

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Kieferorthopädie des
Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
- Direktorin: Univ.- Prof. Dr. U. Ehmer -

**Entwicklung einer computergestützten Fernröntgenseitenbild-
Auswertung auf Basis der kraniofazialen Analyse nach Delaire
zur Planung von kombiniert kieferorthopädisch-
kieferchirurgischen Therapien**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des doctor medicinae dentium
der Medizinischen Fakultät der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von
Siemon, Tina
aus Osnabrück

2007

Gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.- Prof. Dr. Arolt
1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. dent. T. Stamm
2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. J. Kleinheinz
Tag der mündlichen Prüfung: 05.03.2007

**Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Kieferorthopädie
- Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. dent. U. Ehmer -
Referent: Priv.-Doz. Dr. med. dent. T. Stamm
Koreferent: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. J. Kleinheinz**

ZUSAMMENFASSUNG

**Entwicklung einer computergestützten Fernröntgenseitenbild-Auswertung
auf Basis der kraniofazialen Analyse nach Delaire zur Planung von
kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapien**

Siemon

Tina

An der ZMK Münster existiert ein spezielles Sprechstundensystem, welches die umfassende und systematische Beratung und Betreuung von Patienten mit Dysgnathien ermöglicht. Das Konzept der kombiniert kieferorthopädisch-chirurgischen Therapie baut auf einer interdisziplinären Behandlung der Patienten durch MKG-Chirurgen und Kieferorthopäden auf.

Die Planung dieser Therapien erfolgt unter anderem anhand der Analyse von Fernröntgenseitenbildern. Im Rahmen dieser Dissertation wurde auf Basis der von Jean Delaire 1978 publizierten kraniofazialen Analyse eine weitere Analyseform zur Planung von dysgnathiechirurgischen Eingriffen erstellt. Das Besondere der Delaire-Analyse liegt in der Vermeidung von Normwerten und der Entwicklung einer idealen Balance aus den individuellen Strukturen eines jeden Patienten. Sie stellt eine gute Methode zur Verifizierung skelettaler Anomalien dar und vereinfacht speziell bei syndromal veränderten Schädeln die Therapieplanung.

Auf Grundlage der französischen Originalliteratur wurde zunächst ein Handout erarbeitet, welches die Schritte der Delaire-Analyse erläutert und mit dessen Hilfe eine manuelle Auswertung von FRS-Bildern durchgeführt werden kann. Hierauf aufbauend erfolgte die Entwicklung eines computergestützten Analyseverfahrens, welches die Auswertung von direkt und indirekt digitalisierten Fernröntgenseitenbildern ermöglicht.

Die Analyse basiert auf dem Open-Source Programm ImageJ und ist aufgrund der selbsterklärenden Strukturierung auch von Personen anwendbar, die keine Vorkenntnisse zur Delaire-Analyse besitzen. Der Vergleich der Auswertungsergebnisse von zehn manuell und mittels der computergestützten Analyse ausgewerten FRS-Bildern zeigte eine nicht signifikante Abweichung der gemessenen Werte und belegte die einwandfreie Arbeitsweise des entwickelten Programms.

Die computergestützte Delaire-Analyse mit ihren vielfältigen Bildverarbeitungsfunktionen stellt eine wichtige Alternative zu herkömmlichen Auswertungsmethoden in den Bereichen Klinik, Forschung und Qualitätsmanagement dar.

Tag der mündlichen Prüfung: 05.03.2007

- Diese Dissertation ist in Dankbarkeit meinen Eltern gewidmet -

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1	Die chirurgische Kieferorthopädie	9
1.1.1	Historische Entwicklung	9
1.1.2	Differenzierung zwischen mono- und bimaxillären Eingriffen	11
1.2	Fernröntgenseitenaufnahmen	13
1.2.1	Die Geschichte der Kephalmetrie	13
1.2.2	Indikationen zur Anfertigung von Fernröntgenseitenaufnahmen	14
1.2.3	Die Auswertung von Fernröntgenseitenbildern	15
1.2.4	Die Möglichkeiten der Digitalisierung von Röntgenbildern	17
1.3	Der Dysgnathiepatient	19
1.3.1	Indikationsstellungen zur Dysgnathieoperation	19
1.3.2	Die Motive des Dysgnathiepatienten	21
1.4	Das Konzept der Dysgnathieoperation an der ZMK Münster	23
1.4.1	Beratung und Betreuung der Patienten	23
1.5	Die kraniofaziale Analyse nach Delaire	33
1.5.1	Theoretisches Grundgerüst der Analyse	33
1.5.2	Patientenfallbeispiel einer Schädelanalyse von Jean Delaire	38
	Graphische Darstellung der Analyse	38
	Patientenfallbesprechung	39
1.6	Darstellung der Punkte der Delaire-Analyse	40
1.7	Darstellung der Strecken der Delaire-Analyse	41

2	Fragestellung	42
3	Material und Methode	44
3.1	Erstellung der grundlegenden Analyseform	44
3.2	Entwicklung der computergestützten Analyseform.....	45
3.3	Überprüfung der klinischen Anwendbarkeit	46
3.3.1	Das Patientengut.....	46
3.3.2	Die ausgewählten Fernröntgenseitenaufnahmen	48
3.3.3	Die Digitalisierung.....	48
3.3.4	Die kephalometrische Auswertung.....	49
4	Ergebnisse	50
4.1	Das Handout zur manuellen Auswertung	50
4.2	Die computergestützte Analyse.....	81
4.3	Überprüfung der Funktionsweise der computergestützten Analyse ...	88
4.3.1	Vergleich der Auswertungsergebnisse zwischen manueller und computergestützter Analyse bei den einzelnen Patienten.....	88
4.3.2	Darstellung aller Abweichungen	109
4.3.3	Abweichungen der einzelnen Auswertungspunkte.....	110
4.3.4	Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse	115
5	Diskussion	117
5.1	Die computergestützte Analyse.....	117

5.1.1	Verbesserungen der computergestützten Analyse	117
5.1.2	Die Verwendung von computergestützten Analyseverfahren im Vergleich zur manuellen Durchzeichnung.....	119
5.1.3	Überprüfung der klinischen Anwendbarkeit der computergestützten Analyse	120
5.2	Anwendung von FRS-Analysen zur Dysgnathie-Therapieplanung ..	126
5.2.1	Fehlerquellen der Fernröntgenseitenbild-Analysen	126
	Der Identifikationsfehler.....	126
	Der radiographische Fehler.....	127
5.2.2	Die FRS-Aufnahme als Therapieplanungsgrundlage.....	131
5.2.3	Die Frage der Definition des „Idealgesichtes“	133
5.3	Die grundsätzliche Verwendung der Analysemethode nach Delaire	135
5.3.1	Erhöhte Strahlenbelastung durch große FRS-Aufnahmen.....	135
5.3.2	Die Vermeidung von Normwerten	135
5.3.3	Der Verzicht auf Weichteilpunkte.....	138
6	Zusammenfassung	140
7	Literaturverzeichnis	142
8	Danksagung	152
9	Curriculum vitae	153
10	Anhang	
10.1	Abbildungsverzeichnis	I
10.2	Tabellenverzeichnis	VI

1 Einleitung

1.1 Die chirurgische Kieferorthopädie

1.1.1 Historische Entwicklung

Der Begriff Dysgnathie beschreibt Fehlstellungen bzw. Fehlentwicklungen der Zähne und / oder der Kiefer. Diese Anomalien können die Zahnstellung, die Verzahnung, die Kieferform, die Lage der Kiefer zueinander oder die Lage der Kiefer zum Schädel betreffen und als Folge sowohl ästhetische als auch funktionelle Beeinträchtigungen verursachen.

Bei Patienten mit ausgeprägten skelettalen Lageabweichungen kann oftmals eine alleinige kieferorthopädische Behandlung nicht zu einem funktionell und ästhetisch befriedigenden Ergebnis führen. Die kombiniert kieferorthopädisch - kieferchirurgische Therapie bietet die Möglichkeit der operativen Lagekorrektur der Kieferfehlstellungen. Hierbei werden knöcherne Strukturen chirurgisch getrennt und in gerichteter Position fixiert. Grundlegend lassen sich die zahlreichen heute bekannten Operationstechniken unterteilen in Eingriffe, die an nur einem Kiefer (monomaxilläre Operation) oder an Unter- und Oberkiefer gleichzeitig (bimaxilläre Operation) ansetzen.

Die Anfänge der orthognathen Chirurgie lassen sich in den USA finden [99]. Zu Beginn wurden aufgrund der eingeschränkten operativen Möglichkeiten und der hiermit verbundenen starken Belastung der Patienten nur monomaxilläre Operationen am Unterkiefer vorgenommen. Bereits 1849 veröffentlichte Hüllihen Berichte, die eine alveoläre Unterkiefersegmentosteotomie zum Schluss eines offenen Bisses beschreiben [5]. Erst knapp 50 Jahre später wurde ein weiterer dysgnathiechirurgischer Eingriff vorgenommen; die so genannte St.-Louis-Operation im Jahre 1897 [99]. Hier führten die Herren Blair und Angle eine chirurgische Verkürzung des Unterkiefers durch [37]. Schon im

Jahre 1907 wurden dann von Blair drei verschiedene Operationstechniken zur Korrektur von Unterkieferfehlstellungen publiziert [10]. Vilray Blair war es auch, der erstmals ein breites Interesse an maxillofazialer Chirurgie in der medizinischen Fachwelt weckte. Er kann daher zu Recht als Begründer der Dysgnathiechirurgie bezeichnet werden [99].

Große Fortschritte in der Weiterentwicklung der Dysgnathieoperationen wurden in den 50er Jahren gemacht und leiteten eine Ära der sich rasant entwickelnden Neuerungen bezüglich Operationstechniken und -möglichkeiten ein. Vorverlagerungen nur des Alveolarfortsatzes im Unterkiefer wurden beispielsweise 1942 erstmals von Hofer durchgeführt [46]. Bis in die heutige Zeit findet das von Obwegeser 1955 veröffentlichte Verfahren der sagittalen Spaltung des aufsteigenden Unterkieferastes weite Verbreitung [70].

Die Anfänge der Osteotomien am Oberkiefer begannen aufgrund der hohen Komplikationsraten erst zu einem späteren Zeitpunkt [47]. Sie gehen auf ein von Cohn-Stock 1921 publiziertes zweizeitiges Verfahren zurück [37,111]. Der Chirurg Axhausen führte im Jahre 1934 dann erstmals eine totale Oberkieferosteotomie mit einer zusätzlichen vertikalen Spaltung der Maxilla durch [4]. Eine einzeitige Operation mit kompletter Mobilisierung des Oberkiefers wurde bereits ein Jahr später von Wassmund entwickelt [107]. Verbesserungen erfuhr das Osteotomieverfahren des Oberkiefers besonders 1954 durch Schuchardt [88]. Die Chirurgen Cohn-Stock, Wassmund, Axhausen und auch Schuchardt waren in Berlin tätig. Hier lag ein bedeutendes Zentrum für die operative Korrektur von Kieferstellungsanomalien.

Bis zum heutigen Zeitpunkt findet aber auch die erstmals 1968 von Obwegeser publizierte LeFort-I-Osteotomie des Oberkiefers breite Anwendung [68]. Obwegeser arbeitete zu diesem Zeitpunkt in Wien, wo ein weiteres wichtiges Zentrum für die Entwicklung der orthognathen Chirurgie ansässig war. Es waren hier vor allem auch Pichler, Trauner und Köle, die Operationsverfahren entwickelten und den Fortschritt unterstützten [61,101].

1.1.2 Differenzierung zwischen mono- und bimaxillären Eingriffen

Die bimaxilläre Chirurgie beinhaltet Osteotomien in beiden Kiefern zur simultanen Lagekorrektur von Ober- und Unterkiefer. Indikationen für einen Eingriff in beiden Kiefern stellen sich bei dysgnathen Lage beider Kiefer dar [89]. Auch eine stark ausgeprägte monognathe Fehlstellung kann eine Indikation für einen bimaxillären Eingriff sein, da große Lageveränderungen eines Kiefers sehr rezidivgefährdet sind. Tendenziell müssen auch die meisten Fälle von Asymmetrien sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer operiert werden [89].

Die bimaxilläre Chirurgie ist ein relativ junges Operationsverfahren. Obwegeser markierte im Jahre 1970 den Zeitbeginn der bimaxillären Eingriffe. Er sah in dieser Operationsart im Vergleich zur monomaxillären die Vorteile der geringeren Neigung zu Rezidiven und der besseren Profillinie [69].

Die Le-Fort-I-Osteotomie des Oberkiefers wurde weitaus früher singulär eingesetzt. Diese war in der damaligen Zeit ein relativ großer Eingriff, der mit langer Operationsdauer und hohen Blutverlusten vergesellschaftet war. Erst durch Fortschritte in der Operationstechnik, den Anästhesiemethoden und dem Instrumentarium wurde es möglich, diesen komplexen chirurgischen Eingriff zur Routine werden zu lassen [66]. Hogemann und Wilmar ist im Jahr 1967 die Modifizierung der Oberkieferosteotomie zu verdanken, so dass diese als Baustein eines bimaxillären Eingriffs verwendet werden konnte [49]. Frühe internationale Publikationen der operativen Vorgehensweisen bei bimaxillären Osteotomien erschienen im Jahre 1978 von Lindorf und Steinhäuser [64] und ebenfalls von Gross und James [39]. Nachuntersuchungen dieser Operationsmethoden wurden beispielsweise von Labanc 1982 vorgestellt [63].

In den letzten Jahren haben weitere Verbesserungen der Operationsverfahren zu immer geringeren Belastungen des Eingriffs für den Patienten sowie zu stetig besseren ästhetischen Ergebnissen geführt. Der chirurgische Eingriff in beiden Kiefern wird heute nicht mehr durch Kompromisslösungen, die nur einen Kiefer betreffen, ersetzt [47]. Durch die gleichzeitige Verlagerung von

Maxilla und Mandibula ist in der heutigen Zeit sowohl die Einstellung einer optimalen Okklusion als auch die Harmonisierung des Gesichtsprofils möglich [6,56,66].

Die Wahl der Operationsmethode ist von eminenter Bedeutung für das postoperative Ergebnis. Beispielsweise bei Klasse III-Malokklusionen entstehen bei den drei operativen Korrekturmöglichkeiten der UK-Rücksetzung, der OK-Vorverlagerung oder der kombinierten Osteotomie in OK und UK stark unterschiedliche Weichteilverlagerungen und Veränderungen der Gesichtsästhetik [98]. Die Entscheidung für eine Korrektur in einem oder beiden Kiefern muss für jeden Patienten neu gefällt werden. Hierbei ist das zentrale diagnostische Mittel die Analyse des Fernröntgenseitenbildes [56].

1.2 Fernröntgenseitenaufnahmen

1.2.1 Die Geschichte der Kephalmetrie

Der Begriff Kephalmetrie stammt aus dem Griechischen von kephalé = Kopf und metreín = messen und beschreibt die Vermessung von Strukturen des Kopfes [27].

Erste Analysen des Schädels lassen sich bei bis heute weltbekannten Künstlern finden. Leonardo da Vinci fertigte bereits in den Jahren 1485 - 1515 zahlreiche anatomische Zeichnungen an und studierte an ihnen die Proportionen des menschlichen Körpers. Aus dem Jahre 1489 stammen die Zeichnungen des Kopfes, in denen er, auf der Suche nach dem Sitz der Seele, zum Entdecker bis daher unbekannter anatomischer Strukturen wurde [100]. Auch Künstler wie Michelangelo und Dürer beschäftigten sich mit anatomischen Proportionen. Grundlagen nahezu all dieser frühen Studien waren Modelle oder Zeichnungen, die Eindrücke aus miterlebten Sektionen widerspiegelten.

Die Anfänge der Kephalmetrie mit definierten Strecken und Ausmessungen von Winkeln, wie sie heute bekannt ist, lassen sich 1865 bei Broca finden [15]. Röntgenaufnahmen zur Vermessung des seitlichen Schädels wurden dann erstmals 1922 von Pacini angefertigt [14]. Eine Weiterentwicklung erfuhr das Verfahren der Anfertigung seitlicher Schädelröntgenaufnahmen im Jahre 1931 von Hofrath in Düsseldorf [48] und im gleichen Jahr von dem Amerikaner Broadbent [12]. Die seither in der Kieferorthopädie eingesetzten Fernröntgenseitenaufnahmen ermöglichen es, auf einem einzigen Röntgenbild alle Strukturen des Gesichtes und des Schädels abzubilden. Zunächst nur in Spezialkliniken angewandt wurden schon im Jahre 1949 von Brodie weitere Erläuterungen zur Anwendung und Technik dieses kephalometrischen Röntgenverfahrens herausgegeben [14] und es fand stetig wachsende Anwendung. Heute gehört das Fernröntgenseitenbild zu den diagnostischen Standardunterlagen jeder kieferorthopädischen Behandlung.

1.2.2 Indikationen zur Anfertigung von Fernröntgenseitenaufnahmen

Die FRS-Aufnahme gibt Auskunft über die normalen oder pathologischen Beziehungen der Kiefer zum Gesichtsschädel, über Größen- und Formanomalien von Unter- und Oberkiefer, die Zahnstellung zur jeweiligen Kieferbasis und den Aufbau sowie die Wachstumsrichtung der verschiedenen Gesichtsschädelanteile [11]. Mit speziellen technischen Hilfsmitteln kann zudem das Gesichtsprofil abgebildet werden.

Eine zentrale diagnostische Maßnahme im Rahmen der Therapieplanung bei dysgnathen Patienten ist die Ermittlung und die genaue Lokalisation von Abweichungen der maxillären und mandibulären Lage [56]. Diese erfolgt primär anhand der Analyse von Fernröntgenseitenbildern. Unterschiedlichste Autoren unterstreichen die Wichtigkeit der kephalometrischen Auswertung von seitlichen Schädelaufnahmen als unentbehrliche Grundlage der Therapieplanung in der kieferorthopädischen Dysgnathie-therapie [40,57,71]. Auch Schmuth betont sie neben der klinischen Untersuchung, dem Erstellen eines intraoralen Befundes sowie der Auswertung von Modellen [84].

In der Kieferorthopädie dient die kephalometrische Analyse zum einen zur Beschreibung eines Befundes und zum anderen auch zur Vorhersage der Reaktion auf eine Behandlung.

Erst durch die röntgenologische Betrachtung der Strukturen lassen sich oftmals Ursachen der unterschiedlichen Dysgnathien verifizieren. So kann beispielsweise allein durch klinische Betrachtung eines vorstehenden Kinns nur schwer zwischen einer mandibulären Prognathie, einer maxillären Retrognathie oder einer alleinigen Missbildung im Kinnbereich differenziert werden. Die kephalometrische Auswertung hat auch die Aufgabe der Differenzierung zwischen skelettalen und dentalen Anomalien.

Die deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie schrieb in einer Stellungnahme im Jahre 1997, dass im Rahmen der Anfangsdiagnostik unter anderem Fernröntgenseitenbilder im Allgemeinen unverzichtbar sind [25].

Die FRS-Analyse ist nicht nur für den Kieferorthopäden, sondern gleichermaßen auch für den Chirurgen ein grundlegender präoperativer Planungsbestandteil [71]. Anwendung findet zusätzlich zu dieser prächirurgischen röntgenologischen Diagnostik auch die postoperative Kontrolle durch ein Fernröntgenbild. Dieses dient der Überprüfung des operativen Ergebnisses und wird sogar als aus forensischen Gründen unerlässlich beschrieben [105].

Auch bei der Aufklärung und Beratung des Patienten kann das seitliche Fernröntgenbild eine Hilfestellung leisten. Dem Patienten fällt die Entscheidung zu einer Operation oftmals leichter, wenn er an kephalometrischen Darstellungen das zu erwartende Profil bei rein konservativer im Vergleich zu einer chirurgischen Therapie im Vorfeld der Behandlung sehen kann.

Gründe für die häufige Anwendung und die zentrale Bedeutung der FRS-Aufnahmen sind in der verhältnismäßig leichten Anfertigung und der hohen Aussagekraft der FRS-Bilder sowohl für den Behandler als auch für den Patienten zu sehen.

1.2.3 Die Auswertung von Fernröntgenseitenbildern

Die visuelle Betrachtung eines Fernröntgenseitenbildes ermöglicht dem geschulten Auge die Begutachtung zahlreicher Schädelstrukturen und ihrer Verhältnisse zueinander. Die komplexen Morphologien können jedoch erst mit Hilfe bestimmter Analyseverfahren objektiviert werden.

Als kephalometrische Analyse wird die definierte Auswertung einer Reihe von Messpunkten, die nach bestimmten Kriterien auf dem Fernröntgenbild lokalisiert werden, bezeichnet. Ausgehend von der Geburtsstunde der metrischen Analyse von Schädelstrukturen anhand von Röntgenbildern im Jahre 1931, entwickelten sich zahlreiche unterschiedliche Analyseverfahren. Heute existieren weit über 100 Verfahren [67,86].

Grundlegend ist bei den meisten Analysen eine Unterteilung in anatomische und konstruierte Punkte. Anatomische Bezugspunkte beschreiben hierbei konkrete röntgenologisch sichtbare Strukturen des Schädels, während konstruierte Punkte durch den Schnittpunkt zweier eingezeichneter Linien oder den Schnittpunkt einer Linie mit einer definierten Schädelstruktur lokalisiert werden. Die Verfahren der Auswertung definieren zahlreiche unterschiedliche kephalometrische Bezugspunkte und beinhalten verschiedenste geometrische Messungen, die eine Ermittlung von numerischen Werten ermöglichen, durch welche sagittale und vertikale Strukturmerkmale exakt beschrieben werden.

Die Analysen unterscheiden sich jedoch nicht nur hinsichtlich der benannten Punkte, sondern auch hinsichtlich der gesamten Konzeption (z.B. Definition von unterschiedlichen Hauptbezugsebenen oder Bezug auf definierte Mittelpunkte) und dem Umfang der Auswertung (z.B. Analyse des gesamten Schädels oder nur von bestimmten Teilbereichen). Die heute verwendeten Analyseverfahren beruhen hauptsächlich auf den Analysemethoden von Steiner [97], Downs [26], Ricketts [76], Enlow [30], Holdaway [51,52] und Bimler [8].

1.2.4 Die Möglichkeiten der Digitalisierung von Röntgenbildern

Digitale Röntgenaufnahmen haben auch in der Kieferorthopädie in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen [40]. Es gibt grundlegend verschiedene Möglichkeiten der digitalen Radiographie. Unterschieden wird zwischen den Festkörpersensoren (direkte digitale Radiographie), dem Speicherfoliensystem (semidirekte digitale Radiographie) und der Einscannung konventionell hergestellter Röntgenbilder (indirekte digitale Radiographie) [44].

1.2.4.1 Direkte digitale Radiographie

Bei den so genannten **Festkörpersystemen** fungiert anstelle der herkömmlichen Filmkassette ein zweidimensional auflösender Zeilensensor (CCD Sensor = Charge-coupled device Sensor) [104]. Die Aufnahme erfolgt grundlegend wie bei den bisherigen Geräten, wobei jedoch der Patient bei den digitalen Geräten mittels eines zeilengroßen Röntgenstrahles Linie für Linie abgefahren wird [109]. Der Festkörpersensor, welcher über Kabelverbindungen mit einem Computer verknüpft ist, wandelt die auftreffende Strahlenenergie mittels eines Siliciumhalbleiters in elektrische Signale um. Es wird hierbei nicht wie herkömmlich eine chemische Reaktion, sondern ein physikalischer Prozess ausgelöst, welcher zum Ablauf geringere Dosen an Röntgenstrahlen benötigt und so den Vorteil der Strahlenbelastungsreduzierung für den Patienten mit sich bringt [33]. Bei den digitalen FRS-Aufnahmen ist im Vergleich zum filmbasierten Röntgen eine Dosisreduktion möglich [91,104].

Bei diesen Verfahren ist keine Entwicklung des Bildes mehr notwendig. Das Röntgenbild erscheint schon ca. 1 Minute nach der Aufnahme auf einem angeschlossenen Monitor und kann unmittelbar befundet oder mit dem Patienten besprochen werden [91].

1.2.4.2 Semidirekte digitale Radiographie

Eine andere Möglichkeit ist das **Speicherfoliensystem**. Hierbei werden zur Herstellung und als Speichermedium Phosphorplatten verwendet. Die Phosphorplatten speichern die Röntgenstrahlen in Form von Lichtenergie und können mittels eines speziellen Scanners ausgelesen werden, so dass digitale Bilddaten entstehen [91]. Das Verfahren erfolgt ohne Anwendung von Sensoren oder Vernetzungen mit einem Computer und bringt den Vorteil, dass es mit herkömmlichen Röntgengeräten, welche für filmbasierte Aufnahmen verwendet wurden, durchgeführt werden kann.

Der Nachteil dieser Technik ist in dem höheren zeitlichen Aufwand zu sehen. Die so genannte digitale Lumineszenzradiographie erlaubt im Vergleich zur konventionellen Röntgentechnik eine Verringerung der Strahlendosis [33], da die Speicherleuchtstoffe wesentlich effizienter sind in der Detektion von Röntgenphotonen [109]. Es konnte gezeigt werden, dass die Lokalisationsgenauigkeit kephalometrischer Punkte bei der digitalen Lumineszenzradiographie gleichwertig und teilweise signifikant besser war im Vergleich zur konventionellen Film-Folien-Technik [40].

1.2.4.3 Indirekte digitale Radiographie

Eine Vielzahl von auf dem Markt erhältlichen Methoden (z. B. Laserscanner, Flachbettscanner, Video- oder Digitalkameras) ermöglicht die Einlesung von konventionellen Röntgenbildern. Lichtenergie wird bei diesen Methoden in elektrische Spannung und in von einem Computer verarbeitbare Daten umgewandelt.

Nachteilig bei dieser indirekten digitalen Methode sind die weiterhin zunächst erforderliche Entwicklung des Filmes und der damit einhergehende Zeitaufwand sowie die Verwendung von Verbrauchsmaterialien.

1.3 Der Dysgnathiepatient

1.3.1 Indikationsstellungen zur Dysgnathieoperation

Form und Lageanomalien der Kiefer können sowohl angeboren als auch erworben sein [4]. Weiterhin wird differenziert zwischen auf Defekten des Erbgutes beruhenden Fehlentwicklungen und durch intrauterine Veränderungen der Morphogenese von Organsystemen bedingten Fehlbildungen [58].

Eine Vielzahl von Bissanomalien und skelettalen Missverhältnissen können noch in der Wachstumsphase rein kieferorthopädisch (durch dentoalveoläre Kompensation) korrigiert werden.

Joos betont die Wichtigkeit der Früherkennung und die frühzeitige Behandlung von Fehlbildungen und wendet sich gegen die oftmals praktizierte abwartende Vorgehensweise mit Korrekturoperationen nach Wachstumsabschluss [58]. Eine frühzeitige Therapie (eventuell auch Operation) hat seiner Auffassung nach den Vorteil des möglichen normalisierten weiteren Wachstums in der Entwicklung.

Grundlegend limitieren große Ausmaße skelettaler Diskrepanzen sowohl vor als auch nach Wachstumsabschluss den Erfolg konservativer Therapien, so dass chirurgische Alternativen in den Vordergrund treten. Die dentoalveoläre Kompensation bietet zwar zahlreiche Therapiemöglichkeiten, doch extrem ausgeprägte Problematiken setzen absolute Grenzen bezüglich kieferorthopädisch-orthopädischer Therapien und stellen eine ausschließliche Indikation zur chirurgischen Korrektur [28].

Auch Esser wendet sich bei starken Überdimensionierungen des Gesichtsschädels gegen eine langwierige konservative Behandlung. Kieferorthopädische Kompromisslösungen und dentoalveoläre Kompensationen sollten nach ihm, aufgrund der heutigen operativen Möglichkeiten, in den Hintergrund treten und die Anomalien an ihrem Hauptmanifestationsort, der skelettalen Grundlage, behoben werden [31].

Indikationen zur chirurgischen Therapie werden auch bei Fehlentwicklungen in basalen oder in dentobasalen Kieferabschnitten gesehen.

Weitgehend eindeutig ist somit die Indikationsstellung bei größeren skelettalen Diskrepanzen zu einem dysgnathiechirurgischen Eingriff [35]. Bei den unterschiedlichen Schweregraden der Fehlstellungen zwischen geringen skelettalen Abweichungen bis hin zu extremen Dysgnathien existieren jedoch Überschneidungszonen der Indikationsstellung einer rein kieferorthopädischen Kompensation oder einer chirurgischen Intervention [28]. Die Indikation für eine kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Behandlung ist heute wesentlich erweitert durch den Fortschritt der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie an sich, durch spezielle Verfahren der stabilen Fixation osteotomierter Segmente sowie durch verbesserte diagnostische Hilfsmittel [110]. Auch Patienten, die durch chirurgische Verlagerungsosteotomien in ihrer prothetischen Situation verbessert werden (oder durch diese sogar erst prothesenfähig werden) zählen zur Indikationsgruppe der Dysgnathieoperationspatienten.

