, sollten ausschließlich die oberen 16,02% der Bildhöhe der Aufnahme ausgeblendet werden, um keine Ausblendung von wichtigen Strukturen und Referenzpunkten zu ermöglichen. Außerdem wird empfohlen eine korrekte Positionierung des Patientenkopfes bei der Röntgenaufnahme einzuhalten, um das Risiko einer Ausblendung weiter zu minimieren.

Der Zusammenhang zwischen einer Ausblendung von kranialen Referenzpunkten und einem vertikalen Wachstumsmuster deutet darauf hin, dass zukünftige Studien standardisierte Aufnahmeprotokolle untersuchen sollten, die gewährleisten, dass keine Ausblendung von diagnostisch relevanten Referenzpunkten unabhängig vom Wachstumsmuster vorliegt, beispielsweise durch weitere technische Modifikationen oder Anpassungen der Kollimationswerte. Zudem wäre es erstrebenswert weitere Faktoren wie das Alter, das Geschlecht oder die Ethnie der Patienten mit einzubeziehen.

5. Literatur- und Quellenverzeichnis

1. Diedrich, P., *Praxis der Zahnheilkunde*. Kieferorthopädie I. Vol. 4. 2000, München: Elsevier GmbH, Urban&Fischer.
2. Doll, G.M., et al., *Reliability and validity of the Digigraph 100 in orthodontic diagnosis*. J Orofac Orthop, 2001. **62**(2): p. 116-32.
3. Hofrath, H., *Die Bedeutung der Röntgenfern- und Abstandsaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien*. Fortschritte der Orthodontik in Theorie und Praxis, 1931. **1**: p. 232-258.
4. Broadbent, B.H., *A new x-ray technique and its application to orthodontia*. The Angle Orthodontist, 1931. **1**(2).
5. Schopf, P., *Curriculum Kieferorthopädie*. Band I. Vol. 4. 2008: Quintessenz Verlags-GmbH.
6. Broadbent, B.H., B.H. Broadbent, and W.H. Golden. *Bolton standards of dentofacial developmental growth*. 1975.
7. Durao, A.R., et al., *Influence of lateral cephalometric radiography in orthodontic diagnosis and treatment planning*. Angle Orthod, 2015. **85**(2): p. 206-10.
8. Rischen, R.J., et al., *Records needed for orthodontic diagnosis and treatment planning: a systematic review*. PLoS One, 2013. **8**(11): p. e74186.
9. Rakosi, T. and I. Jonas, *Kieferorthopädie, Diagnostik (Farbatlanten der Zahnmedizin)*. Vol. 8. 1989: Thieme.
10. Dietmar Segner, A.P.H., *Individualisierte Kephalemetrie*. 1998, Hamburg: Hansa.
11. Solow, B. and A. Tallgren, *Natural head position in standing subjects*. Acta Odontol Scand, 1971. **29**(5): p. 591-607.
12. Park, I.K., et al., *Recording natural head position using an accelerometer and reconstruction from computed tomographic images*. J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg, 2017. **43**(4): p. 256-261.
13. William R. Proffit, H.W.F., David M. Sarver, *Contemporary Orthodontics*. Vol. 4. 2006: Mosby. 768.

14. Hasund, A., *Klinische Kephalmetrie für die Bergen-Technik*. 1974: Universität in Bergen, Kieferorthopädische Abteilung des zahnärztlichen Institutes.
15. Tong, J.H., Tom K., *Aging and age-related health effects of ionizing radiation*. Radiation Medicine and Protection, 2020. **1**(1): p. 15-23.
16. Belmans, N., et al., *Radiobiological risks following dentomaxillofacial imaging: should we be concerned?* Dentomaxillofac Radiol, 2021. **50**(6): p. 20210153.
17. Commission, E., D.-G.f. Energy, and Transport, *European guidelines on radiation protection in dental radiology – The safe use of radiographs in dental practice*. 2004: Publications Office.
18. Oenning, A.C., R. Jacobs, and B. Salmon, *ALADAIP, beyond ALARA and towards personalized optimization for paediatric cone-beam CT*. Int J Paediatr Dent, 2021. **31**(5): p. 676-678.
19. Marcu, M., et al., *Estimation of the radiation dose for pediatric CBCT indications: a prospective study on ProMax3D*. Int J Paediatr Dent, 2018. **28**(3): p. 300-309.
20. Bundeszahnärztekammer. *Durchführungsempfehlungen für die zahnärztliche Röntgenologie*. 2014; Available from: <https://www.bzaek.de/service/positionen-statements/einzelansicht/durchfuehrungsempfehlungen-fuer-die-zahnaerztliche-roentgenologie.html>.
21. Al Maaitah, E.F., et al., *Cranial base measurements in different anteroposterior skeletal relationships using Bjork-Jarabak analysis*. Angle Orthod, 2022. **92**(5): p. 613-8.
22. Johnson, E.L., *The Frankfort-mandibular plane angle and the facial pattern*. Am J Orthod, 1950. **36**(7): p. 516-33.
23. DiPietro, G.J. and J.R. Moergeli, *Significance of the Frankfort-mandibular plane angle to prosthodontics*. J Prosthet Dent, 1976. **36**(6): p. 624-35.
24. Daugaard-Jensen, I., *Cephalometrics, orthodontics and facial aesthetics*. Trans Eur Orthod Soc, 1957: p. 33-55.
25. Reddy, S.R., et al., *A Cephalometric Evaluation of Sexual Dimorphism of the Angle Sella-Nasion-Frankfort Horizontal Plane in Different Sagittal*