In aller Regel handelt es sich bei einer kieferorthopädischen Operation um einen Wahleingriff, es liegt also keine absolute, sondern eine relative Indikation vor [38,55]. Wichtig ist bei der Entscheidungsfindung für oder gegen eine Operation zudem, ob der Patient die Bereitschaft und Fähigkeit aufweist die aufwendige Behandlungsprozedur, welche mit einem dysgnathiechirurgischen Eingriff einhergeht, auf sich zu nehmen. Die Behandlungsplanung dysgnather erwachsener Patienten lässt sich grundlegend in zwei Ebenen teilen; auf der einen stehen die fachlichen Erfordernisse, auf der anderen steht der Patient als Person mit Wünschen, Bedürfnissen und Ängsten [110]. Insbesondere operative Behandlungsmaßnahmen, die das faciale Erscheinungsbild verändern sind mit einer Vielzahl von Hoffnungen, Befürchtungen und Unsicherheiten verknüpft, die sich auf das erwartete ästhetische Behandlungsergebnis, die subjektive Kosten-Nutzen-Relation der Behandlung und ihren sozialen Erfolg beziehen [108].

1.3.2 Die Motive des Dysgnathiepatienten

Die Patientenmotive lassen sich grob einteilen in Erwartungen bezüglich ästhetischen, kaufunktionellen und phonetischen Verbesserungen [38]. Es ist somit eine Einteilung in ästhetisch orientierte und medizinisch orientierte Patienten möglich [55].

Medizinische Motive für die Entscheidung zu einer Operation sind neben der Kaufunktion Kiefergelenks- und Sprachprobleme.

Psychoästhetische Aspekte spielen für die Motivation eine bedeutende Rolle [108]. Die Kommunikation mit dem sozialen Umfeld verläuft neben der Sprache ganz wesentlich über die Modulation des Gesichtsausdruckes [42]. Fehlbildungen des Gesichtes bergen daher neben funktionellen Aspekten auch die Gefahr einer ästhetisch vermittelten Beeinträchtigung der psychosozialen Befindlichkeit. Ästhetik und Schönheit spielen in der heutigen Gesellschaft eine große Rolle. Durch Medien propagierte Schönheitsideale haben einen hohen Stellenwert sowohl im privaten als auch im beruflichen Leben. Tiefenpsychologische Aspekte, wie beispielsweise das sich beobachtet oder benachteiligt fühlen, führen zu dem Wunsch der Verbesserung des eigenen Selbstbewusstseins durch eine Veränderung der Gesichtsästhetik [55].

Der zunehmenden Bedeutung des äußeren Erscheinungsbildes entsprechend, legen auch Menschen mit funktionellen Mängeln im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich immer häufiger nicht ausschließlich Wert auf die Behebung dieser Funktionseinschränkung, sondern auch auf eine Optimierung ihres ästhetischen Bildes. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass bei einem Großteil der Patienten, die sich zu einer Dysgnathieoperation bereit erklären, vor allem ästhetische Gründe ausschlaggebend waren [31,32,98] und der Aspekt der ästhetischen Verbesserung für Viele das tiefer liegende und auf längere Sicht stabilere Motiv zur Behandlung darstellte [38].

Ästhetische Weichteilprofile basieren auf harmonischen skelettalen Strukturen. Dieser Zusammenhang wurde schon 1958 von Burnstone beschrieben [16].

Die Verlagerung von skelettalen Bestandteilen bei der Dysgnathieoperation führt aufgrund dieser engen Beziehung zwischen Hart- und Weichgewebe zu teilweise starken Veränderungen des fazialen Erscheinungsbildes [108].

Da die Gesichtsästhetik große psychosoziale Bedeutung hat und sowohl die Wahrnehmung und Akzeptanz durch Andere als auch die eigene Persönlichkeitswahrnehmung beeinflusst, stellt die chirurgische Veränderung im Kopfbereich immer auch hohe psychologische Ansprüche an den Behandler.

Ziel der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie kann daher nicht nur ein funktionell optimales Ergebnis sein, sondern sie sollte ästhetische Aspekte mit einbeziehen.

Bei all diesen Betrachtungen darf jedoch nicht vergessen werden, dass eine verbesserte Ästhetik zwar offensichtlich ein wichtiges Motiv der Patienten ist sich bezüglich einer dysgnathiechirurgischen Operation beraten zu lassen, doch ist die Ästhetik allein keine Indikation zu einem chirurgischen Eingriff.

Die Aufgabe des Arztes ist es die Erwartungen gerade in Bezug auf die Ästhetik in angemessenen Grenzen zu halten, um postoperative Enttäuschungen zu verhindern. Der Therapeut bewegt sich in der Behandlung stets auf dem schmalen Grat zwischen Motivation des Patienten mit dem Verweis auf postoperative Verbesserungen und der Eingrenzung übertriebener ästhetischer Hoffnungen. Besondere Vorsicht ist bei einer auffallenden Diskrepanz zwischen den subjektiven Beschwerden und dem objektiven Befund der Ausgangssituation geboten [90]. Zudem sollte die auffällige Korrelation beachtet werden, dass ästhetisch orientierte Patienten mit dem Operationsergebnis deutlich weniger zufrieden sind als funktionell orientierte Patienten [72].

1.4 Das Konzept der Dysgnathietherapie an der ZMK Münster

Die erfolgreiche Behandlung skelettaler Kieferfehlstellungen und Kieferfehlbildungen mittels eines chirurgischen Eingriffes erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Kieferorthopäden, kieferorthopädisch tätigen Zahnärzten und Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen. Die interdisziplinäre Planung und Therapiekoordination wird als ein wesentlicher Bestandteil der Behandlung komplexer Dysgnathien betrachtet. Im Laufe der Behandlung müssen Diagnostik, Analyse und Therapie immer wieder neu, dem Fortschritt der Behandlung entsprechend, aufeinander abgestimmt werden. Am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Münster wurde diesbezüglich ein umfassendes Konzept hinsichtlich Diagnostik, Therapie und interdisziplinärer Kommunikation entwickelt.

1.4.1 Beratung und Betreuung der Patienten

Um eine gute Beratung und Betreuung der Patienten sowohl durch die kieferorthopädische als auch durch die kieferchirurgische Abteilung der Zahn-, Mund- und Kieferklinik Münster zu gewährleisten, wurde ein spezielles Sprechstundensystem aufgebaut.

Die Vorbehandlung wird in der Regel bei einem niedergelassenen Kieferorthopäden wohnortnah durchgeführt. Jedoch sind, beispielsweise zur Festlegung des definitiven operativen Konzepts und des richtigen Zeitpunkts für den Eingriff, regelmäßige Kontrollen in der ZMK Münster unabdingbar.

Die Behandlung dysgnather Patienten an der ZMK Münster ist nach folgender Systematik gegliedert:

1. Diagnostik und Erstplanungsphase

- Erstberatung
- Erstellen von diagnostischen Unterlagen
- Auswertung der Befunde und Unterlagen sowie Indikationsprüfung
- Planung des Behandlungskonzeptes

2. Vorbehandlungsphase

- Kieferorthopädische Vorbehandlung
- Direkte präoperative Diagnostik (Röntgen, Fotos, Modellherstellung, Gesichtsbogen)
- Direkte präoperative Planung (FRS-Auswertung und Durchzeichnung, Modell OP)
- Präoperative Vorbereitung (Splinterherstellung und Anprobe)

3. Operation mit stationärem Aufenthalt

4. Nachbehandlung

1.4.1.1 Erstberatungssprechstunde

Die Poliklinik für Mund-, Kiefer- Gesichtschirurgie bietet in Zusammenarbeit mit der Poliklinik für Kieferorthopädie eine so genannte „Dysgnathiesprechstunde“ an. Diese Sprechstunde dient grundsätzlich der Erstberatung von Patienten mit Dysgnathien und wahrscheinlicher operativer Behandlungsindikation. Zentrale Fragestellung ist: „Soll, kann und will der Patient behandelt werden?“.

Bereits bei der ersten Untersuchung in der ZMK Münster wird großen Wert gelegt auf die intensive interdisziplinäre Kommunikation zwischen Kieferorthopäden und Kieferchirurgen. Sie ist eine unerlässliche Grundlage der Behandlung. Ehmer bezeichnet sie als *Conditio sine qua non* [28].

Umfassende allgemeine und spezielle Anamneseerhebung, klinische Untersuchung und Diagnostik stehen im Mittelpunkt der ersten Sprechstunde. Viele Patienten bringen zu diesem ersten Beratungstermin bisherige diagnostische Behandlungsunterlagen (OPG, FRS, Modelle) mit. Sollten diese nicht vollständig vorhanden sein, so werden sie, nach klinischer Prüfung der Indikationsstellung, angefertigt.

Der Erfolg der Therapie hängt wesentlich davon ab, dass das Behandlungsziel vor Einleitung der kieferorthopädischen Vorbehandlung auf der Grundlage einer umfassenden Befunderhebung festgelegt wird [87]. Für die Planung einer komplexen orthognathen Operation ist eine präzise Diagnostik notwendig, die neben der klinischen Untersuchung besonders die Auswertung bildgebender Verfahren beinhaltet [95].

Zentrale Bedeutung findet in dem ersten Gespräch aber auch das „chief - complaint“ des Patienten. Für den Behandler ist es sehr wichtig diesen ausschlaggebenden Grund, welcher den Patienten dazu bewegte, sich bezüglich einer Dysgnathieoperation vorzustellen, zu kennen.

Bei den meisten Dysgnathiepatienten liegt keine absolute, sondern eine relative Indikation für die in der Regel belastende kombiniert kieferorthopädisch-chirurgische Therapie vor [38]. Bei elektiven Eingriffen sind

die Abklärung der Motivation des Patienten und die Sicherstellung der Compliance von zentraler Bedeutung.

Körperliche Leiden (oder „Missformen“) sind oft vergesellschaftet mit einem höheren oder geringeren Maß an „Leiden der Seele“. Wie bereits 300 vor Christus der griechische Komödiendichter Menander feststellte, ist „das Wort der Arzt des Leidens der Seele“. Ein intensives Beratungsgespräch hat demzufolge nicht nur eine informative, sondern auch eine psychologische Funktion. Es ist neben der qualitativ hochwertigen Versorgung das entscheidende Mittel, um Zufriedenheit bei dem Patienten zu wecken und ihn zur Mitarbeit zu motivieren [7].

Anhand von Modellen der Kiefer sowie von Röntgenaufnahmen oder anatomischen Demonstrationsschädeln wird daher in der Beratung versucht, dem Patienten die Fehlstellungen seiner Kiefer und ihre operative Korrektur zu verdeutlichen. Therapiemöglichkeiten werden erläutert, Alternativtherapien und die Risiken der chirurgischen Kieferorthopädie besprochen. Zudem erfolgt eine ausführliche Erklärung des gesamten Behandlungsablaufes. Denn nur, wenn der Patient über die Dauer und die Art der Vor-, Haupt- und Nachbehandlung eine konkrete Vorstellung hat, kann er sich individuell entscheiden, ob er bereit ist, diesen Weg zu gehen. Die letztendliche Wahl, ob die nach den Ergebnissen der Diagnostik als sinnvoll erachtete Operation durchgeführt wird, liegt in der Hand des Patienten. Die zu treffende Entscheidung ist für den Patienten als medizinischen Laien häufig sehr schwierig und bedarf ausführlicher Information und Aufklärung [55]. Zwischen der Beurteilung von Beratung und Aufklärung und der Zufriedenheit mit dem Therapieergebnis besteht eine positive Korrelation [3].

Oftmals ist auch die Einbeziehung weiterer Disziplinen für die Planung der präoperativen Therapie notwendig. Bei myofunktionellen Störungen wird beispielsweise eine logopädische oder physiotherapeutische Therapie vorgeschaltet, um Rezidive zu vermeiden. Oftmals ist auch primär eine prothetische Behandlung angezeigt, um die dentale Situation beispielsweise

provisorisch zu sanieren oder durch Aufbauprothesen Möglichkeiten der Fixation zu schaffen. Zur Reduzierung des perioperativen Komplikationsrisikos sind auch parodontale Erkrankungen vor Beginn der kieferorthopädischen Vorbehandlung zu therapieren.

Bei im Unterkiefer geplanten Operationen ist zu beachten, dass vorhandene Weisheitszähne, die eventuell im Osteotomiebereich liegen können und hier eine Infektionsquelle bedeuten, frühzeitig zu extrahieren sind, so dass eine gute knöcherne Konsolidierung der Extraktionsbereiche zum Zeitpunkt der Operation vorliegt.

Weiterhin ist besonders bei jugendlichen Patienten oder z.B. im Falle einer Hyperkondylie ein Wachstumsausschluß mittels einer Handröntgenaufnahme bzw. mittels eines Knochenszintigrammes notwendig.

1.4.1.2 Kieferorthopädische Vorbehandlung

Die präoperative kieferorthopädische Therapie und postoperative dentale Feineinstellung wird vielmals von niedergelassenen Kieferorthopäden durchgeführt. Auf Wunsch des Patienten kann diese Behandlung im Universitätsklinikum Münster erfolgen.

Ist der Entschluss des Patienten zu einer operativen orthognathen Chirurgie gefestigt, so kann mit der prächirurgischen kieferorthopädischen Therapie begonnen werden. Bei nahezu allen Patienten ist diese begleitende orthodontische Therapie indiziert [31]. Die Vorbehandlung umfasst in der Regel einen Zeitraum von 1-2 Jahren.

Das Ziel ist die Ausformung von Ober- und Unterkieferzahnbögen über ihren skelettalen Basen, so dass eine gesicherte Okklusion nach chirurgischer Einstellung in der gewünschten Kieferrelation gegeben ist. Eine dentale Feineinstellung der Zähne erfolgt erst postoperativ. Das Grundprinzip der präoperativen Dekompensation liegt darin, zu vermeiden, dass chirurgische und orthodontische Rezidive sich addieren.

Es ist bereits zu Beginn der kieferorthopädischen Behandlung die Entscheidung für oder gegen eine kombiniert kieferorthopädisch-chirurgische Behandlung zu treffen, da die notwendige kieferorthopädische Vorbehandlung für eine Dysgnathieoperation keineswegs mit einer Behandlung ohne chirurgischen Eingriff identisch ist. Eine beispielsweise bereits dentoalveolär durchgeführte Kompensation schränkt den chirurgisch möglichen Spielraum der Korrektur einer skelettalen Diskrepanz stark ein und macht in der Regel eine Operation unmöglich [28].

Bei der prächirurgischen Dekompensation kommt es in den meisten Fällen zu einer Verschlechterung der dentalen Stellungen, da okklusale Kompensationen aufgehoben werden und so die skelettalen Diskrepanzen deutlicher sichtbar werden. Um die Compliance nicht negativ zu beeinflussen ist es wichtig dem Patienten bereits vor Therapiebeginn diese „Verschlimmbesserung“ zu erklären. Eine konsequente Dekompensation ist wichtig um Bewegungsspielräume für die modellsimulierte Operation und den folgenden chirurgischen Eingriff zu schaffen.

1.4.1.3 Verlaufssprechstunde

Die Verlaufssprechstunde dient der Betreuung von Patienten, die bereits kieferorthopädisch vorbehandelt werden. Ist das Vorbehandlungsziel nach Einschätzung des behandelnden Kieferorthopäden erreicht, so erfolgt in dieser Sprechstunde eine interdisziplinäre Prüfung anhand von aktuellen Modellen und aktuellen Röntgenaufnahmen. Je nach Beurteilung des Zwischenbefundes kann eine Fortführung der kieferorthopädischen Vorbehandlung notwendig sein, so dass sich der Patient zu einem späteren Zeitpunkt erneut hier vorstellen muss. Bei erreichtem Behandlungsziel werden die endgültige chirurgische Therapie und der Operationszeitpunkt festgelegt sowie die für die Operation notwendigen Vorbereitungen und Terminabsprachen getroffen.

Besonderen Wert wird in dieser Sprechstunde auf möglicherweise noch ungeklärte Fragen des Patienten bezüglich des Ablaufes des stationären Aufenthaltes, der Operation und des postoperativen Verlaufes gelegt.

Bei geplanten operativen Eingriffen im Oberkiefer wird die vorherige Möglichkeit der Eigenblutspende erläutert, welche im Falle eines intraoperativen Blutverlustes als Erythrozytenplasma refundiert werden kann.

Bei mandibulärer Retrognathie und geplanter Unterkiefervorverlagerung erfolgt zudem eine spezielle klinische Simulation. Der Kopf wird hierbei in Dorsalflexion überstreckt. Ist es dem Patienten in dieser Lage nicht möglich die Frontzahnschneidekanten auf Kopfbiss zu bringen und dort zu halten, ist die Indikation für einen bimaxillären Eingriff gegeben.

1.4.1.4 Operationsplanung

Die direkte präoperative Diagnostik wird zu einem Zeitpunkt von ca. 7 - 10 Tagen vor der geplanten Operation durchgeführt.

Zu den Standardunterlagen der präoperativen Vorbereitung gehören:

- Modelle
- Zentrikbissnahme
- Arbiträrer Transferbogen
- klinische Simulationsmöglichkeiten
- Weichteilanalyse
- OPG
- FRS
- Fotos (en face, Profil)

Im Falle von beispielsweise Asymmetrien oder komplexen kraniofazialen Fehlbildungen können erweiterte diagnostische Unterlagen angefertigt werden:

- individuelle Scharnierachsbestimmung
- Szintigraphie
- FRF
- CT
- MRT
- Schichtaufnahme des Kiefergelenks / Rundström IV-Aufnahme

Erneut genommene Abdrücke dienen der Herstellung von Modellen für eine dreidimensionale Operationssimulation. Zur speziellen Planung des operativen Eingriffes erfolgt hierbei eine kombinierte zweidimensionale Auswertung der Fernröntgenseitenbilder, der Weichteilanalyse und der Fotos mit einer dreidimensionalen Modelloperation nach dem KDMMS-System.

a) 2-dimensionale Planung: Münsteraner-Markierungs-Linien-System

Um eine Simulation der Operation durchzuführen, wird eine spezielle Durchzeichnung der FRS-Aufnahme angefertigt. Grundlage des Münsteraner AO-MLS (Achsen-Orbital-Ebene orientiertes Markierungslinien System) ist ein von Dr. Thomas Röhr in Münster entwickeltes Konzept.

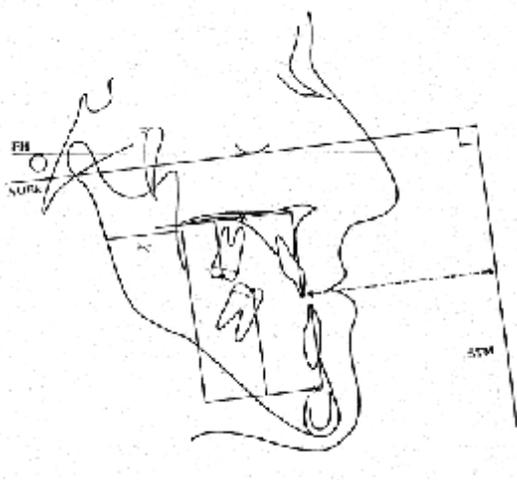


Abbildung 1: Münsteraner Achsen-Orbital-Ebene orientiertes Markierungslinien System

Orientierend an der Achs-Orbital-Ebene werden auf Acetatfolie im Ober- und im Unterkiefer spezielle Ebenen eingezeichnet (ML1-8), welche die ungefähren geplanten Osteotomieebenen darstellen.

Auf zwei neuen Acetatfolien werden jeweils spezielle Strukturen von Maxilla und Mandibula sowie die acht Ebenen durchgezeichnet. Durch Verschiebung der einzelnen Folien per Hand sind dann Simulationen der operativen Verschiebung der Knochensegmente möglich. Eine weitere Acetatfolie dient der Simulation der Weichteilveränderung. Man spricht von einem chirurgisch visualisierten Therapieziel (cVTZ) [29].

b) 3-dimensionale Modelloperation mittels KDMMS-System

Bei dem KDMMS System (kalibriertes Doppelsockelverfahren) erfolgt eine Simulation der Operation anhand von einartikulierten Modellen. Hierzu werden die Patientenmodelle mittels eines Gesichtsbogens schädelbezüglich einartikuliert. Anstelle normaler Montageplatten werden hierbei jedoch spezielle Sockelplatten verwendet. In einem speziellen Übertragungsstand werden dann mittels einer Meßwertübertragungslehre die zuvor im Rahmen der 2-dimensionalen OP-Planung ermittelten ungefähren Osteotomieebenen sowie spezielle Referenzlinien auf Modellen und Sockeln eingezeichnet. Durch dieses Verfahren werden kompatible Messungen von Verschiebungen der Kiefer im Artikulator und auf der Durchzeichnung des Fernröntgenseitenbildes möglich.

Die Modelle werden aus dem Artikulator genommen und nun per Hand in die postoperativ gewünschte Position zueinander gebracht. Diese Position wird fixiert und es erfolgt eine neue Einartikulierung des zu operierenden Kiefers. Wichtig ist hierzu, dass bereits vor dieser Modelloperation geplant ist in welchem Kiefer eine Operation erfolgen soll oder ob es sich um einen bimaxillären Eingriff handelt.

Im neu einartikulierten Kiefer lassen sich die auf dem Modell bereits eingezeichneten Referenzlinien dann in neuer Position auf den Basissockel übertragen. Durch Differenzmessungen der Markierungslinien auf dem

Basissockel vor und nach der Simulationsoperation werden numerische Werte der Bewegungen der ossären Segmente messbar. Der neu angefertigte dreidimensionale OP- Sockel des zu operierenden Kiefers beinhaltet die Informationen der Ausmaße der Knochenverschiebungen, die in der Operation erfolgen sollen.

Diese simulierte Operation ermöglicht die Klarstellung, ob eine geplante Operation technisch durchführbar ist. Überschreiten die Werte der Verlagerung eines Kiefers bestimmte Normgrenzen, so muss ein operativer Eingriff in beiden Kiefern in Betracht gezogen werden. Bei der Planung eines bimaxillären Eingriffes werden sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer neue OP-Sockel erstellt, die als Informationsträger für die operative Verschiebung des jeweiligen Kiefers dienen. Die gemessenen Werte der simulierten Operation werden auf einem speziellen Formblatt festgehalten. Dieses OP-Protokoll der Modelloperation ist Grundlage der folgenden orthognathen Chirurgie.

Um während der Operation eine Positionierung der Kiefer zueinander zu ermöglichen, werden in den neu zugeordneten Kieferpositionen so genannte Splinte angefertigt. Bei bimaxillären Operationen müssen zwei Splinte hergestellt werden, mittels denen zunächst die Ausrichtung des Oberkiefers in alter Unterkieferposition und dann die Ausrichtung des Unterkiefers an die neue OK-Position möglich wird.



Abbildung 2: Die dreidimensionale Modelloperation

1.5 Die kraniofaziale Analyse nach Delaire

1.5.1 Theoretisches Grundgerüst der Analyse

Es gibt heute eine große Anzahl kephalometrischer Analysemethoden. Die von Jean Delaire entwickelte Methode nährt sich dieser Aufgabe aus einem ganz speziellen Blickwinkel. Delaire entwickelte seine Analyse aus anatomischen Studien, bei denen er verschiedenste morphologische Gleichgewichtsverhältnisse zwischen den einzelnen skelettalen Strukturen des Schädels und des Halses entdeckte.

Das Grundprinzip der Ausformung der unterschiedlichen knöchernen Strukturen sieht er in der gegenseitigen Beeinflussung von Weich- und Hartgeweben. Als Fundament seiner Theorie beschreibt er die Bedeutung des Gewichtes des Viszerokraniums, welches an der vorderen Schädelbasis „aufgehängt“ ist und durch den Tonus der Nackenmuskulatur ausgeglichen wird. Die Aktivität dieser Muskulatur überträgt sich seinen Ausführungen nach auf das Innere des Schädels mittels der falx cerebri, der falx cerebelli und des tentorium cerebellis [19]. Diese aponeurotischen Faserzüge sind untereinander und mit den knöchernen Strukturen der Schädelbasis und der Schädelkalotte verbunden und führen zu einer Formung der knöchernen Strukturen.

Jean Delaire unterteilt das im Inneren des Schädels angesiedelte fibroaponeurotische System, welches unter der Spannung von Schädeldecke und Schädelbasis steht in:

Ø **das horizontale System,**

bestehend aus dem tentorium cerebelli (bezeichnet dies als den „Spanner der Schädelbasis“) und

Ø **das transversale System,**

welches sich aus Falx cerebri und Falx cerebelli zusammensetzt (von ihm als „Spanner des Schädeldaches“ benannt).

Er beschreibt, dass diese beiden Systeme sich gegenseitig beeinflussen und aufrechtgehalten werden durch den permanenten Spannungszustand der hinteren und seitlichen Halsmuskulatur. Ein Kernpunkt der von Delaire entwickelten Theorie liegt in den über die Schädelsepten weitergeleiteten Kräften auf die Knochen, wodurch die Form der ossären Strukturen beeinflusst wird. Nur durch das Verständnis dieses Grundprinzips wird die von Jean Delaire beschriebene Analyse von ihrer Intension her verständlich.

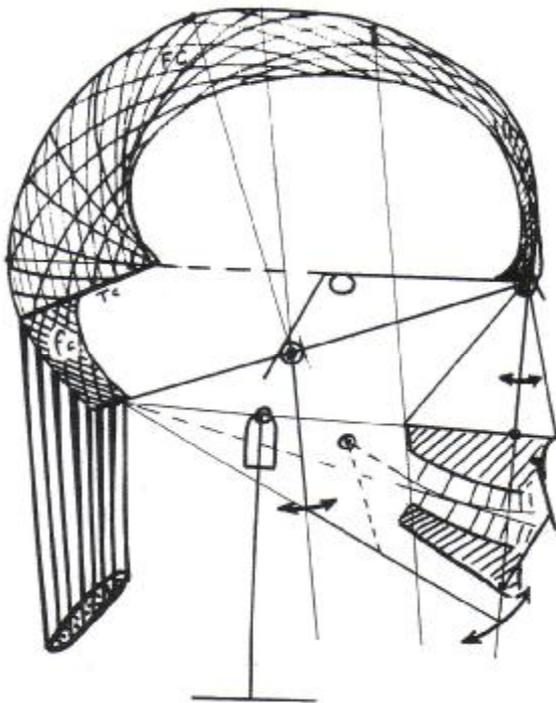


Abbildung 3: Schema des kraniofazialen und cervicalen Gleichgewichts. (Delaire 1978) [21]

Mit dem Wissen, dass in der embryonalen Entwicklung die Ausbildung der Nackenmuskulatur und der Schädeltrennwände der Bildung von primären Ossifikationszentren des Schädel skeletts vorangeht und diese somit starken Einfluss auf die Morphogenese des knöchernen Schädels und konsequent betrachtet auch des Gesichtes haben, wird das von Delaire Beschriebene nachvollziehbar. Die morphogenetischen Ausprägungen von Gesicht und Schädel sind stark angelehnt an die kraniofaziale Statik. Anatomie und Physiologie imponieren in gegenseitiger Beeinflussung.

J. Delaire geht folglich davon aus, dass sich bereits während des Wachstums die Schädelstrukturen in einer Balance entwickeln. Seine „architektonische und strukturelle Analyse basiert auf der gegenseitigen Balance der knöchernen Strukturen des Kraniums und des Gesichtes“ [19]. Nach Jean Delaires Auffassung entwickeln, wachsen und organisieren sich alle kephalometrischen Strukturen, sowohl harte (Skelett) als auch weiche (z.B. viszerale, wie Gehirn und Muskeln) in einem wechselseitigen Gleichgewicht. Das gesamte kraniofaziale Skelett spiegelt somit die Einflüsse der angrenzenden Strukturen und der funktionellen Konditionen dieser wieder.

Delaire entwickelte eine kephalometrische Analysemethode, die ein aufeinander aufbauendes Streckenmodell darstellt und versuchte durch dieses die Gleichgewichtsverhältnisse der skelettalen Strukturen zu beschreiben.

Er betrachtete seine Analyse als eine Zusammenfassung und Weiterentwicklung von verschiedenen kephalometrischen Analyseformen, die bis zu diesem Zeitpunkt in der Kieferorthopädie bekannt waren. Die von ihm beschriebenen Linien und Punkte tauchen in Analysen verschiedenster Autoren auf. Der Punkt M beispielsweise entstammt der Analyse von Enlow 1969. Andere Punkte (z.B. FM, CLP und BR) wurden erstmals mit der Analyse von Delaire beschrieben [41].

Die Delaire-Analyse gliedert sich grob in zwei Abschnitte.

Ø Zunächst erfolgt eine **kraniale Analyse**.

Die hierbei einzuzeichnenden Strecken erhalten angelehnt an das französische Wort „crane“ = „Schädel“ die Bezeichnungen **C1- C4**.

Ø Es schließt sich eine **faziale Analyse** an, die das Gesicht in Bezug zum Schädel und zum kraniospinalen Gelenk betrachtet. Die einzelnen Strecken werden nach den französischen Worten für Schädel „crane“ und Gesicht „face“ mit **CF1- CF8** benannt.

Der Schädel wird über verschiedene Winkel und Strecken individuell vermessen. Delaire setzt in seiner Analyse die definierten Messwerte zueinander in Relation und sieht das Ideal in der „Balance“ dieser. Ausschlaggebend sind die prozentuale Relation der Schädelstrukturen zueinander und nicht ihre einzelnen numerischen Werte. Für jeden Schädel wird durch die Delaire-Analyse so eine eigene, funktionell und ästhetisch optimale Balance der kraniofazialen Skelettstrukturen entwickelt. Jean Delaire vermeidet bewusst die Benennung von Mittelwerten.