- Classes of Malocclusion in South Indian Population*. J Int Soc Prev Community Dent, 2019. **9**(2): p. 129-136.
26. Jung-Ah, P., et al., *Use of the orbito-occipital line as an alternative to the Frankfort line*. Anat Cell Biol, 2020. **53**(1): p. 21-26.
 27. Huh, Y.J., et al., *Constancy of the angle between the Frankfort horizontal plane and the sella-nasion line: A nine-year longitudinal study*. The Angle Orthodontist, 2013. **84**(2): p. 286-291.
 28. Jacobs, R., et al., *Pediatric cleft palate patients show a 3- to 5-fold increase in cumulative radiation exposure from dental radiology compared with an age- and gender-matched population: a retrospective cohort study*. Clin Oral Investig, 2018. **22**(4): p. 1783-1793.
 29. Schwarz, A.M., *Lehrgang der Gebissregelung*. Vol. I. 1951, Vienna-Innsbruck: Urban & Schwarzenberg.
 30. Moorrees, C.F.A. and M.R. Kean, *Natural head position, a basic consideration in the interpretation of cephalometric radiographs*. American Journal of Physical Anthropology, 1958. **16**(2): p. 213-234.
 31. Viazis, A.D., *A cephalometric analysis based on natural head position*. J Clin Orthod, 1991. **25**(3): p. 172-81.
 32. Burstone, C.J., et al., *Cephalometrics for orthognathic surgery*. J Oral Surg, 1978. **36**(4): p. 269-77.
 33. Kattan, E., M. Kattan, and O. Elhiny, *A New Horizontal Plane of the Head*. Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences, 2018. **6**.
 34. Downs, W.B., *Analysis of the dentofacial profile*. Angle Orthodontist, 1956(26): p. 191-212.
 35. Downs, W.B., *The role of cephalometrics in orthodontic case analysis and diagnosis*. American Journal of Orthodontics, 1952. **38**(3): p. 162-182.
 36. Downs, W.B., *Variations in facial relationships: Their significance in treatment and prognosis*. American Journal of Orthodontics, 1948. **34**(10): p. 812-840.
 37. Bjehin, R., *A Comparison Between the Frankfort Horizontal and the Sella Turcica -Nasion as Reference Planes in Cephalometric Analysis*. Acta Odontologica Scandinavica, 1957. **15**(1): p. 1-12.

38. Titiz, I., et al., *Repeatability and reproducibility of landmarks--a three-dimensional computed tomography study*. Eur J Orthod, 2012. **34**(3): p. 276-86.
39. Hofmann, E., et al., *Landmarks of the Frankfort horizontal plane*. Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie, 2016. **77**(5): p. 373-383.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich meiner Doktormutter, Prof. Dr. Kathrin Becker, M.Sc., für ihr Vertrauen und die Möglichkeit diese Dissertation verfassen zu dürfen danken. Ich danke ihr für die Zeit, die sie sich genommen hat und die stetige Unterstützung bei statistischen Berechnungen, der Entwicklung der Methodik sowie bei der Verfassung unseres Publikationsmanuskriptes. Durch ihre wissenschaftliche Expertise und ihr konstruktives Feedback hat sie wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Außerdem möchte ich meinem Co-Betreuer, Prof. Dr. Hugger, für seine Bereitschaft die Co-Betreuung zu übernehmen und für die Korrekturlesung dieser Arbeit herzlich danken.

Meinen Eltern gilt mein Dank für ihre Geduld, ihre Unterstützung in jeglicher Hinsicht und ihren Glauben an mich während des Studiums sowie während der Zeit dieser Dissertation. Ich danke ihnen von Herzen dafür, dass sie mich stets mit Liebe auf meinem Weg begleitet habt. Ohne meine Eltern wäre ich nicht dort, wo ich heute bin.

Danke!