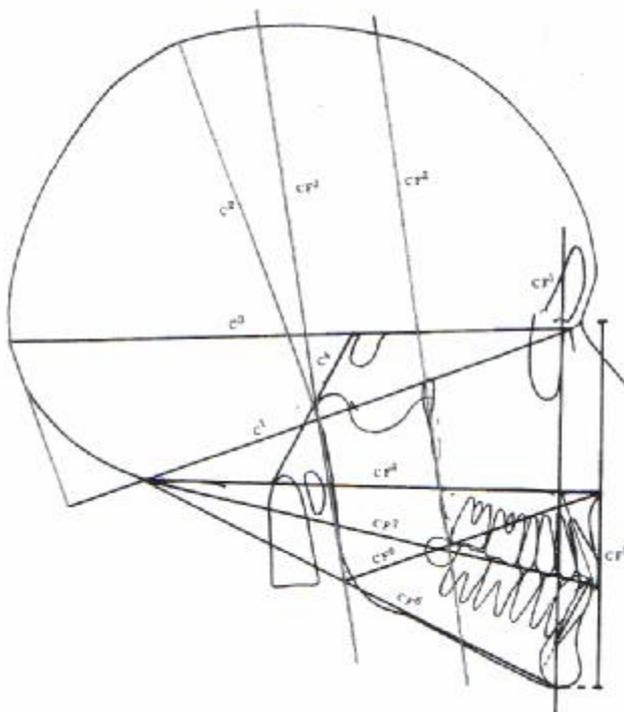


Abbildung 4: Beispiel der kraniofazialen Analyse bei einem Patienten mit ausgeglichenen Schädelstrukturen. (Delaire 1978) [21]

Die Bedeutung dieser Analyse liegt somit in der Vermeidung von statistischen Durchschnittswerten, vielmehr beruht sie auf den individuellen Proportionen, die durch die speziellen Charakterzüge eines jeden Skelettes beeinflusst werden. Die Analyse vermisst den Schädel nicht nur, sondern es werden die Verhältnisse von Winkeln und Strecken bestimmt. Delaires Methode orientiert

sich somit ausschließlich an den morphologischen Gegebenheiten eines jeden individuellen Patienten.

Die Analyse setzt auch die Dentition in den Schädelkontext und macht es so möglich, spezielle pathologische Faktoren von dentofazialen Missbildungen darzustellen.

Eine weitere Besonderheit der architektonischen und strukturellen kraniofazialen Analyse liegt in der Berücksichtigung der Gesamtheit aller skelettalen Strukturen des Schädels. Im Gegensatz zu vielen anderen Analysen ist für diese Analyse ein Fernröntgenseitenbild des gesamten Schädels notwendig. Da einer der Grundsätze der Vermessungsmethode nach Delaire in der Annahme des Gleichgewichtes aller schädelbezüglichen Strukturen liegt wird verständlich, dass die alleinige faziale Einblendung nicht ausreichend ist für die Konstruktion aller von Jean Delaire definierten Punkte und Linien. Nur in der Gesamtheit der skelettalen Strukturen von Schädel und Gesicht können dysmorphe Strukturen aufgefunden werden [21].

Die Vorteile dieser Ganzschädelanalyse kommen besonders bei syndromal veränderten Schädeln zum Vorschein. Da bei Patienten mit Syndromen oftmals keine morphologisch „normwertigen“ Strukturen gefunden werden können und die bisherigen Analyseformen folglich als Aussage eine chirurgische Intervention in allen skelettalen Strukturen präsentieren, ist eine Analyse nach den herkömmlichen Auswertungsverfahren oftmals schwierig [19]. Durch die Analyse nach Delaire wird es jedoch möglich ein ausgeglichenes Gesicht des Patienten im Rahmen seiner speziellen architektonischen skelettalen Einzigartigkeit zu entwerfen. Das physiologische Gleichgewicht eines jeden individuellen (auch syndromal veränderten) Schädels lässt sich so beschreiben und eine spezielle Therapie planen.

1.5.2 Patientenfallbeispiel einer Schädelanalyse von Jean Delaire

Zur Verdeutlichung des von Delaire angedachten Konzeptes der kraniofazialen Analyse wird im Folgenden ein übersetzter Patientenfall aus der Originalliteratur vorgestellt.

Ø Graphische Darstellung der Analyse

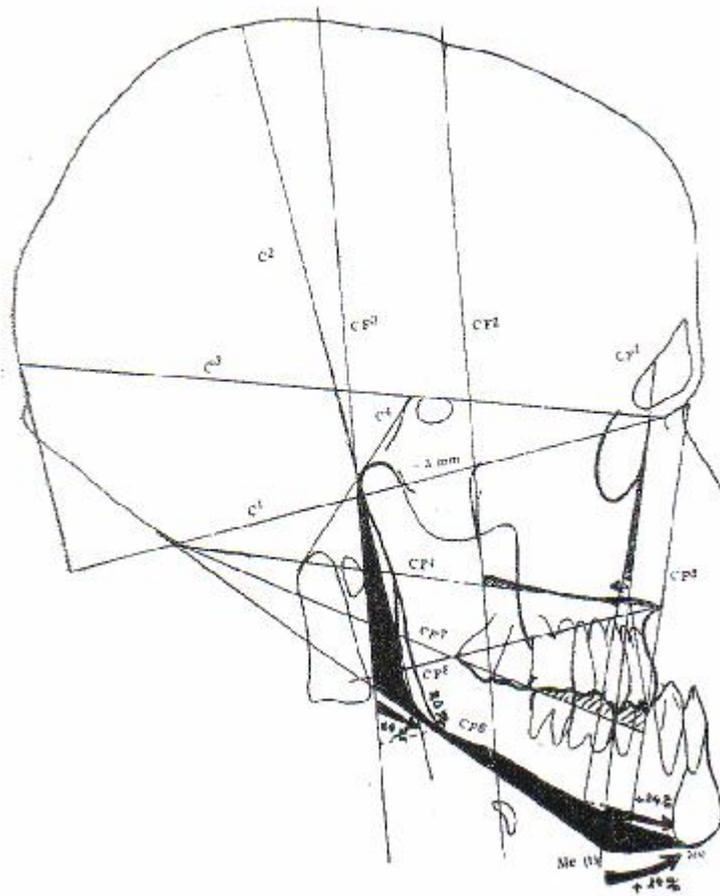


Abbildung 5: Patient „Henri (25 Jahre)“, Patientenbeispiel von Jean Delaire [21]

Ø Patientenfallbesprechung

- C1 ist proportional zur Schädelhöhe verkürzt (C2 = 83% von C1)
Das kraniofaziale und das kraniospinale Feld sind gleich lang, aber das mandibuläre Feld ist um 3mm verkürzt.*
- C2 trifft gut den Schädelgipfel, ist jedoch ein wenig zu lang in Bezug zu C1*
- CF1 passiert vor NPC und dem Hypomochlion des oberen 3ers (Posteriorkippung des vorderen maxillären Pfeilers)
passiert stark hinter dem Apex der unteren 1ers, und dem knöchernen Mentalpunkt = starke mandibuläre Prognathie.*
- CF2 passiert nahe des vorderen Randes des aufsteigenden Astes, nahe dem Kieferwinkel, dies verdeutlicht die Stärke der Prognathie.*
- CF3 zeigt die starke nach vorn geneigte Kippung des posterioren Mandibularpfeilers*
- CF4 gut anliegend an den Referenzpunkten. Zeigt aber den leichten Anstieg der hinteren Partie des knöchernen Gaumens.*
- CF5 der theoretische knöcherne Mentalpunkt ME(t) ist unter und stark hinter dem tatsächlichen (ME) (24 mm). CF5 zeigt außerdem, dass die obere Ausdehnung dieser Linie sehr nahe an Nasion liegt, was eine leichte maxilläre Retrognathie anzeigt.*
- CF6 passiert unter dem Mandibulawinkel und dem unteren Rand der Mandibula, zeigt die nach vorn Kippung des aufsteigenden Astes und die Anhebung der vorderen Partie des Korpus mandibulae.*
- CF7 passiert unter dem Okklusplanum der Prämolaren = Intrusion der ersten Molaren und der oberen Prämolaren und im Gegensatz leichte Extrusion des oberen zweiten Molaren.*
- CF8 passiert stark oberhalb des Mandibularwinkels und ist Ausdruck des verlängerten aufsteigenden Astes der Mandibula. Diese basiert auf der extremen Verlängerung des Collum mandibulae.*
- Resultat: Sehr starke mandibuläre Prognathie mit einer Verlängerung des aufsteigenden Astes. Leichte maxilläre Retrognathie.*

An dieser Übersetzung der Originalarbeit aus dem Jahre 1978 wird die Systematik der Analyse von Delaire deutlich. Er vergleicht die eingezeichneten Stecken mit den von ihm definierten Normverhältnissen.

Diese Beschreibungen (beispielsweise „liegt stark vor“ oder „passiert oberhalb“) mussten zunächst in numerisch messbare Formen umgearbeitet werden, um eine computergestützte Analyseform möglich zu machen. Hieraus entstand die Notwendigkeit für die in dieser Arbeit entwickelte Auswertungsform noch einige zusätzliche Hilfsstrecken zur Vermessung der Originalanalyse hinzuzufügen. Durch diese lassen sich dann Ausdrücke wie „stark“ oder „leicht“ numerisch ausdrücken.

1.6 Darstellung der Punkte der Delaire-Analyse

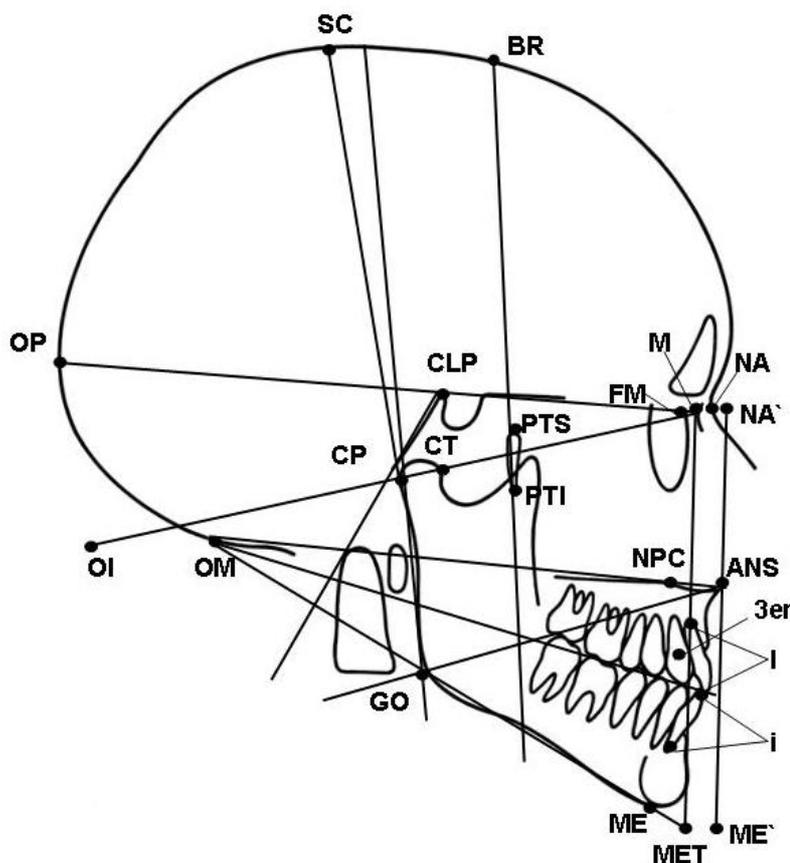


Abbildung 6: Darstellung der Punkte der Delaire-Analyse

1.7 Darstellung der Strecken der Delaire-Analyse

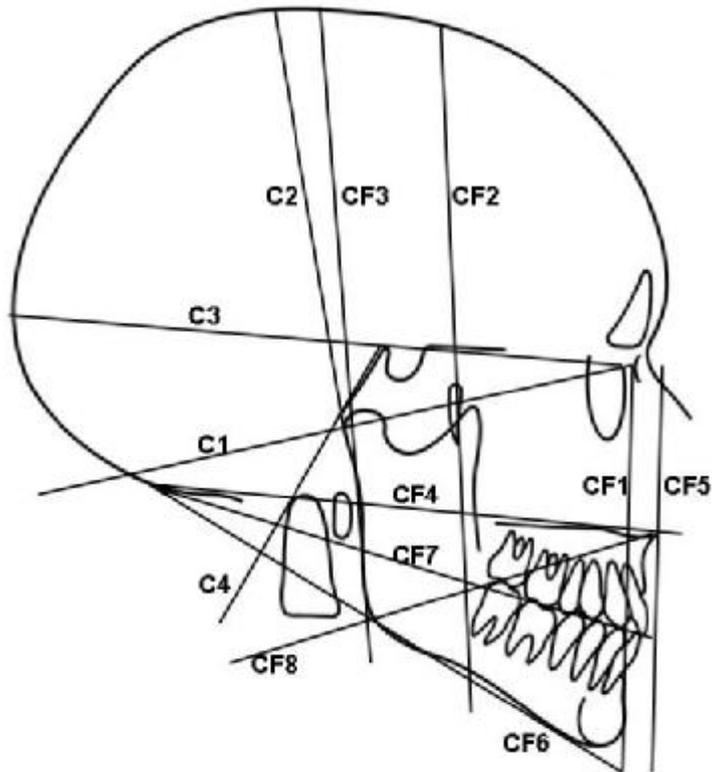


Abbildung 7: Darstellung der Strecken der Delaire-Analyse

2 Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es einen Überblick über die kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie an dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Münster zu geben und für die Planung dieser Behandlungen eine weitere Alternative zu entwickeln.

Ein grundlegendes diagnostisches Hilfsmittel in der Dysgnathiechirurgie ist die Analyse von Fernröntgenbildern. Jean Delaire publizierte 1978 ein spezielles Auswertungsverfahren für FRS-Aufnahmen. Dieses Analyseverfahren stellt die Grundlage der vorliegenden Auswertung dar.

Die Aufgabe dieser Arbeit bestand aus drei Teilen:

I. Erstellung einer grundlegenden Analyseform

Zunächst sollte auf Basis der französischen Originalliteratur von Jean Delaire eine Analyse entworfen werden, die einen Einsatz in der täglichen Praxis gewährleistet. Die Hauptaussagen der Analyse sollten zu einem leicht durchführbaren Auswertungsverfahren zusammengefasst werden, an dessen Ende eine aussagekräftige Diagnose steht. Es sollte ein Handout erstellt werden, anhand dessen auch ungeübte Personen eine manuelle Auswertung eines FRS-Bildes nach der Delaire-Methode durchführen können.

II. Entwicklung einer computergestützten Analyseform

Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung und der hiermit immer häufiger werdenden digitalen Fernröntgenseitenbilder war eine weitere Zielsetzung dieser Promotionsarbeit die Schaffung der Möglichkeit die neu entwickelte Analyseform auch computergestützt durchführen zu können. In enger Zusammenarbeit mit einem Informatiker sollte eine computergestützte Analyseform entwickelt werden.

III. Überprüfung der klinischen Anwendbarkeit

Die klinische Anwendbarkeit der manuell durchgeführten Delaire-Analyse sowie der computergestützten Analyse sollte dann anhand von 10 FRS-Bildern getestet werden.

Die Absicherung der Funktionsweise der computergestützten Analyse erfolgte in einem intraindividuellen Vergleich. Die ausgewählten Fernröntgenbilder wurden zunächst manuell und dann in einem Abstand von 2 Wochen mittels des entwickelten Computeranalyseverfahrens ausgewertet, um einen Vergleich der Ergebnisse beider Analysen möglich zu machen.

3 Material und Methode

3.1 Erstellung der grundlegenden Analyseform

Die der hier entwickelten Analyse zugrunde liegende Literatur ist der von Jean Delaire publizierte Artikel:

„ L´ analyse architecturale et structurale cranio-faciale (de profil): Principe´s théoriques. Quelques exemples d´emploi en chirurgie maxillo-faciale”. [21].

Des Weiteren beschrieb Delaire seine Analyse in den Texten:

„An architectural and structural craniofacial analysis: a new lateral cephalometric analysis” [19],

„Apport de l´ analyse architecturale cranio-faciale dans la chirurgie mandibulaire précoce (à l´ âge orthodontie)” [20] und

„Vers une analyse téléradiographique architecturale et structurale de la face” [23].

Diese Veröffentlichungen wurden zunächst übersetzt und dann in einer überarbeiteten Analyseform zusammengefasst. Hieraus erfolgte die Entwicklung eines Handouts, anhand dessen die Delaire-Analyse Schritt für Schritt durchgeführt werden kann. Hierin wurde bei der Reihenfolge und Beschreibung der Einzeichnung der einzelnen Analysepunkte besonders Wert darauf gelegt, dass die Analyse auch von Personen ohne große Vorkenntnisse durchführbar ist. Es wurde eine Analyseform gewählt, in der abweichend zu vielen anderen Methoden nicht zunächst alle Punkte markiert und im Nachhinein die Einzeichnung der einzelnen Strecken erfolgt, sondern bei der entstehende Linien sofort gezeichnet werden.

Durch diese Methodik lässt sich auf der einen Seite die Analyse logisch leichter erschließen und auf der anderen wird es möglich die Vielzahl der von Delaire beschriebenen konstruierten Punkte sofort mit einzubeziehen.

3.2 Entwicklung der computergestützten Analyseform

Auf Basis des entworfenen manuell durchführbaren Analysesystems wurde dann eine computergestützte Analyseform entwickelt. Diese sollte es ermöglichen sowohl direkt digital erstellte als auch nachträglich durch Einscannen digitalisierte Fernröntgenbilder zu analysieren.

Die computergestützte Analyse basiert auf dem Programm ImageJ. ImageJ ist eine in Java implementierte Programmumgebung für die digitale Bildverarbeitung, entwickelt am U.S. National Institute of Health (NIH).

Ein großer Vorteil dieses interaktiven Bildverarbeitungspaketes ist die relativ unkomplizierte Realisierung eigener Funktionalitäten in Form von Plugins. Ein „Plugin“ ist eine Erweiterung der ImageJ-Funktionen. Diese ist hier in Form der Delaire-Analyse geschehen.

ImageJ kann mit den Betriebssystemen Linux, Max OS 9, Mac OS X und Windows verwendet werden.

ImageJ ist das zurzeit schnellste Java Bildbearbeitungsprogramm. Es kann ein 2048 x 2048 gepixeltes Bild in 0.1 Sekunden öffnen, dies entspricht 40 Millionen Pixeln pro Sekunde.

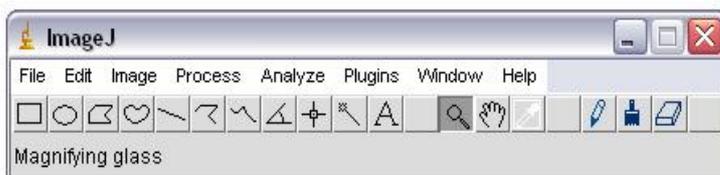


Abbildung 8: ImageJ- Icon

3.3 Überprüfung der klinischen Anwendbarkeit

3.3.1 Das Patientengut

Um die korrekte Arbeitsweise der entwickelten computergestützten Analyse zu überprüfen wurde ein Vergleich durchgeführt. Bei diesem kam es zur Gegenüberstellung der Auswertungsergebnisse von zunächst manuell durchgezeichneten und später mittels des Programms analysierten FRS-Bildern. Der Vergleich der jeweils gefundenen Werte sollte die fehlerfreie Anwendbarkeit der computergestützten Auswertung belegen und eventuelle Berechnungsfehler oder andere Defizite aufdecken.

Da es in dieser Arbeit nicht um den Vergleich der Therapie bzw. der operativen Ergebnisse von Dysgnathieoperationen geht sondern nur die Anwendbarkeit der Delaire-Analyse und des entwickelten computergestützten Programms untersucht werden sollte, wurden keine komplexen Anforderungen an das Patientengut gestellt.

Es wurden Fernröntgenbilder von Patienten, die sich an der Zahn-, Mund- und Kieferklinik Münster einer Dysgnathieoperation unterzogen haben, ausgewertet.

Aus den über 1000 bis zum Zeitpunkt dieser Untersuchung an der ZMK Münster durchgeführten Operationen wurden 10 Patienten zufällig ausgewählt. Das einzige spezielle Selektionskriterium für die Auswahl war das Vorliegen einer den gesamten Schädel umfassenden großen Fernröntgen-seitenaufnahme. Alle Röntgenfilme weisen daher eine Größe von 24 x 30 cm im Hochformat (oder bei besonderen Schädelformen auch im Querformat) auf, so dass alle für die Delaire-Analyse notwendigen Schädelstrukturen abgelichtet sind.

Die Art und das Ausmaß der Dysgnathie sowie die später erfolgte Therapie waren für die Fragestellung ohne Bedeutung.

Es gab bei der Auswahl der Patienten keinerlei Beschränkungen bezüglich des Geschlechts oder des Alters.

Es wurden 5 weibliche und 5 männliche Patienten untersucht.

Die Röntgenbilder wurden in dem Zeitraum zwischen dem 15.01.1996 und dem 23.10.2000 in der ZMK Münster angefertigt.

Tabelle 1: Patientendaten (Geburtsdatum, Datum des FRS)

Patient	Geburtsdatum	Datum des FRS-Bildes
1	27.06.1979	20.12.1999
2	21.03.1972	25.01.1999
3	29.03.1978	29.10.1996
4	25.12.1975	15.01.1996
5	21.04.1961	08.03.1999
6	21.08.1959	23.10.2000
7	21.03.1969	17.03.1999
8	22.07.1980	03.07.2000
9	31.12.1972	28.09.1995
10	22.07.1974	11.08.1997

3.3.2 Die ausgewählten Fernröntgenseitenaufnahmen

Um Schwachstellen des Programms bzw. Schwierigkeiten bei der Analyse aufzudecken, wurde Wert gelegt auf keine spezielle Selektierung der Röntgenbilder. Es wurden beispielsweise keine Röntgenaufnahmen vorher aussortiert, die eine unscharfe Zeichnung oder ungünstige Belichtung aufwiesen.

Zur Auswertung wurden jedoch ausschließlich Röntgenbilder verwendet, die am Institut für zahnärztliche Röntgenologie der ZMK Münster angefertigt wurden. Die Röntgenaufnahmen wurden daher alle mit der gleichen Röntgenanlage durchgeführt. Die Anlage besteht aus einer Drehanodenröhre der Marke Siemens (München, Deutschland) mit einem Aluminiumfilter und einem Kephelostat. Der Fokus-/ Film- Abstand betrug 3,5 Meter, die Beschleunigungsspannung 77 kV und die Leistung 16-25 mAs. Es wurde ein Film der Marke Kodac Tmat DG plus, Folie Kodak Lanex Regular mit einer Empfindlichkeit von 400 verwendet. Um eine Reduktion der Strahlendosis zu gewährleisten, wurden Verstärkerfolien verwendet.

3.3.3 Die Digitalisierung

Die Röntgenbilder wurden mittels eines Scanners der Marke Lumniscan 150 der Firma Lumnisis (St. Francisco, USA), welcher vom Institut für klinische Radiologie der Universitätsklinik Münster zur Verfügung gestellt wurde, eingescannt.

Die Einstellparameter umfassen hier 16 bit Datentiefe und eine Ortsauflösung von 2048x1521 Pixeln. Um eine nicht zu hohe Speicherkapazität in Anspruch zu nehmen, erfolgte mittels des Programms Adope Photoshop 7.0 zunächst eine Umstellung der Bildgröße auf 8 bit, so dass eine Speichergröße von ca. 2,2 MB pro FRS benötigt wurde.

3.3.4 Die kephalometrische Auswertung

Um den Wiedererkennungseffekt der Röntgenbilder zu minimieren, wurden die patientenspezifischen Informationen (Name, Geburtsdatum, Aufnahmedatum) verdeckt. Es wurde jeder Röntgenaufnahme eine zufällige Codenummer zugeteilt, welche vor der zweiten Auswertung mittels der computergestützten Analyse verändert wurde.

Mithilfe von Klebestreifen wurden auf den Röntgenbildern transparente Acetatfolien befestigt. Die Auswertung erfolgte anhand einer Kopie des in dieser Arbeit entwickelten Handouts der Delaire-Analyse (hier zu finden ab Seite 51).

Gemäß den Definitionen wurden die Messpunkte und Strecken mittels eines Druckbleistifts (Härte HB, 0,25 mm) eingezeichnet. Die Durchzeichnungen fanden in einem abgedunkelten Raum statt.

Es erfolgte dann die Auswertung der Durchzeichnung mittels des entwickelten Auswertungsbogens (hier zu finden ab Seite 73).

Nach einem zeitlichen Abstand von 2 Wochen wurde die Auswertung der FRS-Bilder mittels des entwickelten Computerprogramms vorgenommen.

Um die Fehlerquelle der interindividuellen Reproduzierbarkeit auszuschließen, wurden alle Röntgenbildanalysen von einer Person durchgeführt.

Nach Abschluss der computergestützten Analyse wurden die Code-Nummer, das Ergebnisformular sowie das Analysebild abgespeichert.

4 Ergebnisse

4.1 Das Handout zur manuellen Auswertung

Im Folgenden wird das entwickelte Handout vorgestellt. Dabei wird Schritt für Schritt die Schädelanalyse beschrieben.

Zur Auswertung eines Fernröntgenseitenbildes werden benötigt:

- *Acetatfolie*
- *Klebestreifen zur Befestigung der Folie*
- *Geodreieck (am besten ein großes),*
- *Taschenrechner*
- *Druckbleistift*

In den aufeinander aufbauenden **Schritten 1. -13.** werden jeweils zunächst *anatomische Punkte* erklärt, die zur Konstruktion verschiedener Strecken dienen.

à schädelbezügliche Strecken („craniale“) C1-C4

à schädel-gesichtsbezügliche Strecken („cranio-faziale“) CF1-CF8

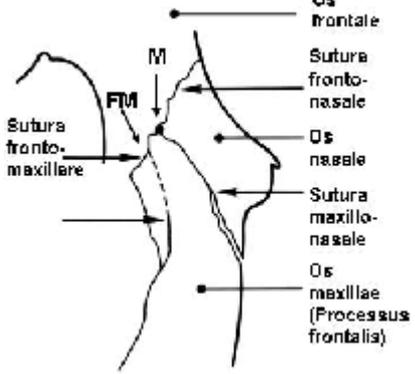
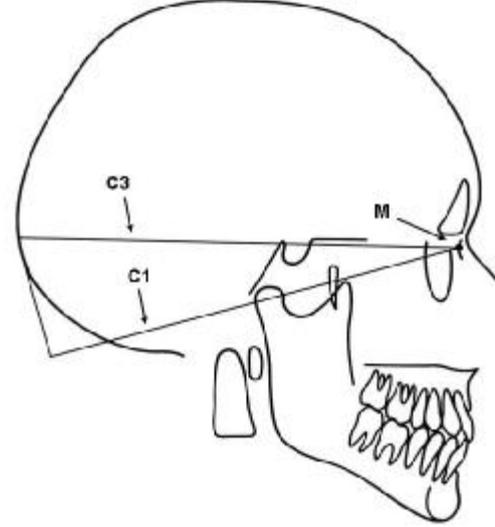
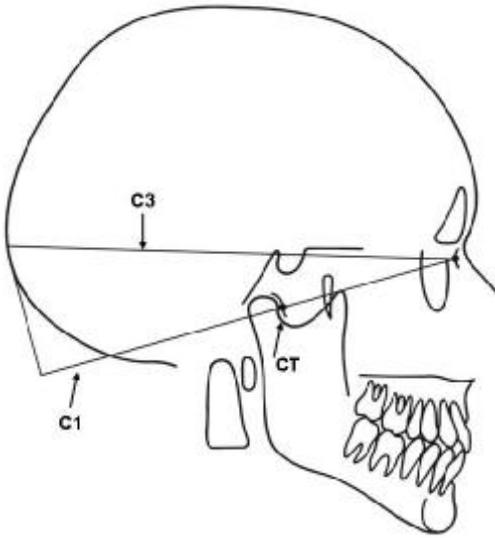
Diese Strecken lassen an definierten Stellen so genannte *konstruierte Punkte* entstehen.

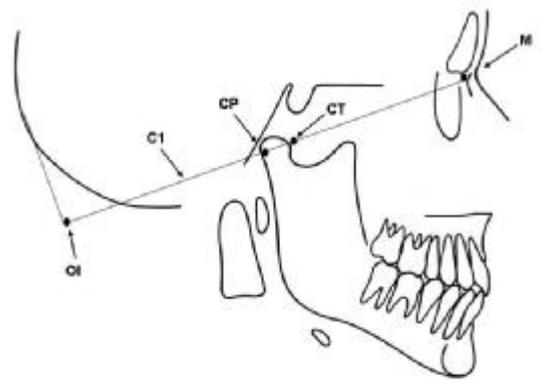
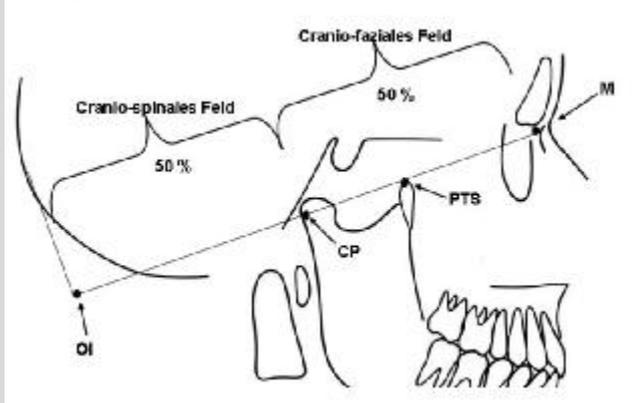
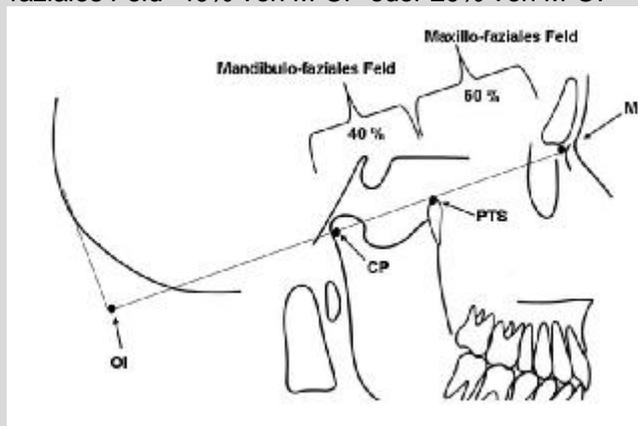
Grau unterlegt sind jeweils Normen beschrieben, die nicht in jedem Patientenfall zutreffen müssen.

Im Anschluss ist eine Auswertung der Analyse mittels eines Auswertungsbogens möglich.

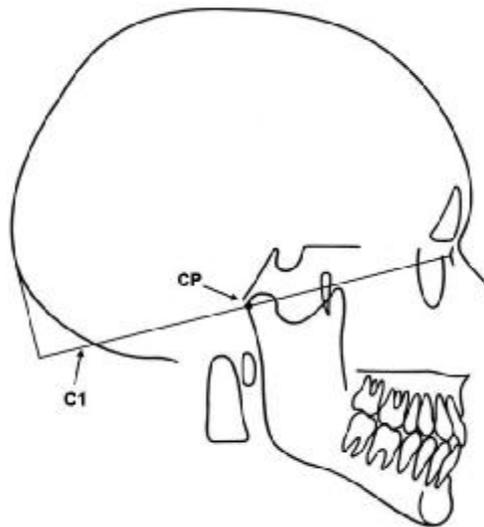
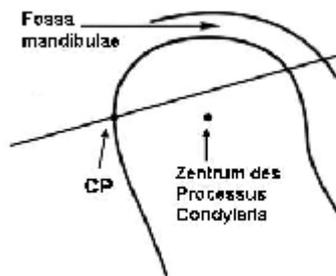
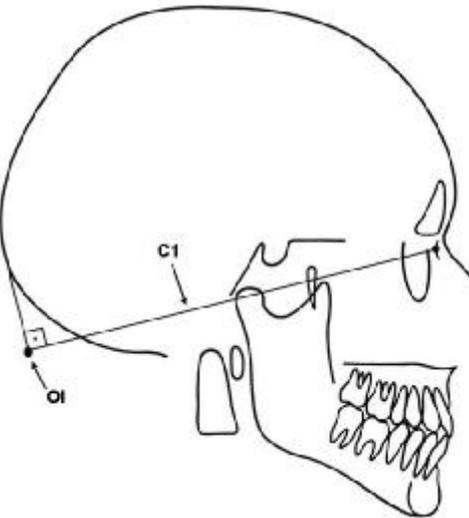
Es ist hilfreich bei der Durchzeichnung eines Röntgenbildes die jeweiligen Bezeichnungen neben die eingezeichneten Punkte und Strecken zu schreiben, um eine gute Orientierung zu gewährleisten.

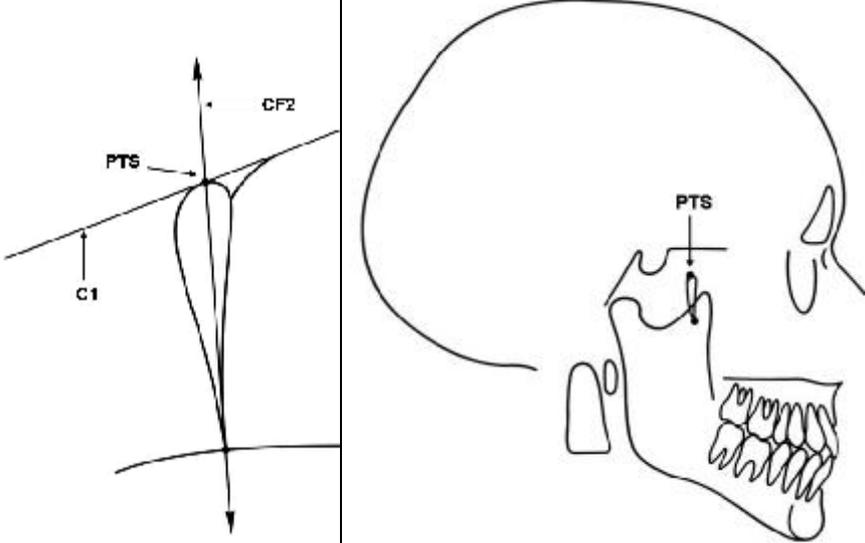
Tabelle 2: Handout zur Erklärung der einzelnen Schritte der Delaire-Analyse

1. Schritt		
<i>Anatomische Punkte</i>		
<p>1. Punkt</p>	<p>M M-Punkt</p> 	<p>Schnittpunkt des Os nasale, Os frontale und ,Os maxillae.</p> 
<p>2. Punkt</p>	<p>CT Temporaler Kondylenpunkt</p>  <p>Es ist hilfreich zur Lokalisation dieses Punktes zunächst den Umriss des Condylus mandibularis einzuzichnen.</p>	<p>Wendepunkt am Übergang der Konkavität der Kiefergelenkgrube in die Konvexität der Eminentia articularis (an der dorsalen Fläche des Tuberculum articulare des os temporale).</p> 

<p>C1</p>	<p>Kraniofaziale Basislinie</p> <p>M – CT</p> <p>Die Länge der Strecke C1 wird gemessen von M zu OI.</p> <p>Auf der posterioren Verlängerung dieser Linie wird eine Senkrechte auf C1 konstruiert, die tangential zum Os occipitale verläuft. Der Ausgangspunkt dieser Senkrechten auf der Linie C1 definiert den Punkt OI.</p> <p>Durch die Strecke C1 wird der Punkt CP definiert.</p>	<p>Repräsentiert die Grenze zwischen Neuro- und Viszerokranium.</p> 
<p>Norm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - C1 schneidet den oberen Teil der Fossa pterygopalatina und läuft durch PTS - CP liegt mittig zwischen M und OI und teilt C1 in zwei identisch lange Segmente (cranio-faziales und cranio-spinales Feld)  <ul style="list-style-type: none"> - M-PTS = „maxillo- faziales Feld“ 60% von M-CP oder 30% von M-OI - PTS-CP = „mandibulo-faziales Feld“ 40% von M-CP oder 20% von M-OI 		

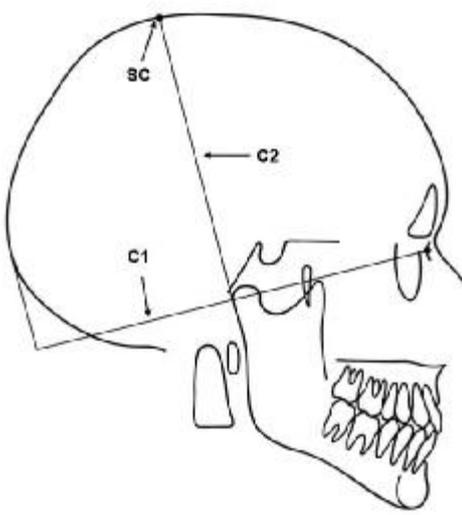
Konstruierte Punkte		
3.Punkt	OI Inferiorer Occipitalpunkt	Schnittpunkt der Linie C1 und dem Ausgangspunkt einer konstruierten Senkrechte auf C1 die tangential zur äußeren Fläche des Os occipitale gezeichnet wird.
4.Punkt	CP Condylus-Punkt	Schnittpunkt der Linie C1 und der posterioren Kontur des Conylus mandibulae.

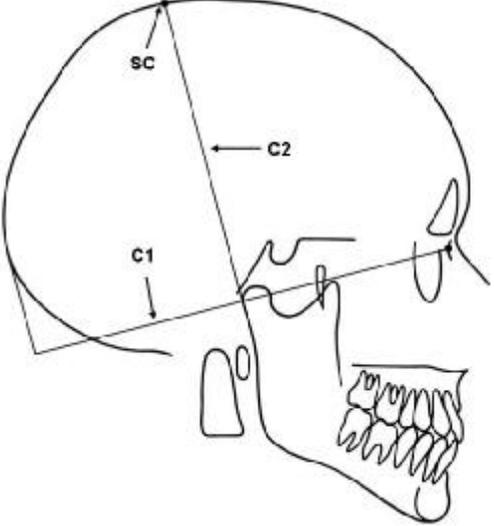


5.Punkt	PTS Pterygoid-Superior-Punkt	<p>PTS stellt den kranialsten Punkt der Fossa pterygopalatina dar. Die Fossa pterygopalatina ist sichtbar an der typischen Gestalt einer umgekehrten Träne. Durch PTS kreuzt die Linie CF2.</p> 
<p>Norm: - Durch PTS kreuzt die Linie C1</p>		

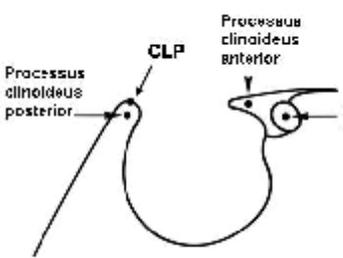
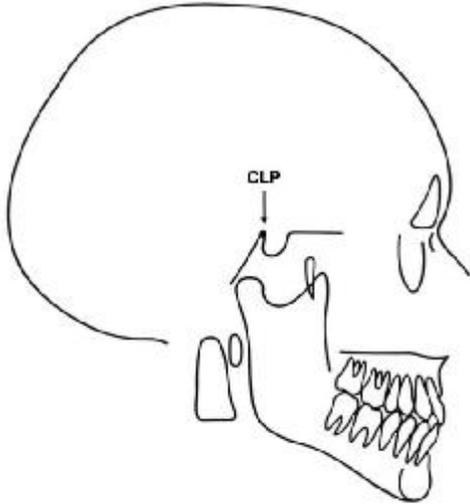
2. Schritt

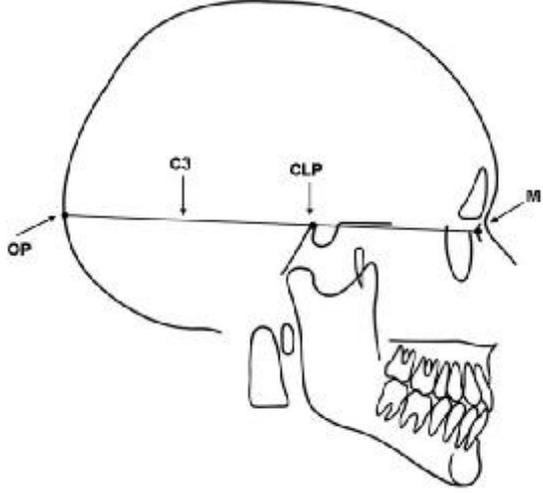
Linienbezeichnung

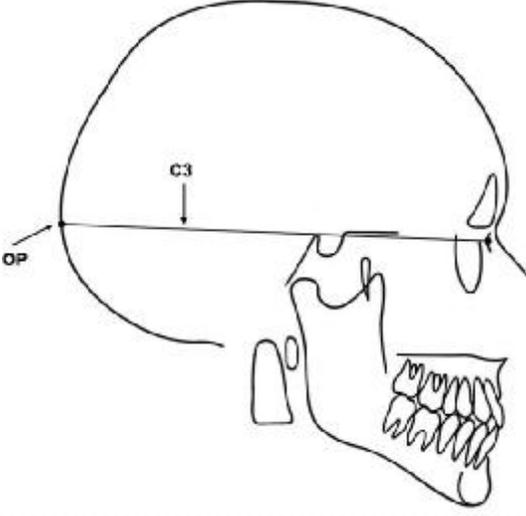
C2	Kraniale Höhe Senkrechte auf C1 durch den Mittelpunkt der Strecke M - OI	<p>Die Länge von C2 wird zwischen SC und dem Schnittpunkt mit C1 gemessen.</p>  <p>Die kraniale Verlängerung schneidet die Schädelkalotte und konstruiert so den Punkt SC.</p>
<p>Norm: - Länge C2 = 80% ± 5% der Länge C1</p>		

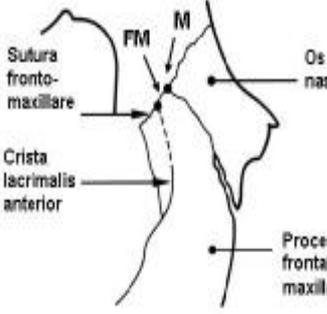
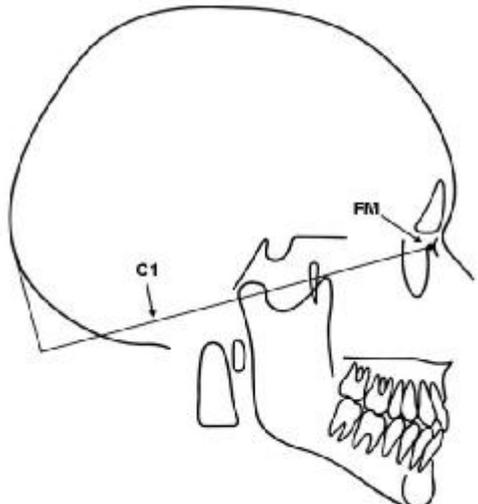
Konstruierte Punkte		
<p>6.Punkt</p>	<p>SC Scull-Punkt</p>	<p>Schnittpunkt der Linie C2 mit dem kranialsten, knöchernen Schädelanteil.</p> 
<p>Norm: - SC stellt als Punkt der äußersten Konvexität der kranialen Schädelwölbung den höchsten Schädelpunkt dar. Die Höhe des Schädeldaches nimmt zu beiden Seiten des Punktes ab.</p>		

3. Schritt

Anatomische Punkt		
<p>7.Punkt</p>	<p>CLP Clinoideus-Posterior-Punkt</p> 	<p>Kranialster Punkt (Spitze) des posterioren Processus clinoides der Sella turcica.</p> 

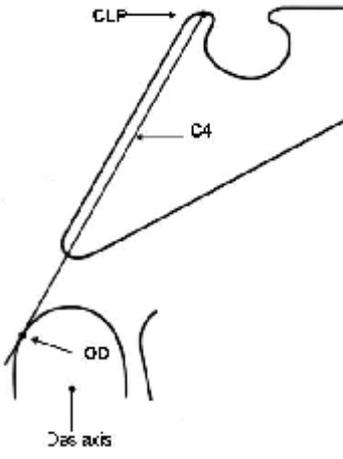
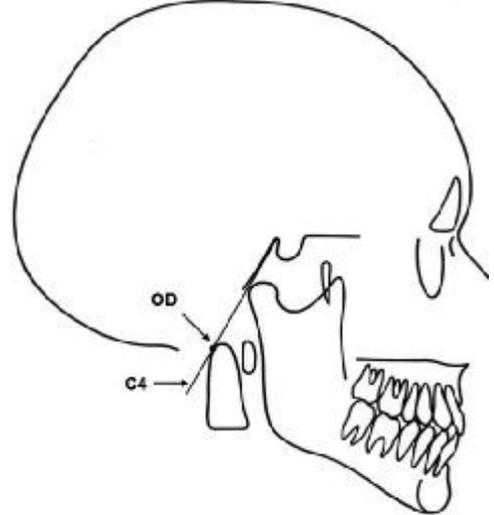
<i>Linienbezeichnung</i>		
C3	Obere Schädelbasislinie M - CLP	Die posteriore Verlängerung schneidet den occipitalen Schädelrand und definiert so den Punkt OP. 
		<p>Norm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Winkel zwischen C1 und C3 = 22° (+/- 2°) - C3 verläuft parallel zur Lamina cribriformis - C3 passiert den Processus clinoideus anterior 

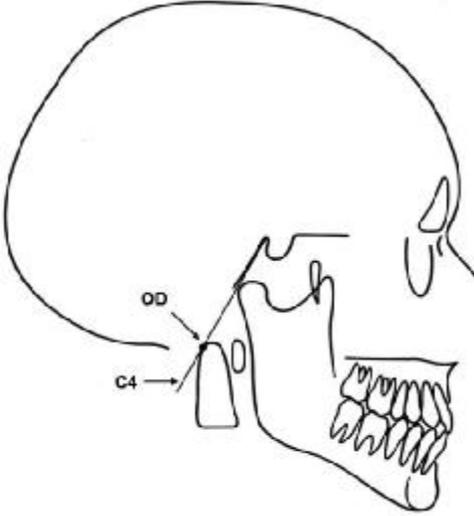
<i>Konstruierte Punkte</i>		
8.Punkt	OP Posteriorer Occipital-Punkt	Schnittpunkt der posterioren Verlängerung der Linie C3 mit der externen Fläche des Os occipitale. 
		<p>Norm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nahe dem Punkt, den die Senkrechte auf C1 ausgehend vom Punkt OI, die tangential zum Os occipitale läuft, auf dem Schädel markiert

<p>9.Punkt</p>	<p>FM Frontomaxillärer Punkt</p> 	<p>2 mm hinter dem Punkt M auf der Linie C1 gelegen.</p> <p>Schnittpunkt der Linie C1 und der Sutura frontomaxillaris.</p> 
-----------------------	--	---

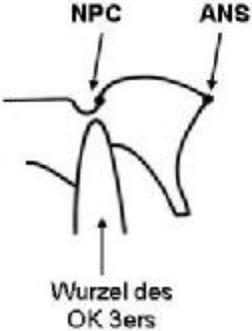
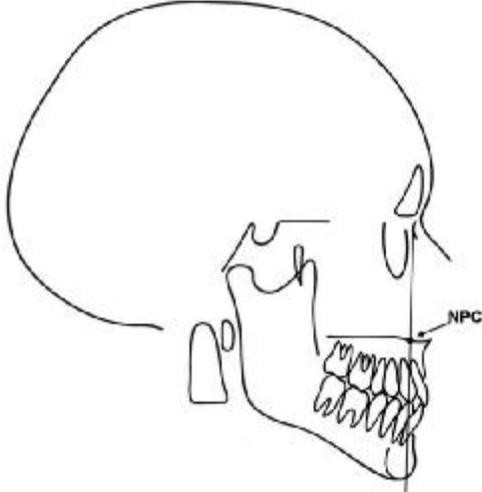
4. Schritt

Linienbezeichnung

<p>C4</p>	<p>Basilarneigung</p> <p>Von CLP wird eine Tangente zur hinteren Fläche des dens axis (OD) gezogen</p> 	<p>Linie ausgehend vom Punkt CLP die den Dens axis dorsal tangiert und so den Punkt OD festlegt.</p> <p>Es ist hilfreich sich zur Konstruktion von C4 zunächst den Umriss des Dens axis einzuzichnen.</p> 
<p>Norm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - tangential zum Dorsum sella turcica, sowie der cerebralen Fläche des Pars basilaris des Os occipitale - tangential zur oberen hinteren Fläche des Condylus mandibularis 		

<i>Konstruierte Punkte</i>		
<p>10. Punkt</p>	<p>OD Odontoidium-Punkt</p>	<p>Schnittpunkt der Linie C4 mit der hinteren Wölbung des Dens axis.</p> 

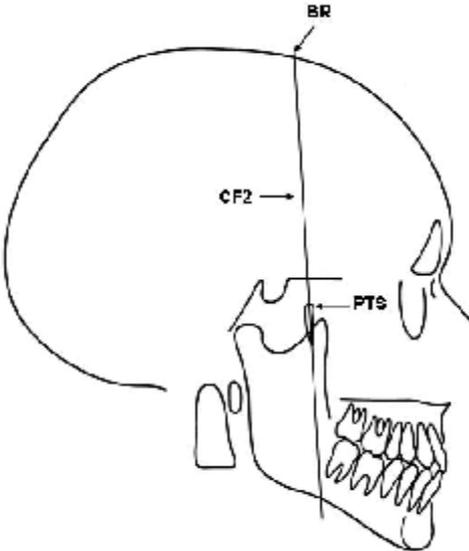
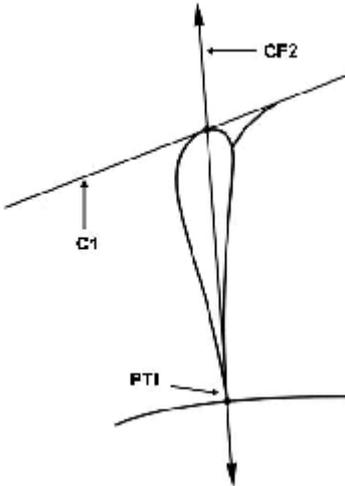
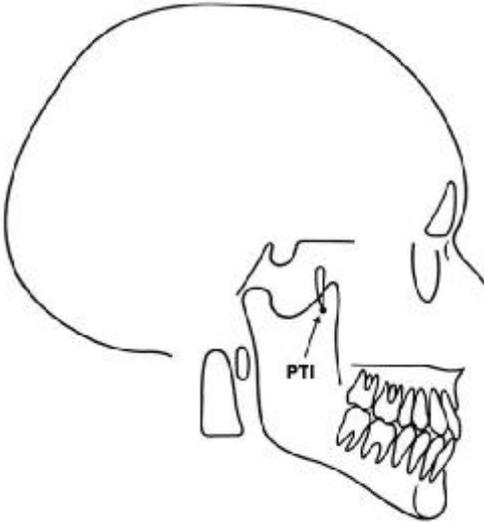
5. Schritt

<i>Anatomische Punkte</i>		
<p>11. Punkt</p>	<p>NPC Naso-Palatinal-Kanal</p> 	<p>Eingang des canalis incisivus an der kranialen Fläche des Processus palatinus der Maxilla</p> 

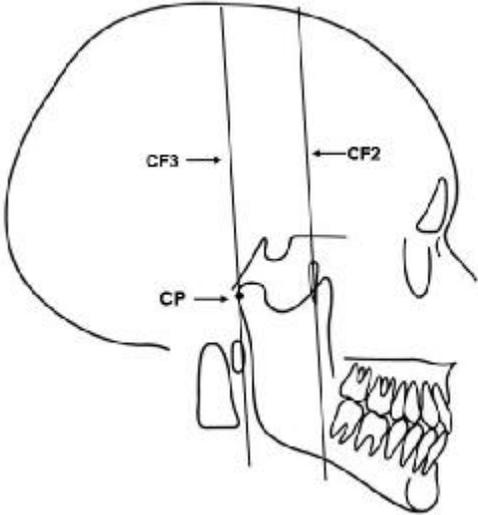
<i>Linienbezeichnung</i>		
CF1	<p>Vordere Linie der kraniofazialen Balance</p> <p>Senkrechte auf C3 durch den Punkt FM</p>	
<p>Norm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - läuft durch NPC - läuft durch das Hypomochlion des Milch- oder bleibenden oberen 3er's - unterhalb des okklusalen Planums passiert CF1 den Apex des unteren 1er's - schneidet den Unterkiefer im Punkt ME - Die kraniale Verlängerung von CF1 spaltet den frontalen Sinus in zwei Teile, welche an der Basis gleich, in der Höhe aber deutlich zugunsten des ventralen Anteiles dimensioniert sind 		

6. Schritt

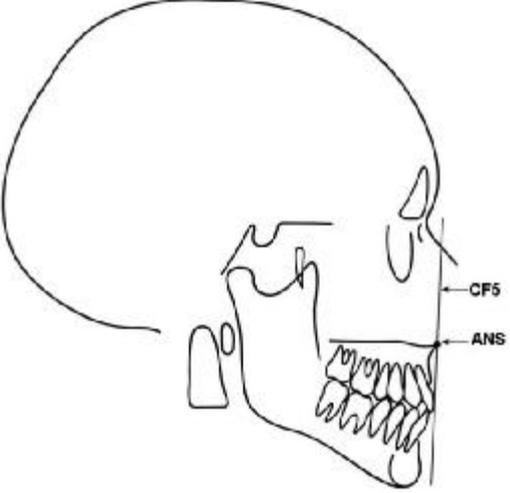
<i>Anatomische Punkte</i>		
12. Punkt	<p>BR</p> <p>Bregma</p>	<p>Schnittpunkt der externen Kortikalis mit der Sutura coronalis (Treffpunkt der Sutura sagittalis und Sutura coronalis).</p>

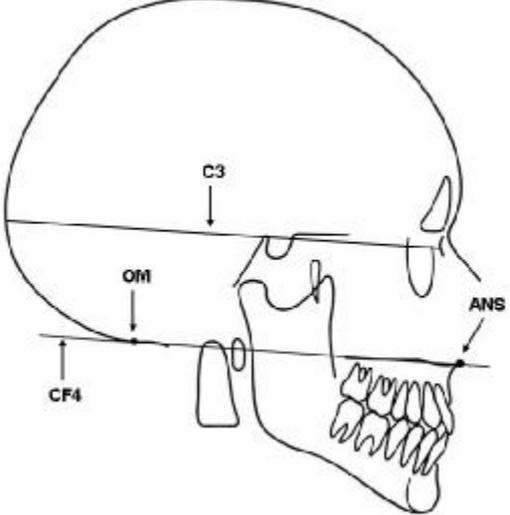
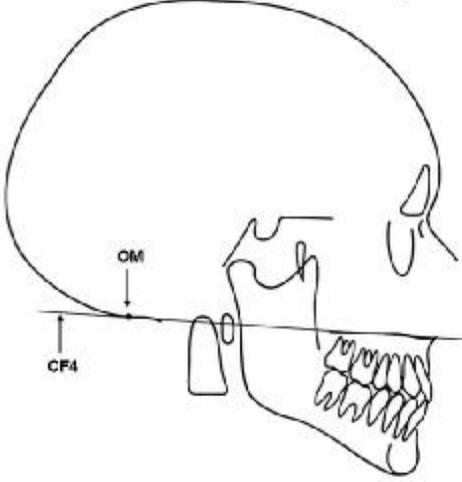
<i>Linienbezeichnung</i>		
<p>CF2</p>	<p>Mittlere Linie der kraniofaziale Balance</p> <p>BR – PTS</p>	<p>Die Linie wird verlängert bis zum unteren Rand der Mandibula.</p> 
<p>Norm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - folgt dem vorderen Rand des aufsteigenden UK-Astes - passiert PTI - schneidet den UK-Corpus mittig 		
<i>Konstruierte Punkte</i>		
<p>13. Punkt</p>	<p>PTI Pterygoid-Inferior-Punkt</p> 	<p>Unterster Punkt der Fossa pterygopalatina (erkennbar an einer Form der umgekehrten Träne).</p> 

7. Schritt*Linienbezeichnung*

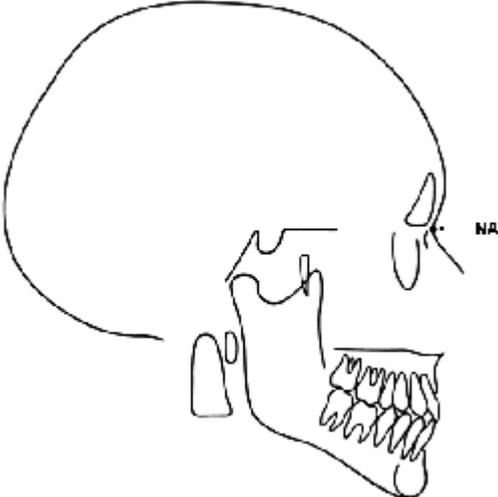
CF3	Hintere Linie der kraniofaziale Balance Parallele zu CF2 durch den Punkt CP	
Norm: - tangiert den hinteren Rand des Ramus mandibulae und läuft parallel zu diesem		

8. Schritt*Anatomische Punkte*

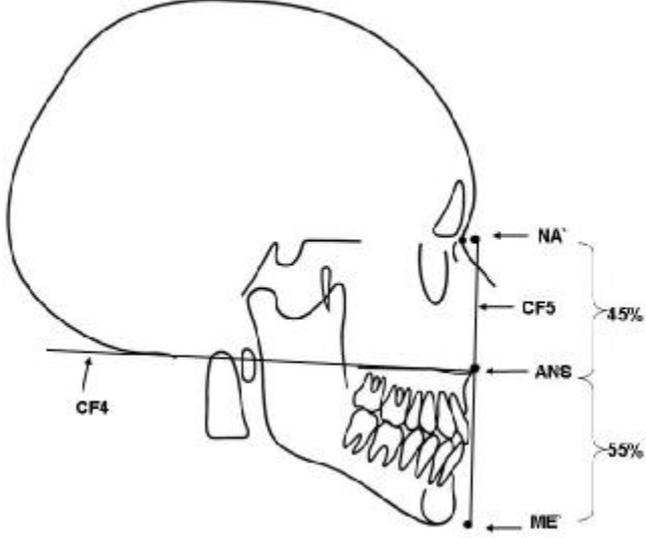
14. Punkt	ANS Anterior-Nasal-Spina	Die am weitesten anterior gelegene Spitze der Spina nasalis anterior.
		

<i>Linienbezeichnung</i>		
CF4	Kraniopalatinale Linie Parallele zu C3 durch ANS	<p>Sie dient der Bestimmung der vertikalen Ausrichtung des Oberkiefers.</p>  <p>Bei abnorm geformten Schädeln kann es sein, dass CF4 die Schädelkalotte distal nicht schneidet (sondern unterhalb passiert). In derartigen Fällen wird eine Ersatzkonstruktion für OM notwendig. Da für diese einige weitere Linien notwendig sind, kann OM dann erst zu einem späteren Zeitpunkt gezeichnet werden.</p>
<p>Norm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - läuft in aufrechter Kopfhaltung durch die obere Hälfte des vordern Bogens des Atlas etwas unter oder durch die Spitze des Dens axis - folgt der geraden oberen Kante des knöchernen Gaumens - schneidet leicht den am weitesten kaudal gelegenen Teil des Os occipitale 		
<i>Konstruierte Punkte</i>		
15. Punkt	OM Occipito-Mandibular-Punkt <p>In den Fällen wo CF4 nicht die Kalotte schneidet wird OM nur durch den Schnittpunkt von CF4 und CF6 definiert und erst zu einem späteren Zeitpunkt eingezeichnet (siehe Ersatzkonstruktion bei Schritt 10).</p>	<p>Schnittpunkt der Linie CF4 mit der Schädelkalotte.</p> 
<p>Norm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hier kreuzen sich CF4, CF6 und CF7. - liegt am kaudalsten Punkt des Os occipitale, oder liegt diesem nahe 		

9. Schritt*Anatomische Punkte*

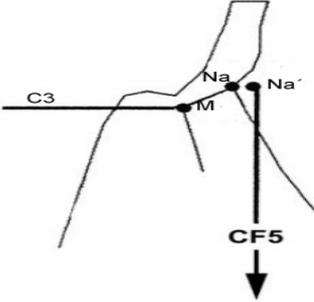
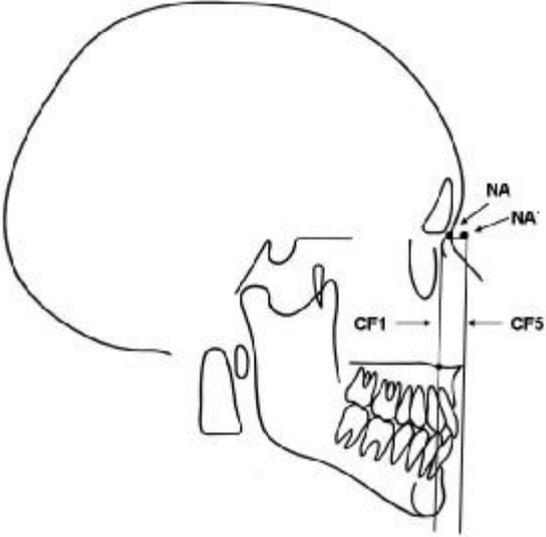
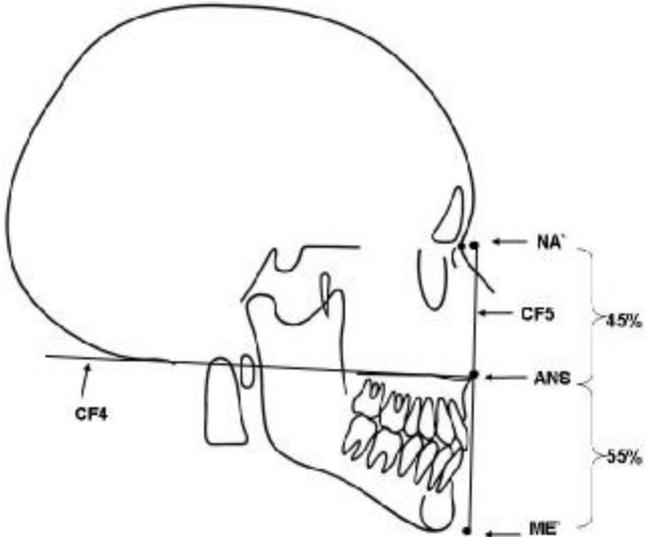
16. Punkt	NA Nasion	Ventrale Begrenzung der sutura nasofrontalis Wenn diese Sutur nicht sichtbar ist wird der tiefste Punkt der Konkavität der knöchernen Struktur eingezeichnet 
------------------	----------------------------	--

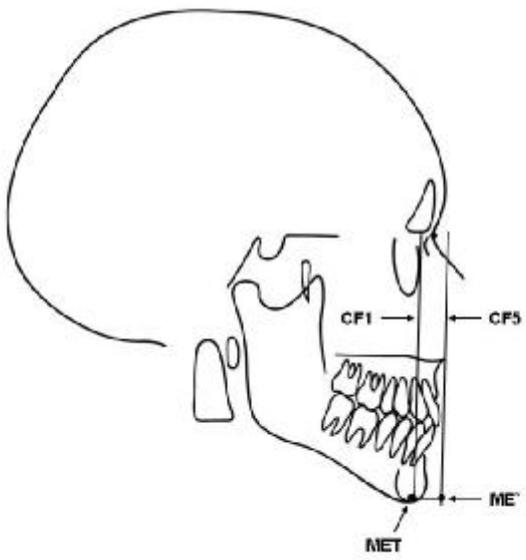
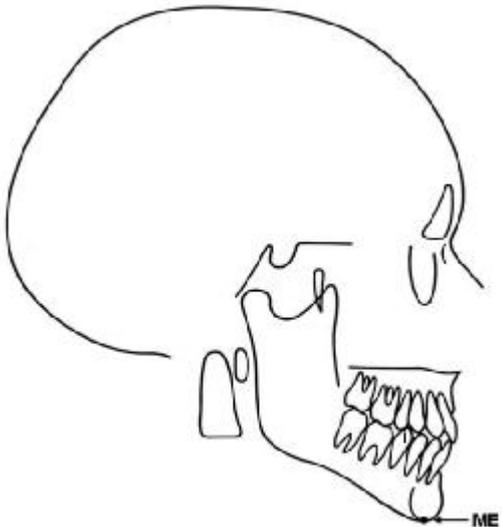
Linienbezeichnung

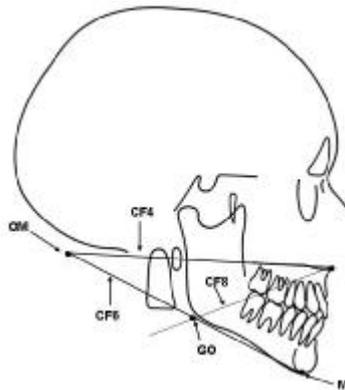
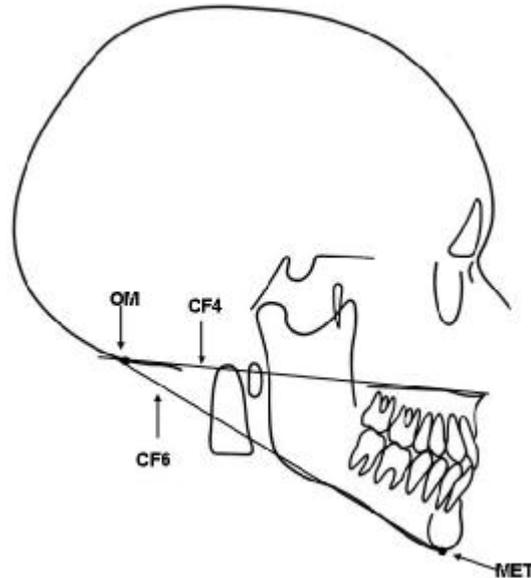
CF5	Theoretische Gesichtshöhe Senkrecht zu CF4, durch ANS	CF5 zieht von Na` über ANS zu ME`. $ANS - ME' = 55\% \text{ von } NA' - ME'$ $ANS - NA' = 45\% \text{ von } NA' - ME'$ 
------------	--	--

Norm:

- tangential zum oberen mittleren Einser
- der Schnittpunkt von CF7 mit CF5 teilt die Strecke ANS` - ME` in zwei gleich große Anteile

Konstruierte Punkte		
<p>17. Punkt</p>	<p>NA` Konstruiertes Nasion</p> 	<p>Einzeichnen einer Senkrechte auf CF1 durch NA. Der Schnittpunkt mit CF5 markiert NA`.</p>  <p>NA` befindet sich je nach Alter und Geschlecht einige mm vor NA auf der Strecke CF5. à bei stark retrognathem OK kann CF5 aber auch distal von NA liegen. In diesen Fällen ist auch NA` distal von NA zu setzen.</p>
<p>Norm: NA` liegt einige mm vor NA: 1 mm bei Kindern unter 12 Jahren 2 mm bei adulten weiblichen Patienten 3 mm bei adulten männlichen Patienten</p>		
<p>18. Punkt</p>	<p>ME` Konstruiertes Menton</p> <p>Rechnung (zur Ermittlung der Länge der Strecke CF5, an deren kaudalstem Punkt Me` lokalisiert ist)</p> <p>Länge von CF5 = Länge NA` bis ANS x 2 x 1,11</p>	<p>Liegt auf der Linie CF5. Verdopplung der Strecke NA` - ANS und 1/9 (der verdoppelten Strecke) hinzu addieren, hier liegt ME`</p> 

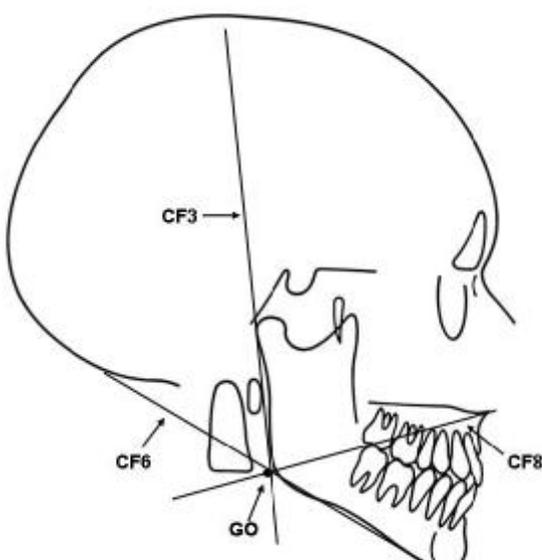
19. Punkt	MET Theoretisches Menton	<p>Die Senkrechte auf CF5 ausgehend von ME' schneidet CF1 im Punkt MET.</p>  <p>Hier liegt nach Delaire die normwertig optimale Position von ME.</p>
20. Punkt	ME Knöcherner Mentalpunkt	<p>Schnittpunkt der kaudoventralen Kontur der äußeren Symphyse mit dem Unterkieferrand.</p> 

10. Schritt*Linienbezeichnung***CF6****Kraniomandibularlinie****MET – OM****Ersatzkonstruktion für OM:**

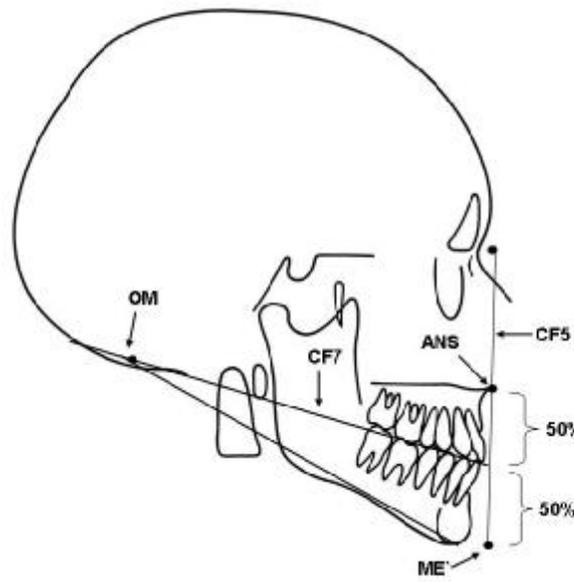
1. Hierzu muss zunächst **CF8** (Parallele zu C1 durch ANS, siehe Seite 68) gezeichnet werden.
2. An der Schnittstelle von CF8 und CF3 wird in diesen Fällen der Punkt **GO** platziert.
3. **CF6** kann dann von **MET** durch **GO** gezeichnet werden.
4. Die Schnittstelle von **CF4** und **CF6** markiert in diesen Fällen den Punkt **OM**

Norm:

- Tangente zur Basis der äußeren Schädelwand des Os occipitale
- liegt dem unteren Rand der Mandibula an und schneidet diese in der Umgebung der UK- Winkels

Konstruierte Punkte		
21. Punkt	<p>GO Gonion</p> <p>Wie bereits zuvor beschrieben wird bei abnorm geformten Schädel in einigen Fällen GO zur Konstruktion von CF6 benötigt und liegt in diesen Fällen auf dem Schnittpunkt von CF3 und CF8 (siehe Ersatzkonstruktion von OM).</p>	<p>Platziert auf dem Schnittpunkt von CF3 und CF6.</p>  <p>Beschreibt die ideale Lage des Kieferwinkels. Hier liegt nicht in jedem Fall auch ein Schnittpunkt mit CF8.</p>

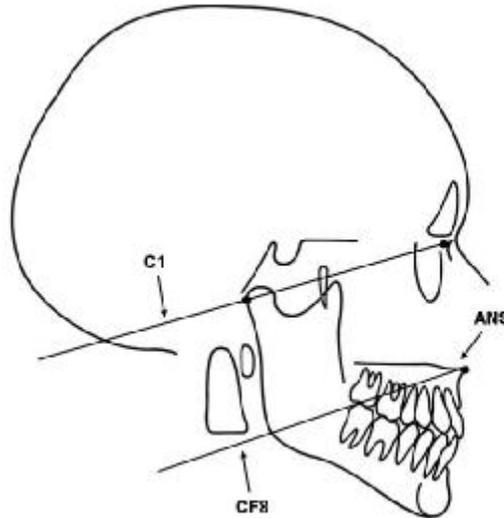
11. Schritt

Linienbezeichnung		
CF7	<p>Kraniookklusallinie</p> <p>Von OM zur Mitte von ANS – ME`</p>	
		<p>Norm:</p> <p>- tangential zur okklusalen Fläche der Prämolaren und etwas unter der Schneidekante des unteren 1 er`s</p>

12. Schritt

Linienbezeichnung

CF8 Parallele zu C1 durch ANS



Norm:

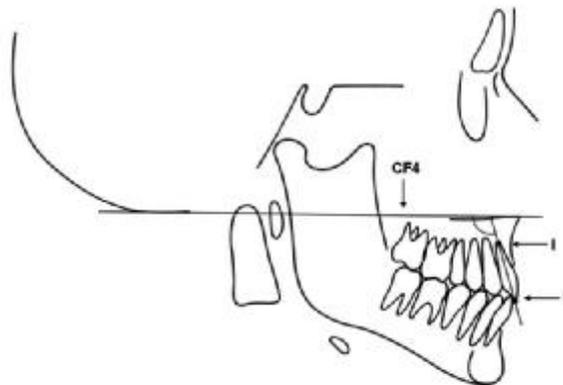
- passiert den anatomischen Mittelpunkt des UK-Winkels (normwertig identisch mit GO), welcher durch den Schnittpunkt von CF3 und CF6 definiert ist

13. Schritt

Es ist hilfreich sich zur besseren Lokalisierung der dentalen Punkte zunächst die Umrisse des OK und UK 1er's einzuzichnen

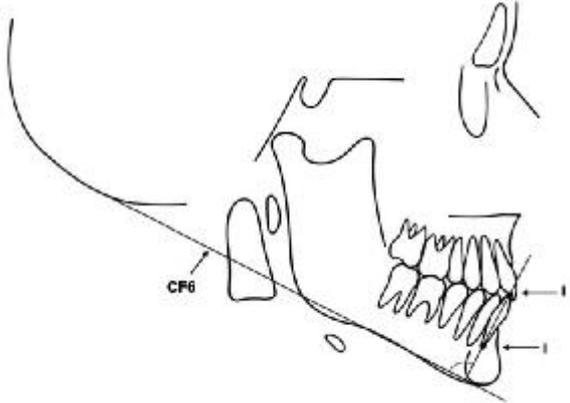
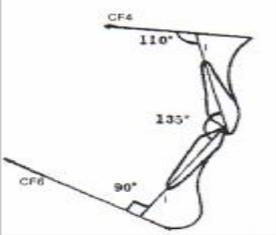
Linienbezeichnung

I Achse des OK 1er's
Verbindung von Inzisalkante und Apex des oberen 1er's



Norm:

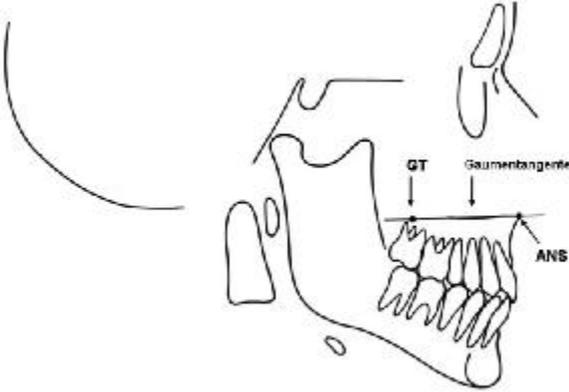
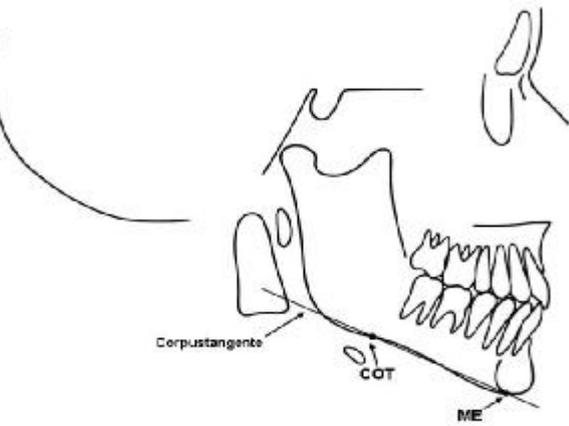
- I bildet zu CF4 (Palatinalplanum) einen Winkel von $110^\circ (+/-2^\circ)$ (gemessen wird der Winkel nach kaudal dorsal)

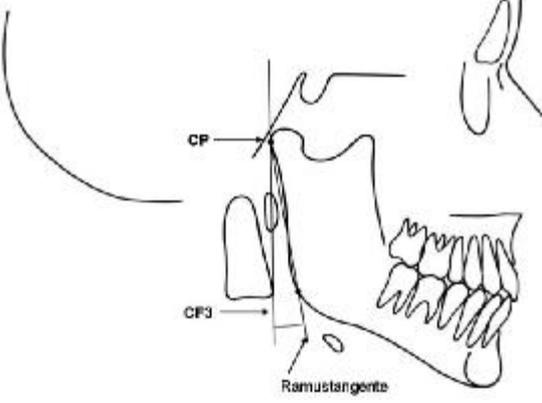
i	Achse des UK 1er's Verbindung von Inzisalkante und Apex des unteren 1er's	
Norm: <ul style="list-style-type: none">- i bildet zu CF6 (Mandibularplanum) einen Winkel von 90° ($\pm 2^\circ$) (gemessen wird der Winkel nach kranial dorsal)- I bildet zu i einen Winkel von 135° ($\pm 5^\circ$) (gemessen wird der Winkel nach dorsal)		

Auswertungstangenten

Um numerische Werte zur Beurteilung der einzelnen von Delaire beschriebenen Strecken zu erhalten müssen einige zusätzliche (in der Original-Analyse nicht beschriebene) Strecken eingezeichnet werden.

Tabelle 3: Handout: zusätzliche Auswertungstangenten

<i>Linienbezeichnung</i>		
GT	Gaumentangente Verbindung von ANS und einem Punkt im distalen knöchernen Gaumenbereich	Tangente am oberen knöchernen Gaumen. 
COT	Corpustangente Verbindung von ME und einem Punkt am distalen kaudalen UK Corpusrand	Tangente am Corpus mandibulae. 

RT	Ramustangente Verbindung von CP und einem Punkt am kaudalen distalen UK Ramus	Tangente am Ramus mandibulae. 
-----------	---	---

Auswertung der Analyse

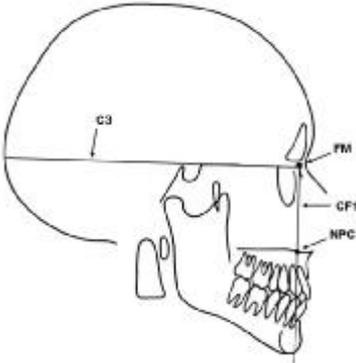
Mit der folgenden Auswertungstabelle können die gezeichneten Punkte und Strecken der Delaire-Analyse ausgewertet werden. In einigen Fällen müssen zur korrekten Messung noch kurze zusätzliche Messstrecken eingezeichnet werden.

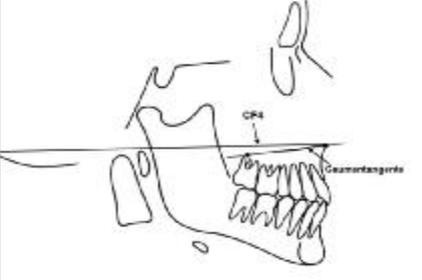
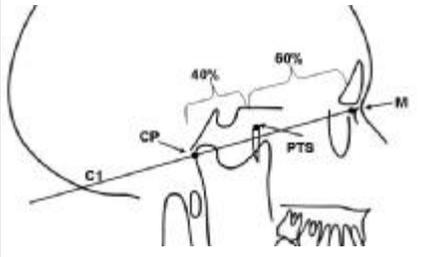
à In der Spalte **Messwerte** müssen jeweils die grau unterlegten Bereiche mit Werten belegt werden.

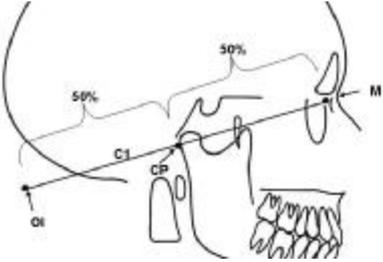
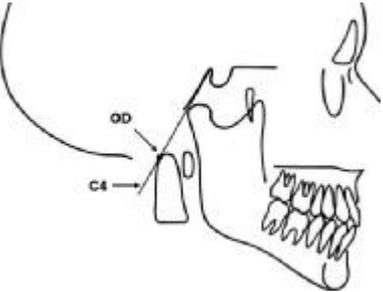
à Diese Werte ermöglichen dann das Ankreuzen eines „Ergebnisses“ in der Spalte **verbale Bewertung**.

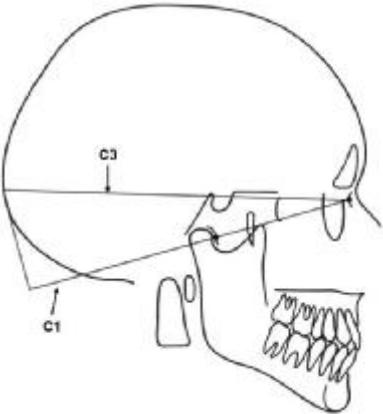
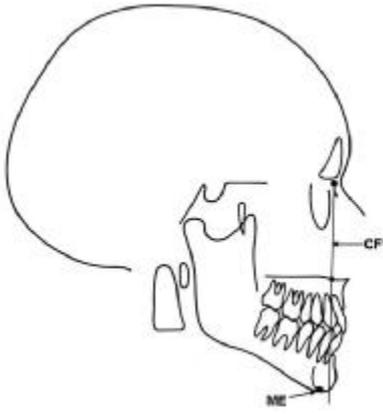
Alle Werte werden in Zentimeterangaben mit einer Nachkommastelle eingetragen. Es ist wichtig auf die richtige Auswahl des Vorzeichens der Werte zu achten!

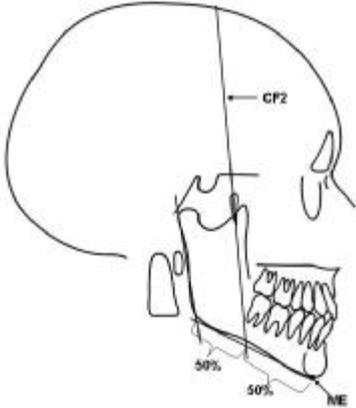
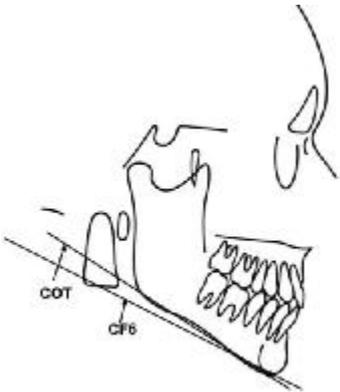
Tabelle 4: Handout zur Auswertung der Delaire-Analyse

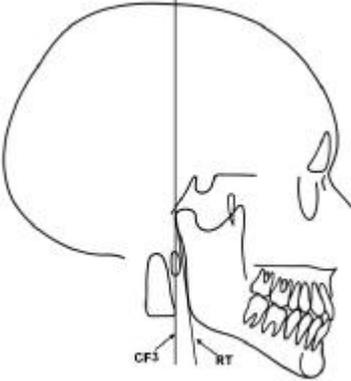
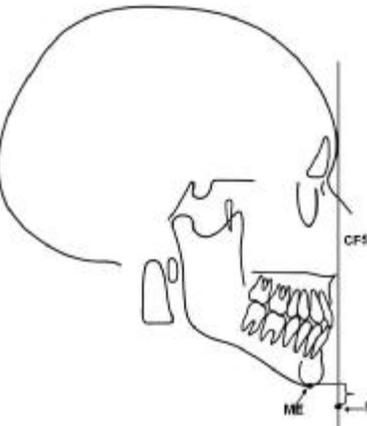
A) Analyse von OK und UK			
OK	Bezugslinien und Normwerte	Messwerte	Verbale Bewertung
I. Sagittale Lage der Maxilla (in Bezug zur Schädelbasis)	Bewertung CF1 Norm: CF1 zieht durch NPC	<i>Falls CF1 nicht durch NPC zieht: Einzeichnen einer Hilfs-Senkrechten auf CF1 zu NPC</i>	<input type="checkbox"/> Positiver Wert > 0,2 cm = Maxilla prognath in Bezug zur Schädelbasis
		Messen der Entfernung von NPC zu CF1 Werte, die dorsal von CF1 gemessen werden erhalten ein negatives Vorzeichen	<input type="checkbox"/> Negativer Wert < - 0,2 cm = Maxilla retrognath in Bezug zur Schädelbasis <input type="checkbox"/> - 0,2 bis 0,2 cm = normwertige sagittale Lage der Maxilla in Bezug zur Schädelbasis

<p>II.</p> <p>Vertikale Ausrichtung der Maxilla (Neigung)</p> <p>(in Bezug zur Schädelbasis)</p>	<p>Bewertung von CF4</p> <p>Norm: CF4 folgt parallel der oberen Kante des knöchernen Gaumens</p>  <p>(im Beispielbild ergibt sich ein negativer Wert)</p>	<p><i>Falls CF4 nicht parallel zur Gaumentangente verläuft:</i></p> <p>Messung des Winkels nach dorsal, der sich zwischen GT und CF4 bildet</p> <p>Werte, die kaudal von CF4 gemessen werden erhalten ein negatives Vorzeichen</p> <p>■</p>	<p><input type="checkbox"/> positiver Wert > 2° = Posteriore Rotation der Maxilla in Bezug zur Schädelbasis</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert < - 2° = Anteriore Rotation der Maxilla in Bezug zur Schädelbasis</p> <p><input type="checkbox"/> -2 bis 2° = normwertige vertikale Ausrichtung der Maxilla in Bezug zur Schädelbasis</p>
<p>III.</p> <p>Maxillo - faziales Feld</p> <p>Mandibulo - faziales Feld</p>	<p>Bewertung C1</p> <p>Maxillo - faziales Feld</p> <p>Länge der Strecke M-PTS Norm: 60% von M-CP</p>  <p>Mandibulo - faziales Feld</p> <p>Länge der Strecke PTS - CP Norm: 40% von M-CP</p>	<p><i>Falls PTS nicht auf C1 liegt:</i></p> <p><i>Zeichnen einer Hilfs-Senkrechten auf C1 zu PTS. Die Kreuzung dieser Senkrechten mit C1 markiert den hierbei wichtigen Punkt</i></p> <p>1) Länge M-CP ■</p> <p>2) 60% von M-CP ■</p> <p>3) Länge M-PTS ■</p> <p>4) Differenz von Punkt 2)-3) ■</p>	<p><input type="checkbox"/> positiver Wert > 0,2 cm = Verkleinertes maxillo-faziales Feld und vergrößertes mandibulo-faziales Feld → sagittal unterentwickelte Basis der Maxilla</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert < - 0,2 cm = Vergrößertes maxillo-faziales Feld und verkleinertes mandibulo-faziales Feld → sagittal übererentwickelte Basis der Maxilla</p> <p><input type="checkbox"/> - 0,2 bis 0,2 cm = normwertig</p>

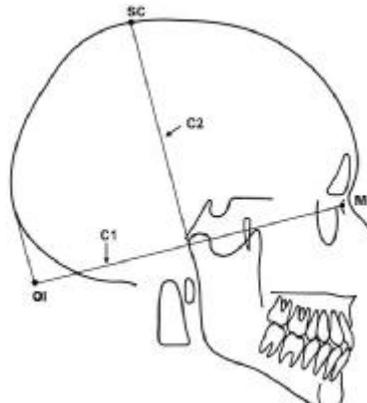
UK			
<p>IV.</p> <p>Kranio - faziales Feld</p> <p>Kranio - spinales Feld</p>	<p>Bewertung C1</p> <p>Kranio - faziales Feld</p> <p>Länge der Strecke M-CP Norm: 50% ± 2% der Länge von C1</p>  <p>Kranio - spinales Feld</p> <p>Länge der Strecke CP-OI Norm: 50% ± 2% der Länge von C1</p>	<p>1) Länge M-OI █</p> <p>2) ½ M-OI █</p> <p>3) Länge M-CP █</p> <p>4) Differenz von Punkt 2)-3) █</p>	<p><input type="checkbox"/> positiver Wert > 0,2 cm = Verkleinertes kranio-faziales Feld und vergrößertes kranio-spinales Feld à Condylus liegt in Bezug zum Schädel zu ventral</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert < - 0,2 cm = Vergrößertes kranio-faziales Feld und verkleinertes kranio-spinales Feld à Condylus liegt in Bezug zum Schädel zu dorsal</p> <p><input type="checkbox"/> - 0,2 bis 0,2 cm = normwertige sagittale Lage des Condylus in Bezug zum Schädel</p>
<p>V.</p> <p>sagittale Lage des Condylus mandibulae</p> <p>(in Bezug zum kraniospinalen Gelenk)</p>	<p>Bewertung C4</p> <p>Norm: der Condylus liegt nahe (bis 0,2 cm Abstand) oder tangential zu C4</p> 	<p>Falls der distalste Teil des Condylus mehr als 0,2 cm von C4 entfernt liegt: Einzeichnen einer Senkrechten auf C4 zum distalsten Punkt des Condylus</p> <p>Messen der Entfernung von C4 zum Condylus mandibulae</p> <p>Werte die dorsal von C4 gemessen werden erhalten ein negatives Vorzeichen</p> <p>█</p>	<p><input type="checkbox"/> < - 0,2 cm = Condylus liegt zu dorsal in Bezug zum kraniospinalen Gelenk</p> <p><input type="checkbox"/> > 0,2 cm = Condylus liegt zu ventral in Bezug zum kraniospinalen Gelenk</p> <p><input type="checkbox"/> - 0,2 bis 0,2 cm = normwertige sagittale Lage des Condylus in Bezug zum kraniospinalen Gelenk</p>

<p>VI.</p> <p><u>Vertikale Lage des Condylus mandibulae</u></p> <p>(in Bezug zur Schädelbasis)</p>	<p>Bewertung C3</p> <p>Norm: Winkel zwischen C1 und C3 = 22 ° +/- 2°</p> 	<p>Winkel zwischen C1 und C3</p> 	<p><input type="checkbox"/> > 24 ° = Condylus liegt zu kaudal in Bezug zur Schädelbasis</p> <p><input type="checkbox"/> < 20 ° = Condylus liegt zu kranial im Bezug zur Schädelbasis</p> <p><input type="checkbox"/> 20 – 24 ° = normwertige vertikale Lage des Condylus</p>
<p>VII.</p> <p><u>Sagittale Lage des UK/ des Kinns</u></p> <p>(in Bezug zum OK)</p>	<p>Bewertung von CF1</p> <p>Beziehung von CF1 zu ME</p> <p>Norm: CF1 zieht durch ME</p>  <p>(im Beispielbild ergibt sich ein negativer Wert)</p>	<p><i>Falls CF1 nicht durch ME zieht: Zeichnen einer Hilfs-Senkrechten auf CF1 zu ME</i></p> <p>Messen der Entfernung von ME zu CF1</p> <p>Werte, die dorsal von CF1 gemessen werden, erhalten ein negatives Vorzeichen</p> 	<p><input type="checkbox"/> positiver Wert > 0,2 cm = mandibuläre Prognathie / Progenie (in Bezug zum OK)</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert < - 0,2 cm = mandibuläre Retrognathie / Retrogenie (in Bezug zum OK)</p> <p><input type="checkbox"/> - 0,2 bis 0,2 cm = normwertige sagittale Lage des UK (in Bezug zum OK)</p>

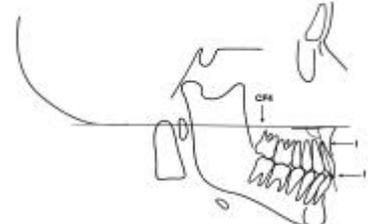
<p>VIII. Sagittale Lage des Corpus mandibulae (in Bezug zum Schädel)</p>	<p>Bewertung von CF2</p> <p>Norm: CF2 schneidet den Corpus mandibulae mittig</p> 	<p>Die UK Corpus - Länge wird gemessen auf der Corpustangente von ME bis zum Schnittpunkt mit der Ramustangente</p> <p>1) Länge UK-Corpus <input type="text"/></p> <p>2) ½ Länge UK-Corpus <input type="text"/></p> <p>3) Länge ME - Schnittpunkt CF2 <input type="text"/></p> <p>4) Differenz 3)-2) <input type="text"/></p>	<p><input type="checkbox"/> positiver Wert > 0,2 cm = mandibuläre Prognathie / Progenie (in Bezug zum Schädel)</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert < - 0,2 cm = mandibuläre Retrognathie / Retrogenie (in Bezug zum Schädel)</p> <p><input type="checkbox"/> - 0,2 bis 0,2 cm = normwertige sagittale Lage des UK (in Bezug zum Schädel)</p>
<p>IX. Ausrichtung des Corpus mandibulae (Neigung)</p>	<p>Bewertung von CF6</p> <p>Norm: CF6 verläuft parallel zur Corpustangente und schneidet den Unterkieferrand etwas ventral vom Angulus mandibulae</p>  <p>(im Beispielbild ergibt sich ein positiver Wert)</p>	<p>Falls CF6 nicht parallel zur Corpustangente verläuft:</p> <p>Messung des Winkels, der sich zwischen der Corpustangente und CF6 ergibt</p> <p>Wenn die Corpustangente zur Horizontalen flacher steht als CF6 erhält der Wert ein negatives Vorzeichen</p> <input type="text"/>	<p><input type="checkbox"/> positiver Wert > 2° = Posteriore Rotation des Corpus mandibulae → Tendenz vertikales Wachstum</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert < - 2° = Anteriore Rotation des Corpus mandibulae → Tendenz horizontales Wachstum</p> <p><input type="checkbox"/> -2 bis 2 ° = normwertige Ausrichtung des Corpus mandibulae</p>

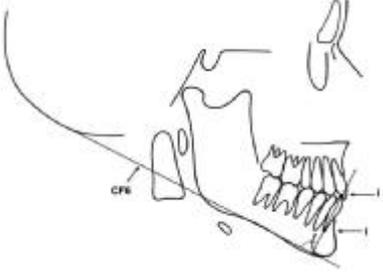
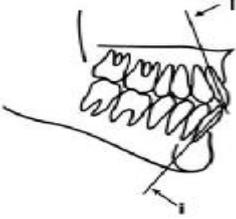
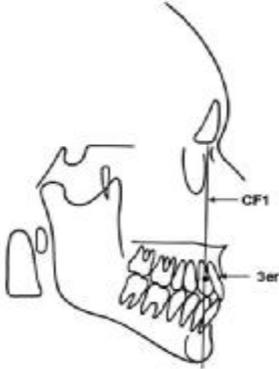
<p>X.</p> <p><u>Ausrichtung des Ramus mandibulae (Neigung)</u></p>	<p>Bewertung von CF3</p> <p>Norm: Tangiert den hinteren Rand des aufsteigenden Astes und verläuft parallel zu diesem</p>  <p>(im Beispielbild ergibt sich ein positiver Wert)</p>	<p>Falls CF3 nicht parallel zur Ramustangente verläuft:</p> <p>Messung des Winkels nach kaudal der sich zwischen der Ramustangente und CF3 bildet</p> <p>Werte die dorsal von CF3 gemessen werden erhalten ein negatives Vorzeichen</p> <p>■</p>	<p><input type="checkbox"/> positiver Wert $> 2^\circ$ = Anteriore Rotation des Ramus mandibulae</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert $< - 2^\circ$ = Posteriore Rotation des Ramus mandibulae</p> <p><input type="checkbox"/> -2 bis 2° = normwertige Ausrichtung des Ramus mandibulae</p>
<p>XI.</p> <p><u>Bewertung der unteren Gesichtshöhe / der vertikalen Lage des Kinns</u></p>	<p>Bewertung von CF5</p> <p>Norm: Me und Me' liegen auf gleicher Höhe</p>  <p>(im Beispielbild ergibt sich ein negativer Wert)</p>	<p><i>Zeichnen einer Hilfs-Senkrechten auf CF5 zu ME</i></p> <p>Falls diese Senkrechte nicht ausgeht vom Punkt ME':</p> <p>Messung der Strecke (auf CF5) von ME' zum Schnittpunkt mit der Senkrechten</p> <p>Werte, die kranial von ME' gemessen werden erhalten ein negatives Vorzeichen</p> <p>■</p>	<p><input type="checkbox"/> positiver Wert $> 0,2$ cm = vergrößerte untere Gesichtshöhe</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert $< - 0,2$ cm = reduzierte untere Gesichtshöhe</p> <p><input type="checkbox"/> $- 0,2$ bis $0,2$ cm = normwertige vertikale Lage des Kinns</p>

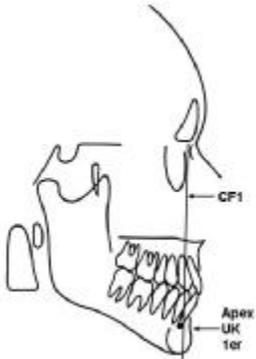
B. Kraniale Analyse

	Bezugslinien und Normwerte	Messwerte	Bewertung
XII. Schädelhöhe	<p>Bewertung C2</p> <p>Strecke von SC bis zum Schnittpunkt mit der Linien C1</p> <p>Norm: 81% der Länge von C1</p> 	<p>1) Länge M-OI █</p> <p>2) 81% von M-OI █</p> <p>3) Länge C2 █</p> <p>4) Differenz von Punkt 2)-3) █</p>	<p><input type="checkbox"/> positiver Wert > 0,2 cm = verkleinerte Schädelhöhe</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert < - 0,2 cm = vergrößerte Schädelhöhe</p> <p><input type="checkbox"/> - 0,2 bis 0,2 cm = normwertige Schädelhöhe</p>

C) Dentale Analyse

	Bezugslinien und Normwerte	Messwerte	Bewertung
XIII. Obere Frontzahnneigung	<p>Winkel zwischen I (Zahnachse des OK 1ers) und CF4 (gemessen wird dorsal von I und kaudal von CF4)</p> <p>Norm: 110° +/- 2</p> 	█	<p><input type="checkbox"/> > 112° = Proklination OK Front</p> <p><input type="checkbox"/> < 108° = Reklination OK Front</p> <p><input type="checkbox"/> 108 bis 112° = normwertige Neigung OK Front</p>

<p>XIV. Untere Frontzahnneigung</p>	<p>Winkel zwischen <i>i</i> (Zahnachse des UK 1ers) und CF6 (gemessen wird dorsal von <i>i</i> und kranial von CF6) Norm: 90° +/- 2</p> 		<p><input type="checkbox"/> >92° = Proklination UK Front</p> <p><input type="checkbox"/> < 89° = Reklination UK Front</p> <p><input type="checkbox"/> 89 bis 92 ° = normwertige Neigung UK Front</p>
<p>XV. Interinzisalwinkel</p>	<p>Winkel zwischen <i>I</i> und <i>i</i> (gemessen wird der Winkel nach dorsal) Norm: 135° +/- 5°</p> 		<p><input type="checkbox"/> > 140° = steil stehende Front</p> <p><input type="checkbox"/> < 130° = flach stehende Front</p> <p><input type="checkbox"/> 130- 140° = normwertiger Interinzisalwinkel</p>
<p>XVI. Sagittale Lage der OK Dentition</p>	<p>Bewertung von CF1 Norm: CF1 läuft durch das Hypomochlion des OK 3ers</p> 	<p><i>Falls CF1 nicht durch das Hypomochlion des OK 3ers läuft: Zeichnen einer Hilfs-Senkrechten auf CF1 zum Hypomochlion</i></p> <p>Messen der Entfernung vom Hypomochlion zu CF1</p> <p>Werte, die dorsal von CF1 gemessen werden, erhalten ein negatives Vorzeichen</p> 	<p>Dieses Ergebnisses kann nur im Vergleich zu Analysepunkt I (sagittale Lage des OK) bewertet werden!</p> <p><input type="checkbox"/> positiver Wert > 0,2 cm = dentale maxilläre Prognathie</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert < - 0,2 cm = dentale maxilläre Retrognathie</p> <p><input type="checkbox"/> -0,2 bis 0,2 cm = normwertige sagittale Lage der OK Dentition</p>

<p>XVII. <u>Sagittale Lage der UK Dentition</u></p>	<p>Bewertung von CF1</p> <p>Norm: CF1 läuft durch den Apex des UK 1ers</p> 	<p><i>Falls CF1 nicht durch den Apex des UK 1ers läuft: Zeichnen einer Hilfs-senkrechten auf CF1 zum Apex des UK 1ers</i></p> <p>Messen der Entfernung vom Apex des UK 1ers zu CF1</p> <p>Werte, die dorsal von CF1 gemessen werden, erhalten ein negatives Vorzeichen</p>	<p>Dieses Ergebnis kann nur im Vergleich zu Analysepunkt VII und VIII (sagittale Lage des UK) bewertet werden!</p> <p><input type="checkbox"/> positiver Wert > 0,2 cm = dentale mandibuläre Prognathie</p> <p><input type="checkbox"/> negativer Wert < - 0,2 cm = dentale mandibuläre Retrognathie</p> <p><input type="checkbox"/> - 0,2 bis 0,2 cm = normwertige sagittale Lage UK Dentition</p>
---	--	--	--

4.2 Die computergestützte Analyse

Im Folgenden wird die Anwendungssystematik der entwickelten computergestützten Delaire-Analyse beschrieben.

Es können mittels des Programms Fernröntgenbilder ausgewertet werden, die entweder direkt oder indirekt digitalisiert wurden. ImageJ kann mit verschiedenen Fileformaten umgehen (z.B.: GIF, TIFF, Jpeg, raw-Dateien)

Die softwaregestützte Auswertung erfolgt, indem lediglich die Bezugspunkte in einer vorgegebenen Reihenfolge auf dem Röntgenbild markiert werden. Strecken und Winkel werden vom Computer automatisch gezeichnet, ausgemessen und die Analyseergebnisse in einem Auswertungsformular dargestellt.

Nach dem Aufrufen des Programms ImageJ wird über „File oben“ das entsprechende Röntgenbild geöffnet.

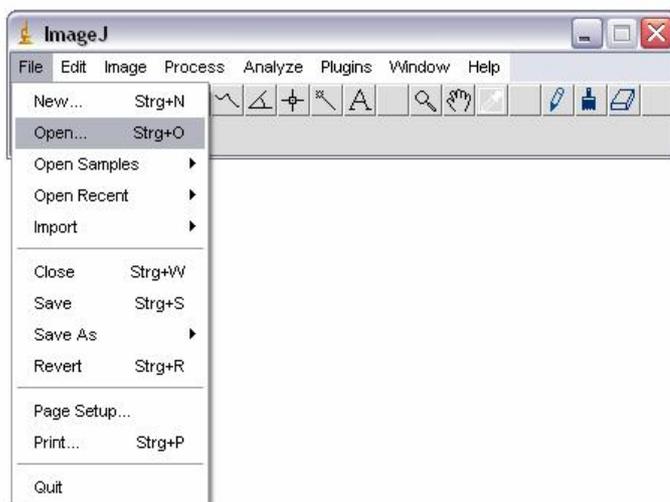


Abbildung 9: ImageJ Bild „File oben“

Über „Plugins“ und „Compile and Run“ kann nun die Datei „delaire_“ ausgewählt werden.

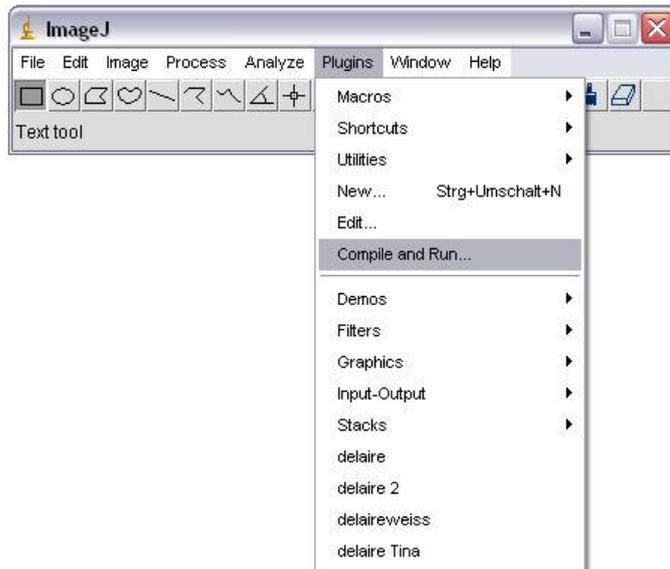


Abbildung 10: ImageJ Bild „Plugins“

Es wird dann automatisch ein neues Fenster geöffnet, in dem die Analyse durchgeführt werden kann.

Die Analyse erfolgt, indem nacheinander die in der rechten Leiste aufgereihten Punkte angeklickt werden.



Abbildung 11: ImageJ Bild „Delaire-Analyse Basisbild“

Mittels des „**Hilfe**“ Buttons ist es möglich, Erklärungen zu den einzelnen Punkten aufzurufen. Wird die Hilfe-Funktion eingeschaltet erscheint in der Folge automatisch jeweils nach dem Anklicken des Punktes auf der rechten Leiste ein Hilfstext mit einem Erklärungsbild. Diese geben Hilfestellung bei der Lokalisation des Punktes.

Ein geübter Anwender hat die Möglichkeit die Hilfefunktion auszuschalten, um so die Analyse schneller durchführen zu können.

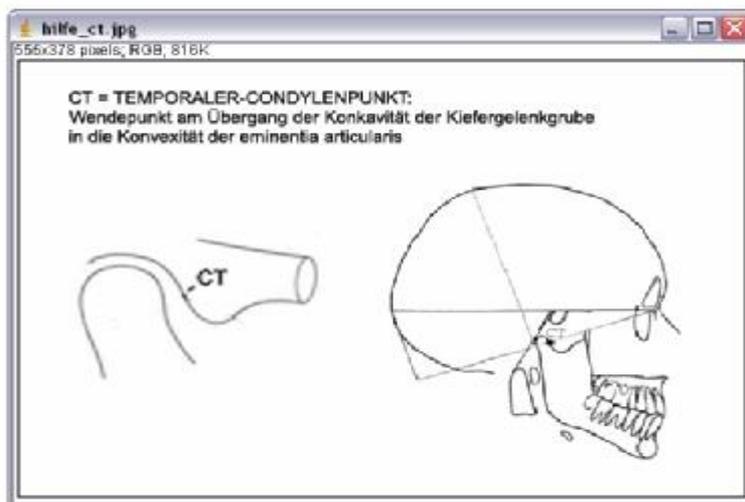


Abbildung 12: ImageJ Bild „Hilfe-Funktion“

Zunächst ist eine **Kalibrierung** des Systems notwendig, um die jeweiligen Größenverhältnisse eines jeden Röntgenbildes richtig auszuwerten. Hierzu wird zunächst „**Eichung 1.0**“ angeklickt. Dann werden zwei Punkte im Abstand von einem Zentimeter auf dem mitgeröntgten Referenzlineal markiert.

Falls dieses Lineal nicht mitgeröntgt wurde, ist bei den an der ZMK Münster angefertigten Röntgenbildern eine andere Kalibrierung möglich. Hierzu wird das stets mit abgebildete Kephalostat herangezogen. Dieses ist 0,7 cm breit. Nach dem Anklicken von „**Eichung 0,7**“ werden dann nacheinander am oberen und am unteren Rand dieses Kephalostats zwei Punkte gesetzt.

Es ist hierbei ratsam zunächst mittels des „magnifying glass“ = „**Vergrößerungslupe**“ interessierende Bereiche größer darzustellen. Diese Vergrößerungsfunktion kann stets zur besseren Lokalisation von Referenzpunkten verwendet werden. Nach Markierung der „Lupe“ ist mit der linken Maustaste ein Einzoomen und mit der rechten Maustaste ein Auszoomen möglich.

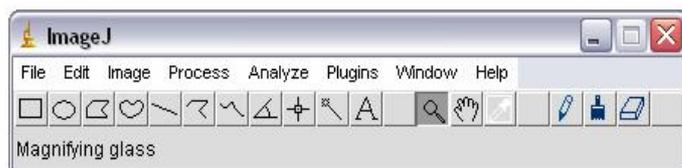


Abbildung 13: ImageJ Bild „Vergrößerungslupe“

Im Folgenden werden nun die einzelnen Punkte der Analyse eingezeichnet. Hierzu werden jeweils die rechts neben dem Bild aufgereihten Punkte in der aufgeführten Reihenfolge angeklickt und dann auf dem Röntgenbild markiert. Die Verbindungsstrecken werden folgend vom System automatisch gezeichnet.



Abbildung 14: ImageJ Bild „Analysebeispiel“

Um auf dem Röntgenbild einen Punkt markieren zu können, muss die Funktion „**Point selection**“ aktiv sein. Wurde zuvor eine andere Funktion gewählt, so muss die Point-selektion-Funktion zunächst angeklickt werden.

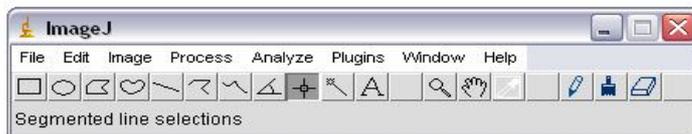


Abbildung 15: ImageJ Bild 6 „point selection“

Eine weitere hilfreiche Funktion ist über „**Image**“ à „**Adjust**“ à „**Brighness/Contrast**“ anwählbar. Hiermit ist es möglich die Graustufen und den Kontrast des Röntgenbildes zu variieren. Durch diese Funktion ist es oft möglich Punkte besser zu lokalisieren.

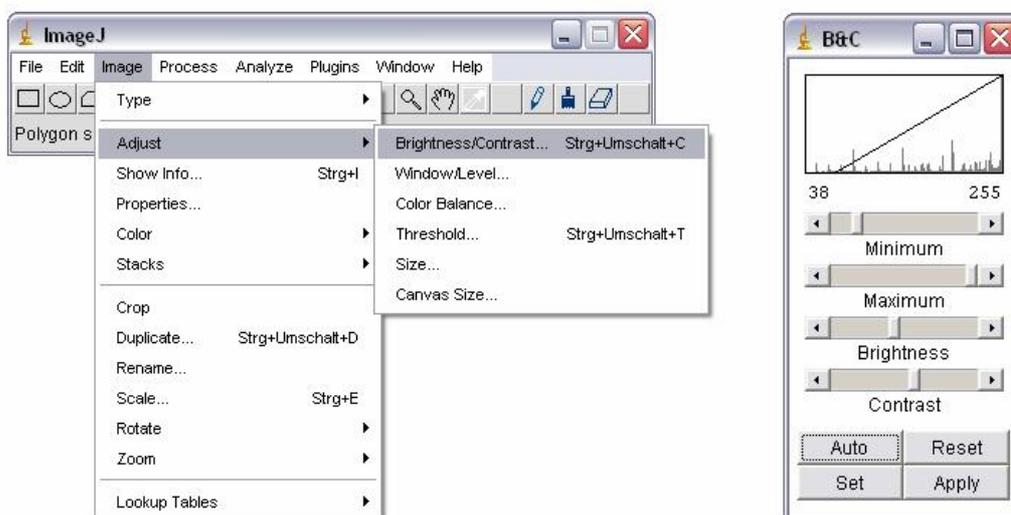


Abbildung 16: ImageJ „Brighness/Contrast“

Die letztendliche Auswertung der Analyse erfolgt über den Button „**Ergebnisse**“. Jetzt sind im bereits zu Anfang der Analyse geöffneten **Fenster** „**Result**“ die Auswertungsergebnisse ersichtlich.

Es wurde ein Auswertungsbogen entworfen, anhand dessen eine strukturierte Darstellung der Ergebnisse möglich ist. Anders als es die Originalanalyse von Jean Delaire vorschlägt erfolgt bei dem Auswertungsbogen keine Darstellung in der Reihenfolge der benannten Strecken, sondern eine Sortierung der Ergebnisse nach Bezugsstrukturen. Zunächst werden alle kranialen dann die Ergebnisse bezüglich der maxillären und mandibulären Lage und abschließend die dentalen Auswertungen dargestellt. Durch dieses Verfahren wird eine bessere Übersichtlichkeit der Ergebnisse erzeugt.

Über die Funktion „**Edit**“ à „**Copy all**“ kann der Inhalt des Ergebnisfensters kopiert und in ein Word-Dokument eingefügt werden. Hierdurch ist es möglich einen optisch übersichtlichen **Ausdruck** zu erhalten.

Das Analysebild kann über „**File**“ und „**Print**“ ebenfalls ausgedruckt werden. Dieser Ausdruck des Röntgenbildes kann nicht dazu dienen die Lokalisation bestimmter Punkte zu überprüfen, doch ist es hiermit gut möglich die Strukturverhältnisse des Patienten im Überblick zu erfassen.

Die Speicherung des Ergebnisformulars erfolgt über „**File**“ à „**Save as**“.

Das Analysebild kann ebenfalls über diese Funktion im ImageJ Button gespeichert werden.

4.3 Überprüfung der Funktionsweise der computergestützten Analyse

4.3.1 Vergleich der Auswertungsergebnisse zwischen manueller und computergestützter Analyse bei den einzelnen Patienten

Zunächst werden nacheinander für jeden Patienten die einzelnen Werte der 15 Auswertungspunkte sowohl bei der manuellen Analyse als auch bei der computergestützten Analyse betrachtet. Um die bei den unterschiedlichen Analysemethoden ermittelten Werte vergleichen zu können, werden jeweils die Abweichungen der Messwerte voneinander berechnet. Diese patientenbezogene Betrachtung der Werte soll mögliche Fehler hinsichtlich der Einscannung des einzelnen Röntgenbildes, der Kalibrierung des Computerprogramms sowie der Berechnungen aufdecken.

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte in Säulendiagrammen

Die graphischen Darstellungen der einzelnen Werte bei manueller und computergestützter Auswertung in Form von Säulendiagrammen dienen der Veranschaulichung der Ähnlichkeit der bei den unterschiedlichen Analysemethoden gefundenen Werte. Sollte beispielsweise bei einer Methode ein positiver und bei der anderen Methode ein negativer Wert ermittelt worden sein, so ist dies deutlich zu erkennen. Mit dieser Betrachtung kann überprüft werden, ob das entwickelt Computerprogramm den gemessenen Werten das richtige Vorzeichen zuordnet. Da das Vorzeichen die Auswahl der „verbalen Bewertung“ bestimmt, ist dieses von großer Wichtigkeit.

Ø Graphische Darstellung der Abweichungen in Liniendiagrammen

Nachfolgend werden dann die Abweichungen der gemessenen Werte der unterschiedlichen Analysemethoden in Form von Liniendiagrammen dargestellt. Hier würde z. B. bei einer falschen Kalibrierung des computergestützten Programms mit der Folge einer falschen Berechnung der zu messenden Strecken eine gleichmäßig hohe Abweichung aller Punkte zu erkennen sein.

4.3.1.1 Patient 1

Tabelle 5: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 1 bei manueller und computer-gestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Manuell	0,1	-3	0,9	-0,5	-0,5	22	1,5	0
Computer	0,1	-3	0,6	-0,5	-0,3	23	1,5	-0,1
Abweichung	0	0	0,3	0	0,2	1	0	0,1

	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Manuell	-7	7	1,1	0,4	112	79	134	
Computer	-8	4	0,9	0,2	106	74	133	
Abweichung	1	3	0,2	0,2	6	5	1	

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte

■ Manuelle Auswertung ■ Computer Auswertung

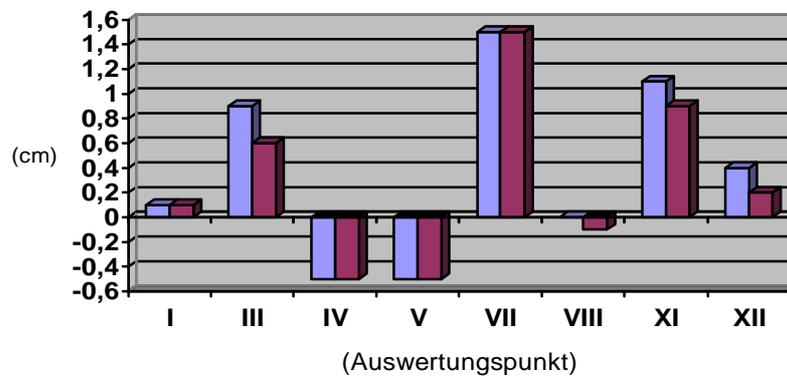


Abbildung 17: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 1.

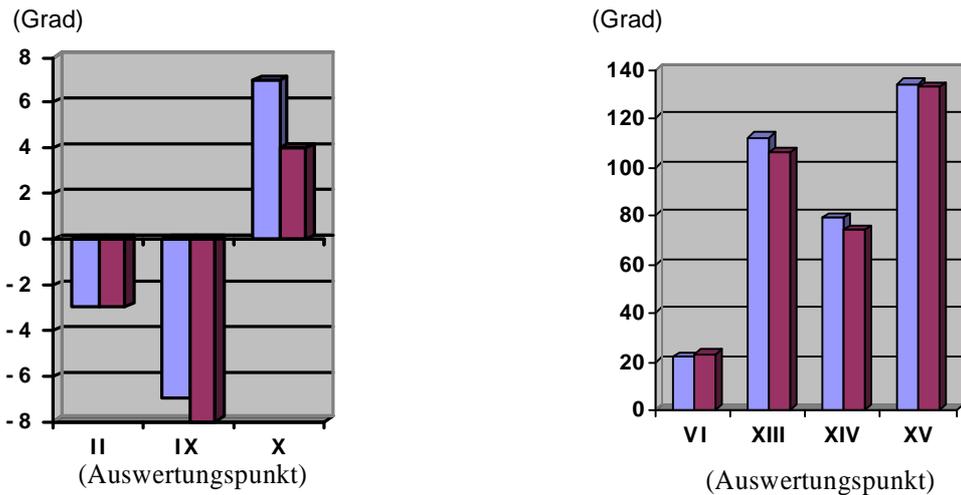


Abbildung 18: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 1.

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Abweichungen

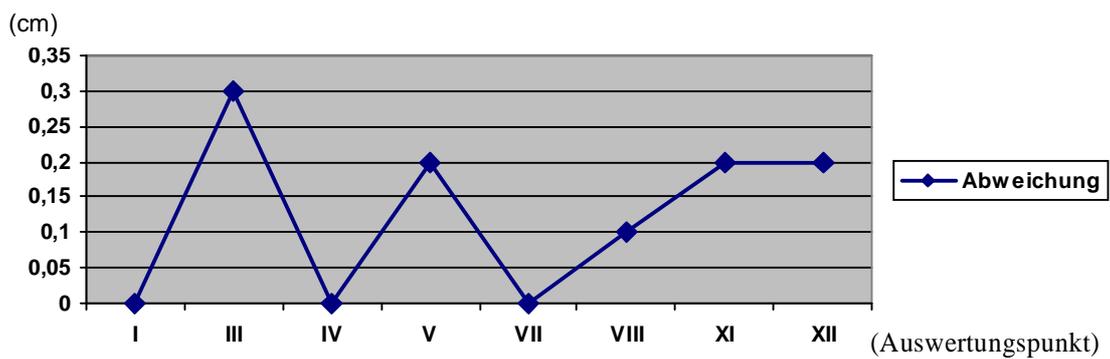


Abbildung 19: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 1.

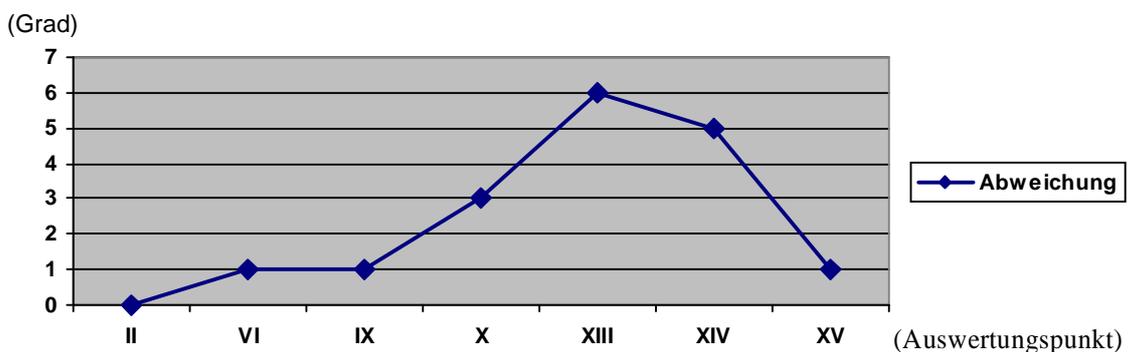


Abbildung 20: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 1.

4.3.1.2 Patient 2

Tabelle 6: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 2 bei manueller und computer-gestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander.
Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Manuell	-0,4	-5	0,1	0,5	-0,1	21	2	1,4
Computer	0	-9	0,1	0,3	0	23	2	1,2
Abweichung	0,4	4	0	0,2	0,1	2	0	0,2

	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Manuell	6	12	1,4	1,7	122	79	141	
Computer	5	9	1,2	1,5	123	77	138	
Abweichung	1	3	0,2	0,2	1	2	3	

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte

■ Manuelle Auswertung ■ Computer Auswertung

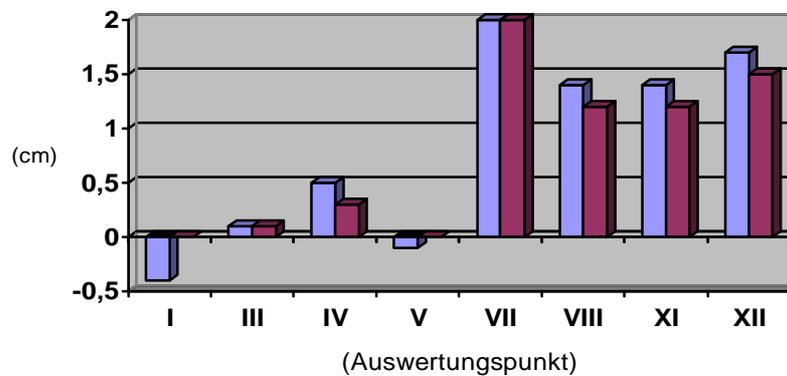


Abbildung 21: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 2.

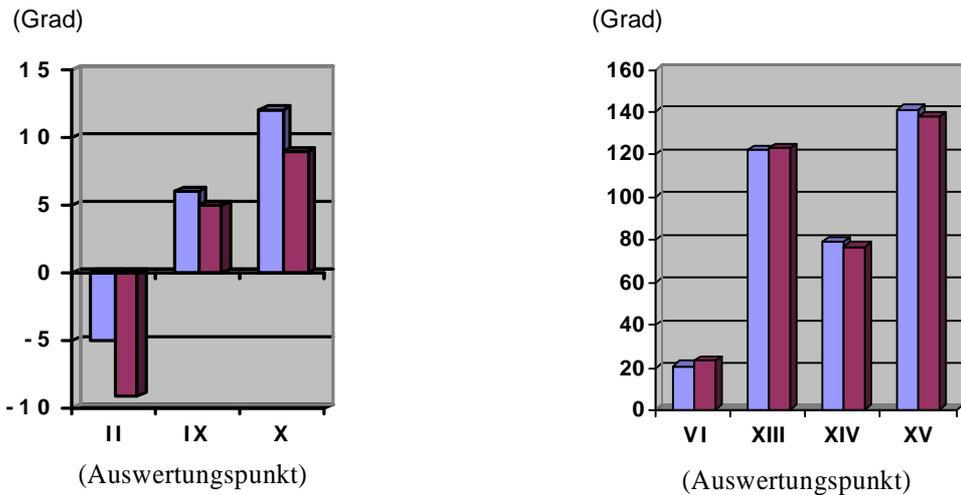


Abbildung 22: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 2.

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Abweichungen

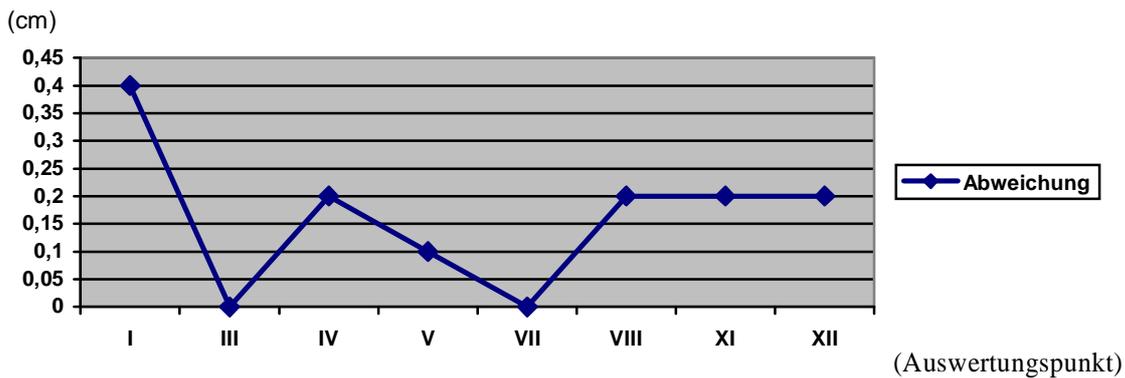


Abbildung 23: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 2.

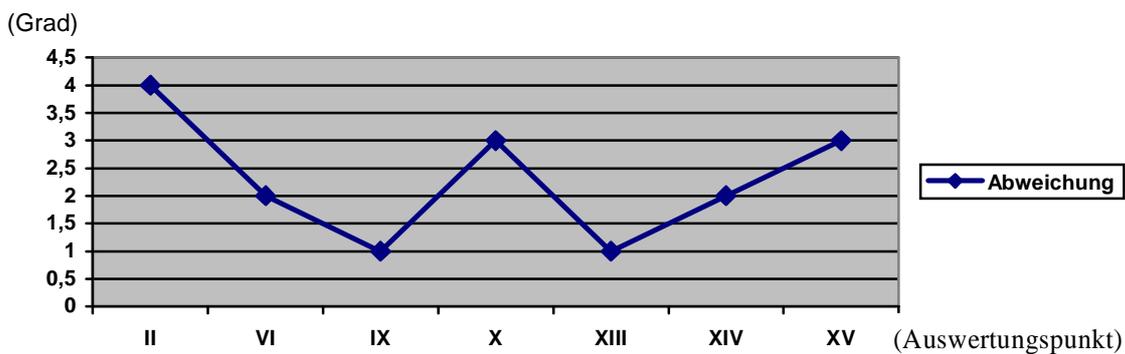


Abbildung 24: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 2.

4.3.1.3 Patient 3

Tabelle 7: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 3 bei manueller und computer-gestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander.
Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Manuell	-0,3	0	0,3	0,2	0,1	22	-2,2	-2,6
Computer	-0,2	-2	0,5	0,2	0,2	20	-1,9	-2,5
Abweichung	0,1	2	0,2	0	0,1	2	0,3	0,1

	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Manuell	13	-6	0,8	-0,7	108	92	131	
Computer	14	-6	0,9	-0,7	110	90	129	
Abweichung	1	0	0,1	0	2	1	2	

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte

■ Manuelle Auswertung ■ Computer Auswertung

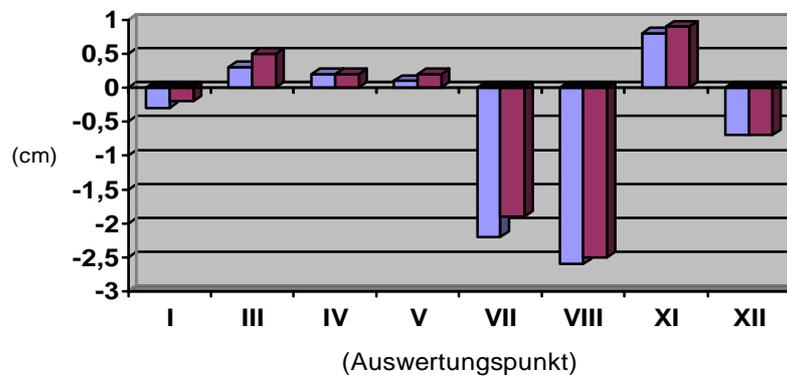


Abbildung 25: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 3.

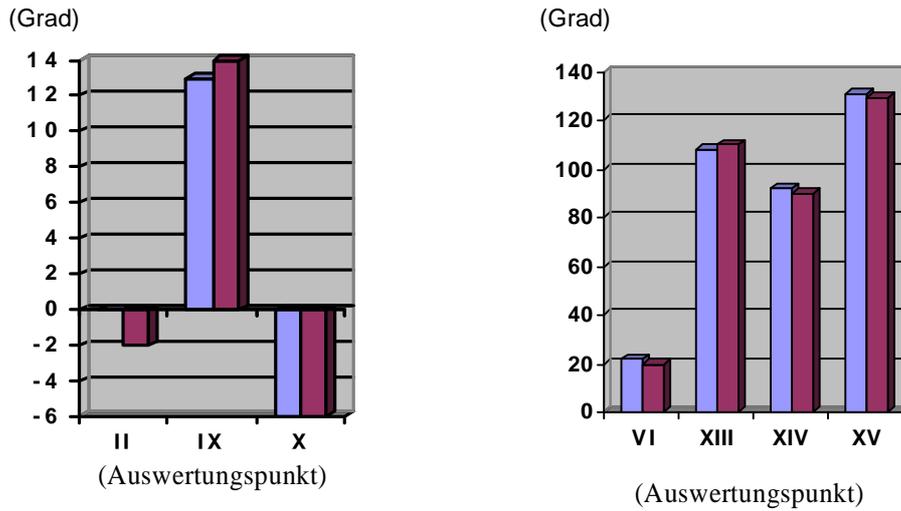


Abbildung 26: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 3.

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Abweichungen

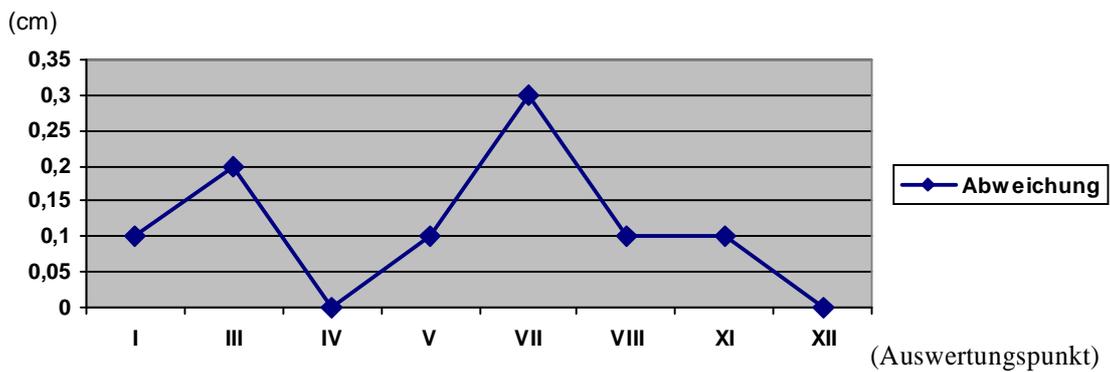


Abbildung 27: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 3.

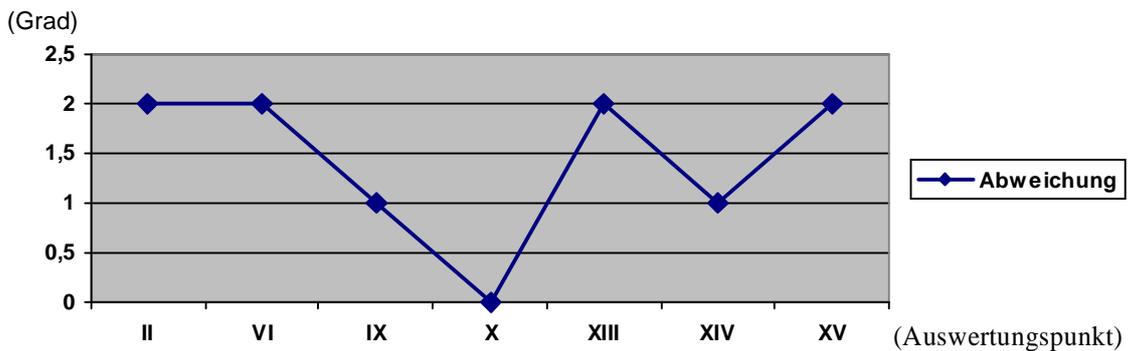


Abbildung 28: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 3.

4.3.1.4 Patient 4

Tabelle 8: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 4 bei manueller und computer-gestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander.
Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Manuell	0,5	3	0,2	0	0,1	21	1,1	1,2
Computer	-0,1	-1	0,3	0,1	-0,2	18	1,5	1,1
Abweichung	0,6	4	0,1	0,1	0,3	3	0,4	0,1

	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Manuell	-2	14	0,4	-0,3	116	73	140	
Computer	-4	14	0,4	-0,3	107	73	134	
Abweichung	2	0	0	0	9	0	6	

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte

■ Manuelle Auswertung ■ Computer Auswertung

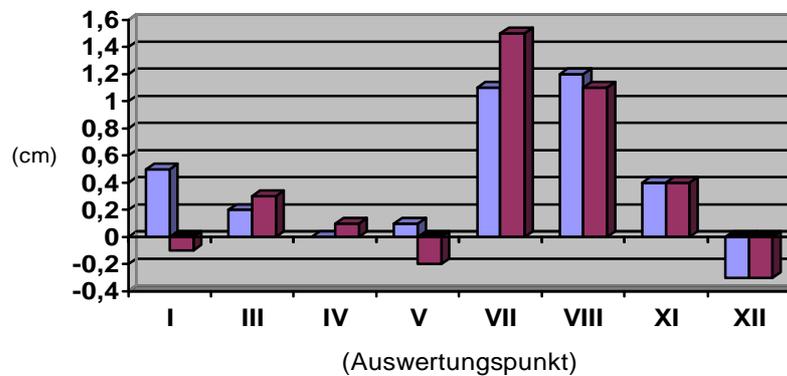


Abbildung 29: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 4.

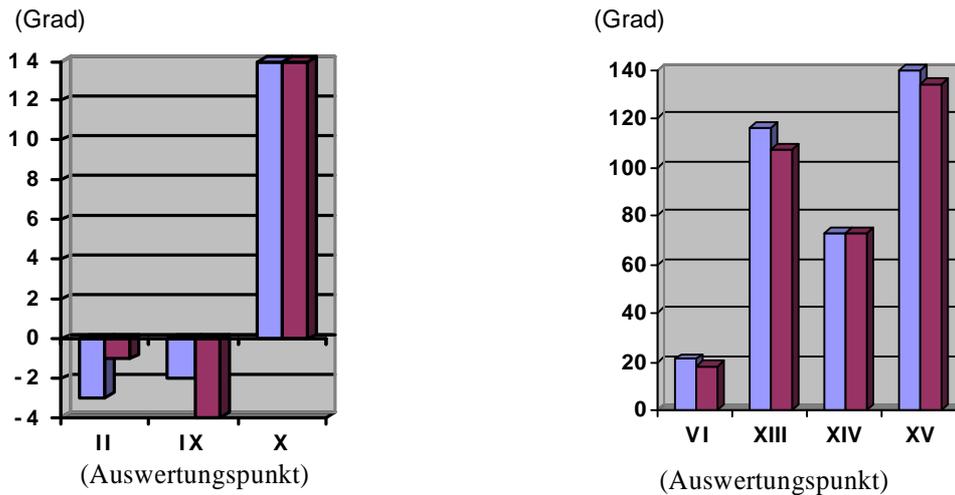


Abbildung 30: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 4.

Graphische Darstellung der einzelnen Abweichungen

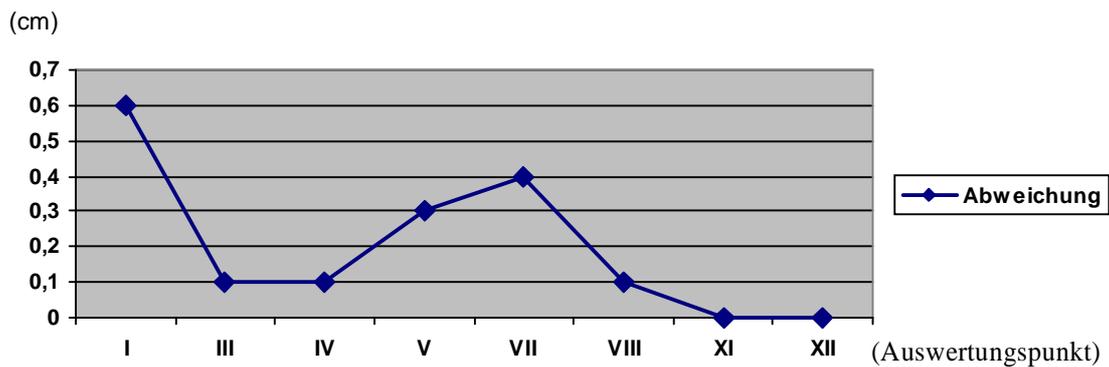


Abbildung 31: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 4.

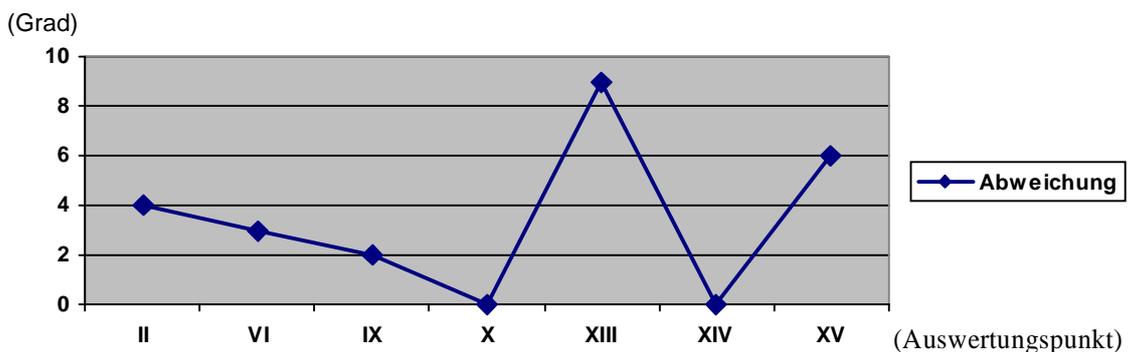


Abbildung 32: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 4.

4.3.1.5 Patient 5

Tabelle 9: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 5 bei manueller und computer-gestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander.
Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Manuell	0	0	0,7	-0,5	-0,3	19	0,4	0,3
Computer	0,2	-2	0,7	-0,5	-0,2	19	0,4	0
Abweichung	0,2	2	0	0	0,1	0	0	0,3

	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Manuell	-8	12	-0,1	-1,0	130	78	128	
Computer	-9	7	-0,4	-1,2	134	74	124	
Abweichung	1	5	0,3	0,2	4	4	4	

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte

■ Manuelle Auswertung ■ Computer Auswertung

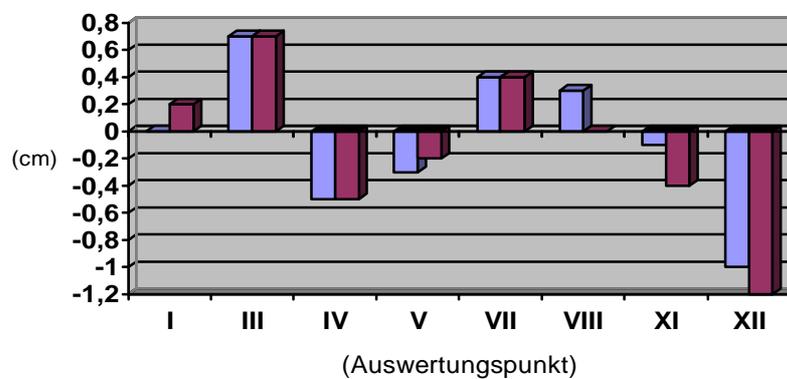


Abbildung 33: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 5.

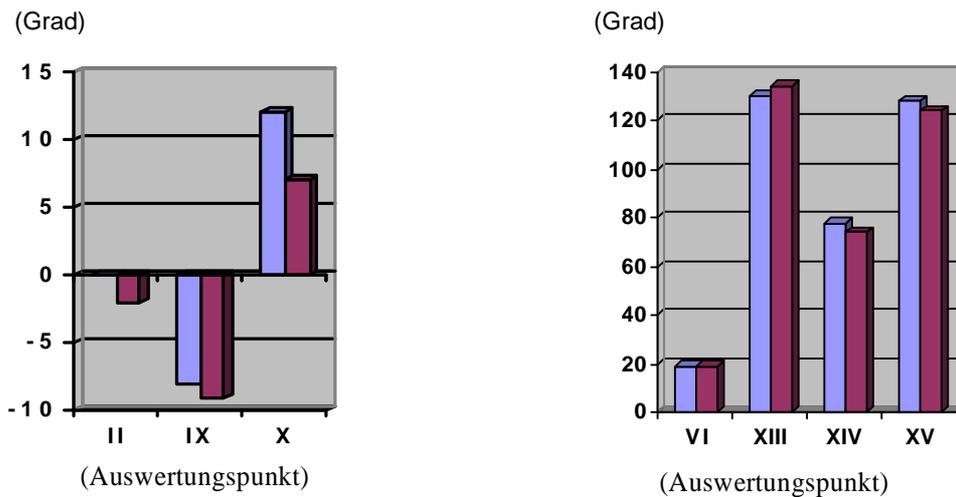


Abbildung 34: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 5.

Ø **Graphische Darstellung der einzelnen Abweichungen**

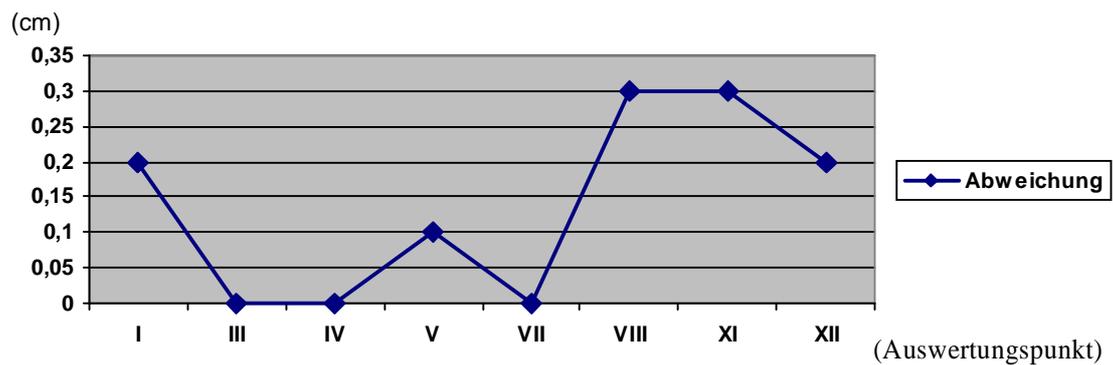


Abbildung 35: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 5.

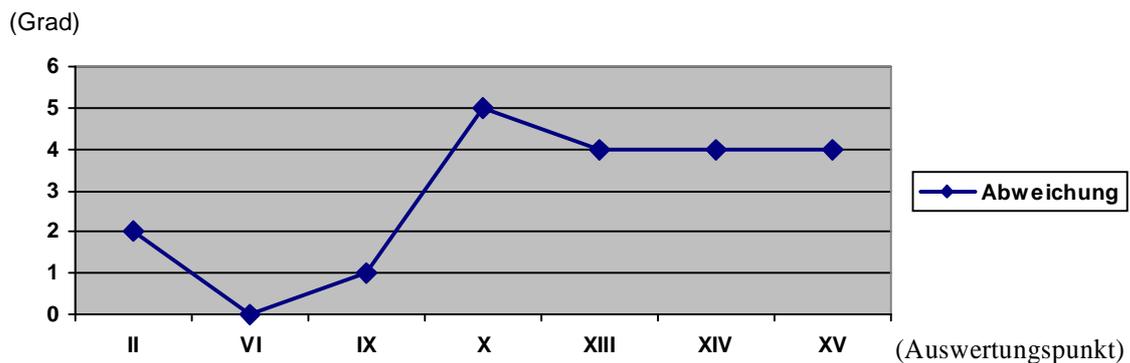


Abbildung 36: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 5.

4.3.1.6 Patient 6

Tabelle 10: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 6 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Manuell	-0,9	0	0,5	-0,7	-0,2	21	0,2	-1,3
Computer	-0,5	0	0,5	-0,7	0	22	0,5	-0,9
Abweichung	0,4	0	0	0	0,2	1	0,3	0,4

	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Manuell	-4	6	1,8	-0,2	118	84	135	
Computer	-3	-1	1,6	-0,4	115	84	130	
Abweichung	1	5	0,2	0,2	3	0	5	

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte

■ Manuelle Auswertung ■ Computer Auswertung

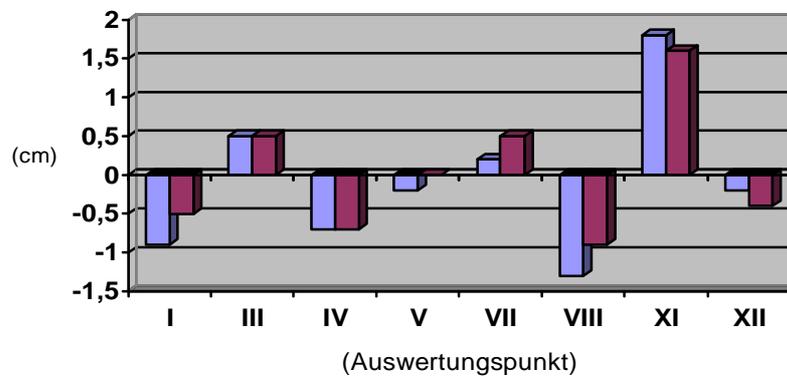


Abbildung 37: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 6.

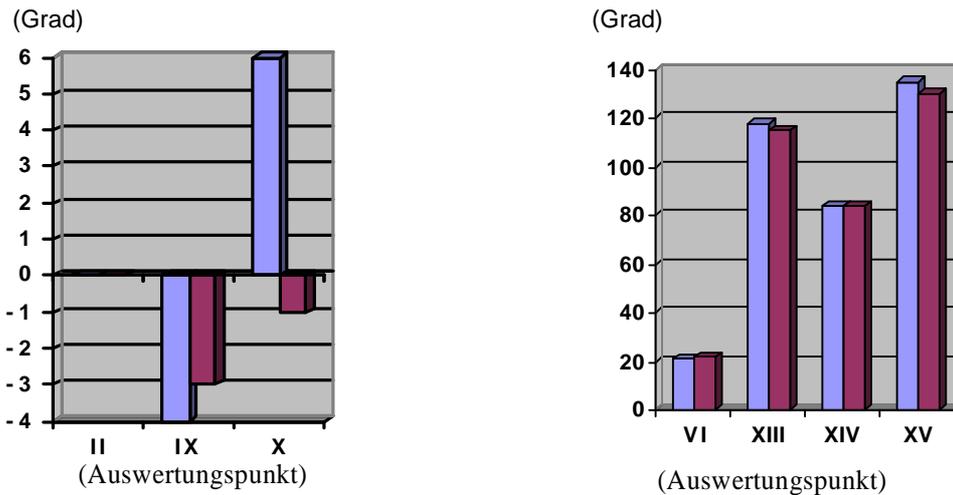


Abbildung 38: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 6.

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Abweichungen

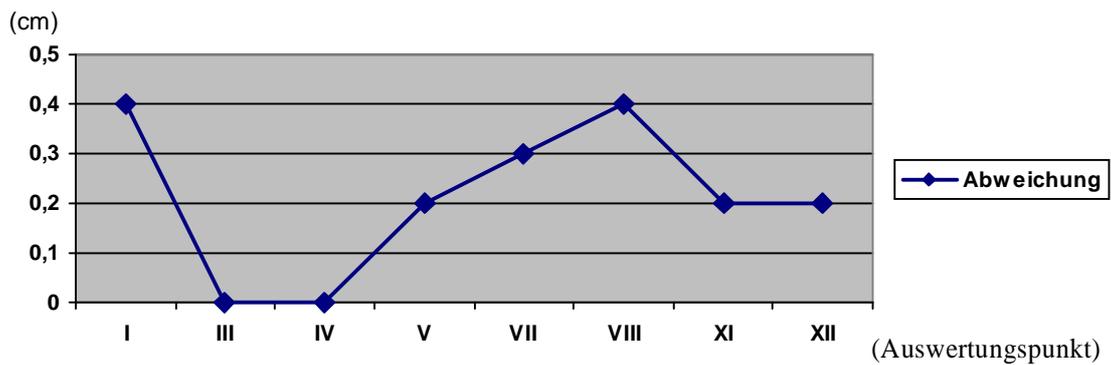


Abbildung 39: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 6.

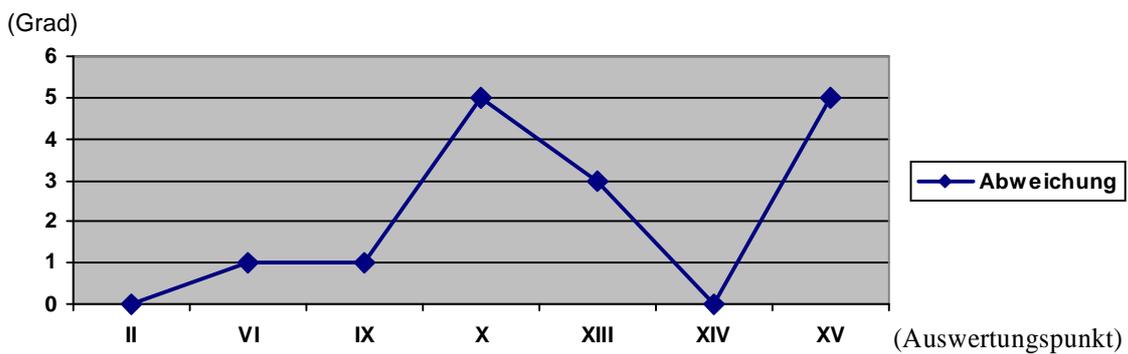


Abbildung 40: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 6.

4.3.1.7 Patient 7

Tabelle 11: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 7 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Manuell	-0,3	-3	0,4	-0,2	0,2	21	0,3	0,4
Computer	-0,5	-4	0,3	-0,3	-0,2	19	0	0
Abweichung	0,2	1	0,1	0,1	0,4	2	0,3	0,4

	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Manuell	-9	6	0,4	0,2	130	102	105	
Computer	-11	5	0,1	-0,3	129	100	108	
Abweichung	2	1	0,3	0,5	1	2	3	

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte

■ Manuelle Auswertung ■ Computer Auswertung

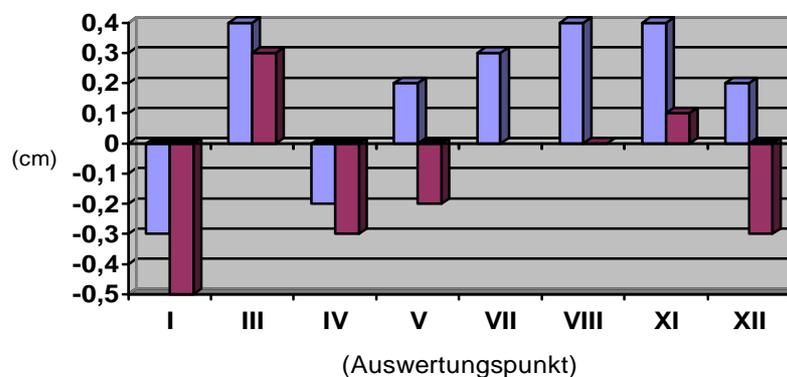


Abbildung 41: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 7.

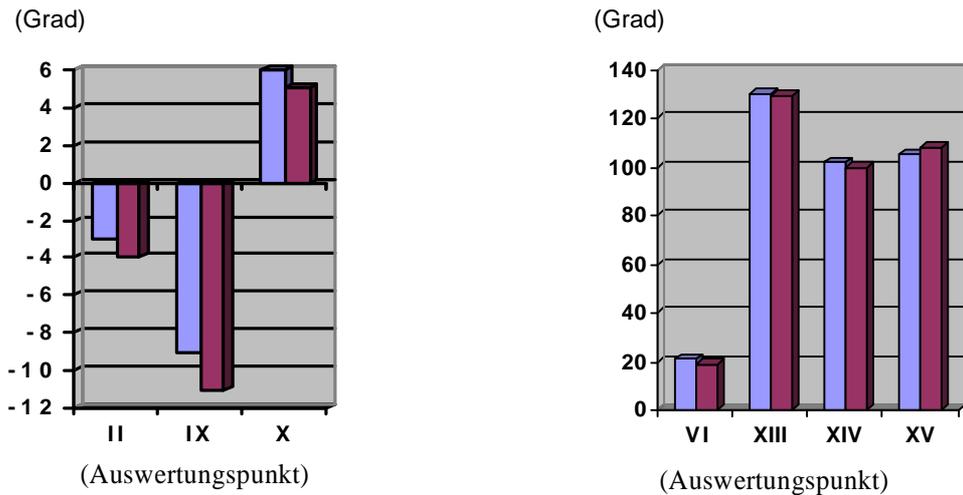


Abbildung 42: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 7.

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Abweichungen

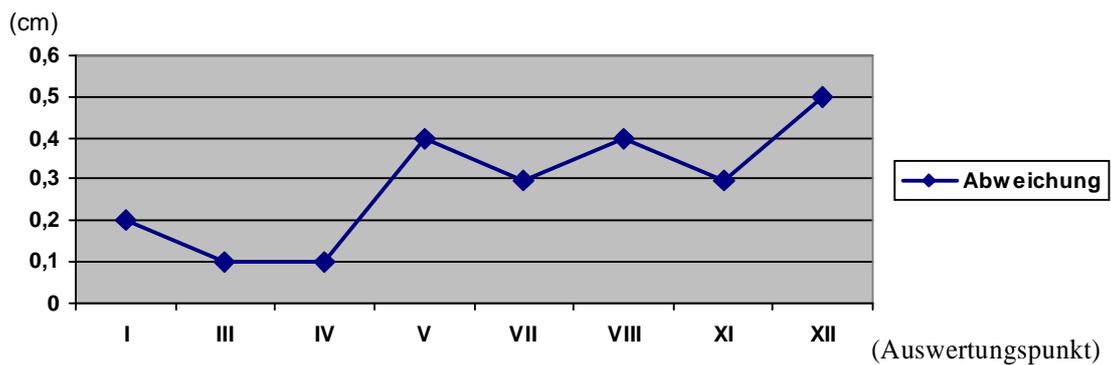


Abbildung 43: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 7.

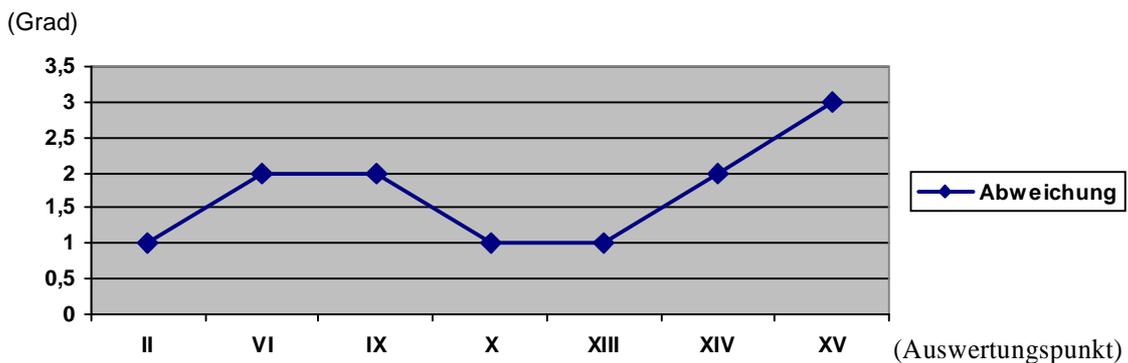


Abbildung 44: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 7.

4.3.1.8 Patient 8

Tabelle 12: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 8 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Manuell	-0,2	-2	0,2	0,4	-0,2	21	0,5	-0,4
Computer	-0,7	-1	0,3	0,3	-0,3	21	0,5	-0,7
Abweichung	0,5	1	0,1	0,1	0,1	0	0	0,3

	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Manuell	4	6	1,3	0,8	110	81	145	
Computer	1	2	0,7	0,2	103	75	138	
Abweichung	3	4	0,6	0,6	7	6	7	

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte

■ Manuelle Auswertung ■ Computer Auswertung

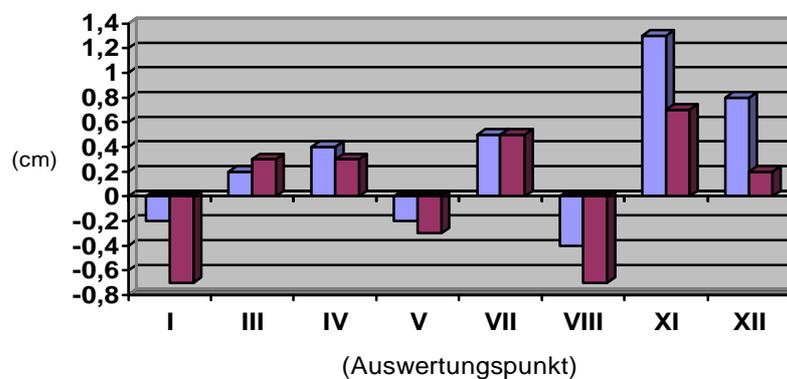


Abbildung 45: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 8.

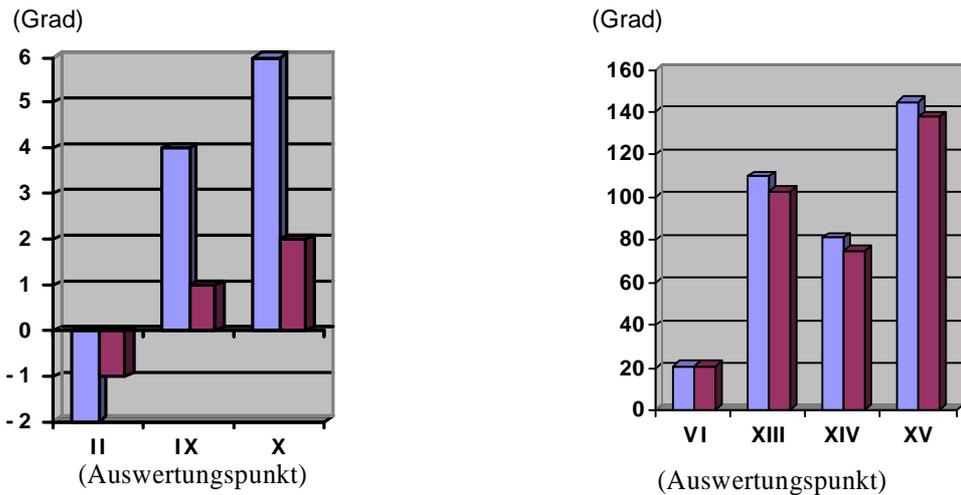


Abbildung 46: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 8.

Ø **Graphische Darstellung der einzelnen Abweichungen**

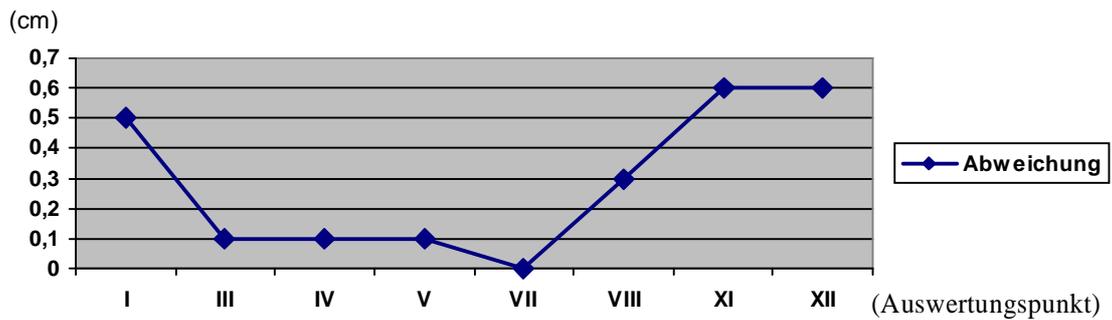


Abbildung 47: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 8.

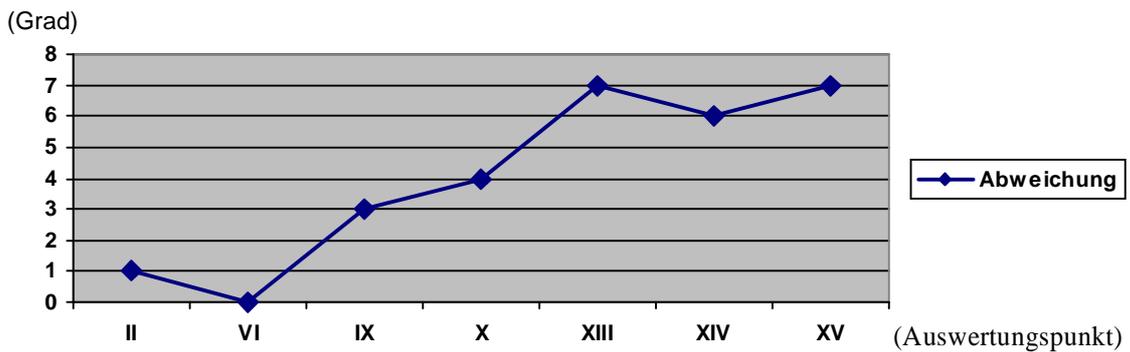


Abbildung 48: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 8.

4.3.1.9 Patient 9

Tabelle 13: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 9 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Manuell	-0,9	9	0,3	-0,2	-0,8	16	-0,8	0,4
Computer	-1,4	7	0,6	-0,2	-0,6	17	-0,6	0,1
Abweichung	0,5	2	0,3	0,2	0,2	1	0,2	0,3

	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Manuell	8	10	1	-0,9	128	84	116	
Computer	6	9	0,9	-0,9	122	81	126	
Abweichung	2	1	0,1	0	6	3	10	

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte

■ Manuelle Auswertung ■ Computer Auswertung

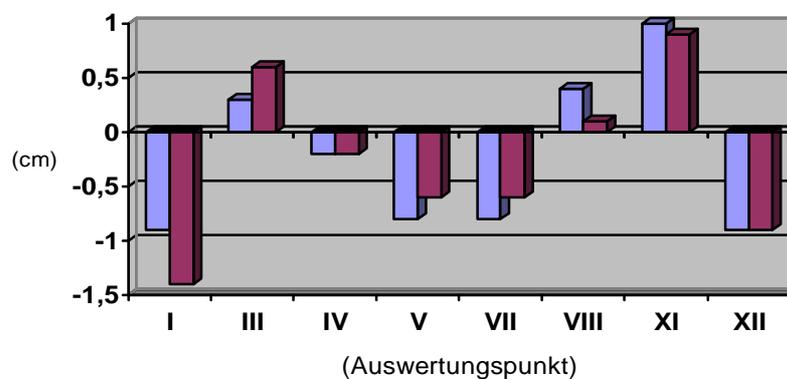


Abbildung 49: graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 9.

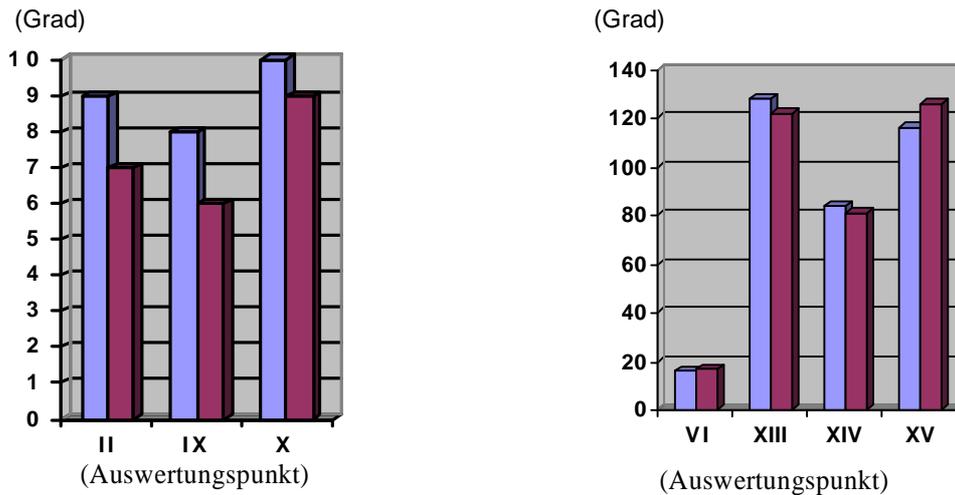


Abbildung 50: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 9.

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Abweichungen

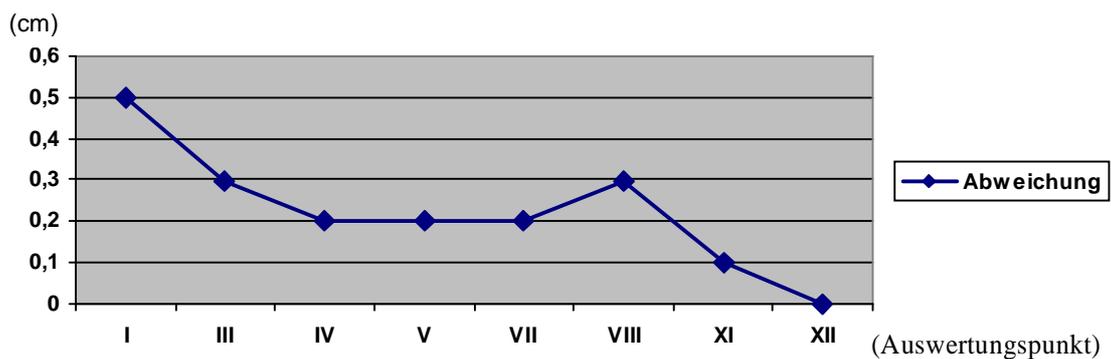


Abbildung 51: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 9.

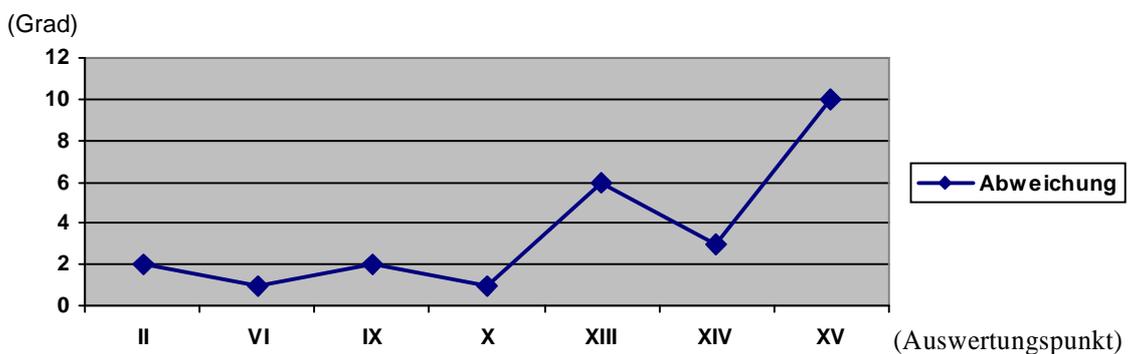


Abbildung 52: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 9.

4.3.1.10 Patient 10

Tabelle 14: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 10 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Manuell	0,4	-3	0,8	-0,8	0	26	0,1	-1,2
Computer	0,1	-6	0,5	-0,7	-0,1	24	0,1	-0,6
Abweichung	0,3	2,9	0,3	0,1	0,1	2	0	0,6

	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Manuell	-2	3	0,8	-0,1	107	102	130	
Computer	-2	3	1,1	0,4	109	101	125	
Abweichung	0	0,2	0,3	0,5	2	1	5	

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Werte

■ Manuelle Auswertung ■ Computer Auswertung

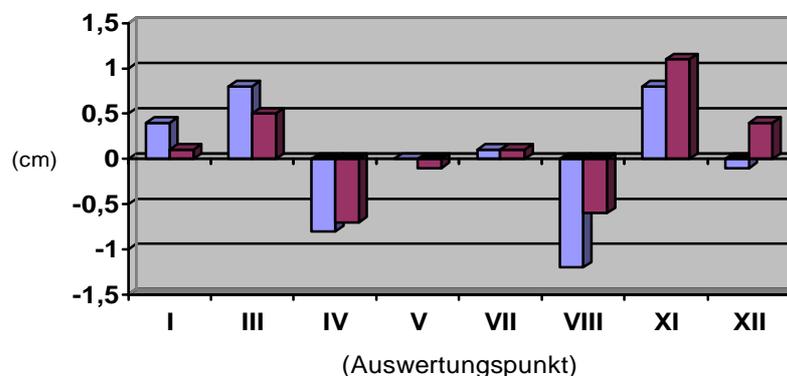


Abbildung 53: graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 10.

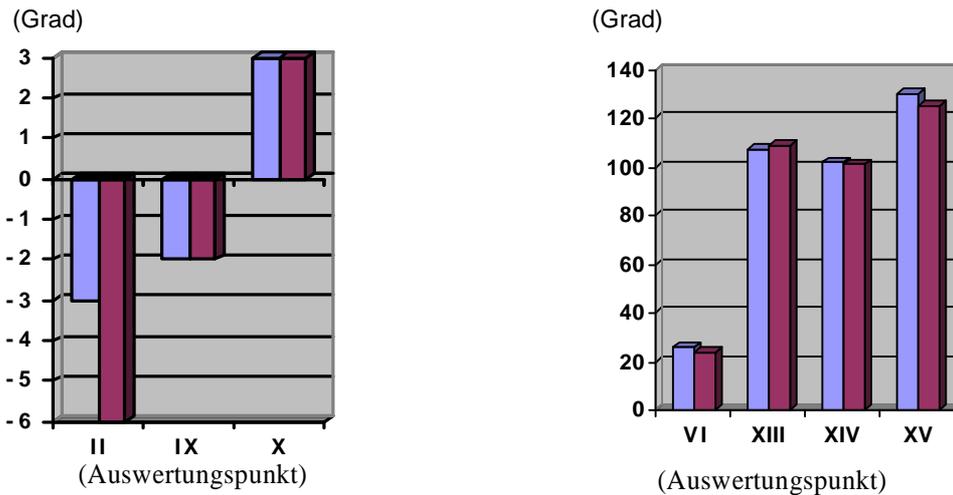


Abbildung 54: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 10.

Ø Graphische Darstellung der einzelnen Abweichungen

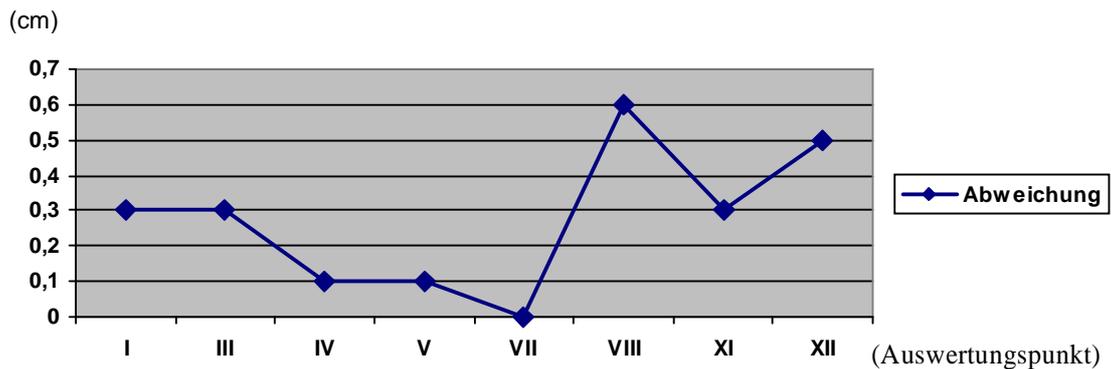


Abbildung 55: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 10.

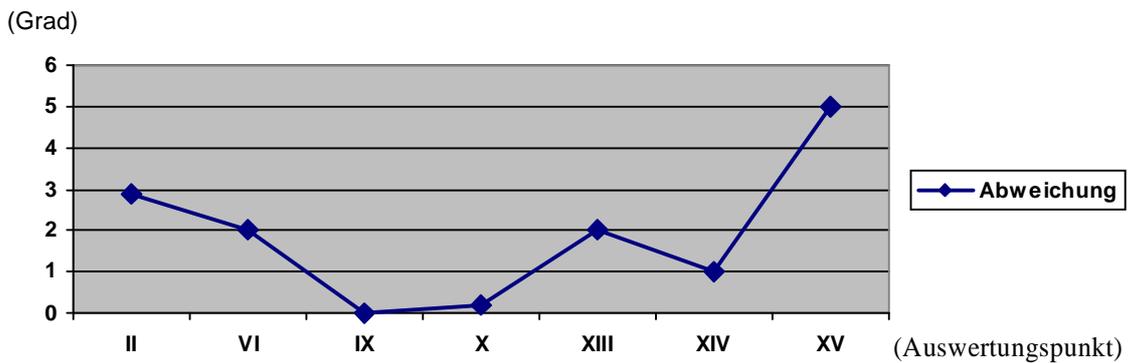


Abbildung 56: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 10.

4.3.2 Darstellung aller Abweichungen

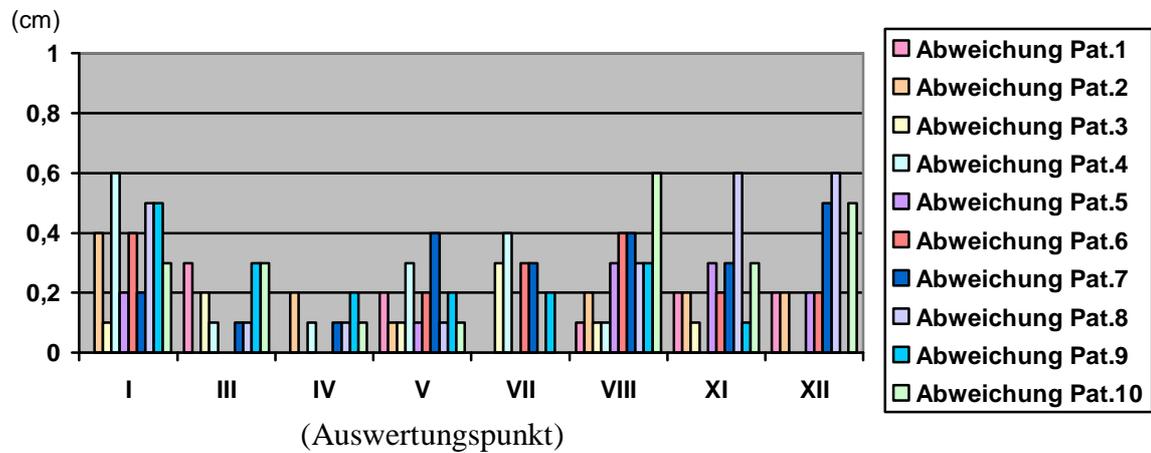


Abbildung 57: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII aller Patienten.

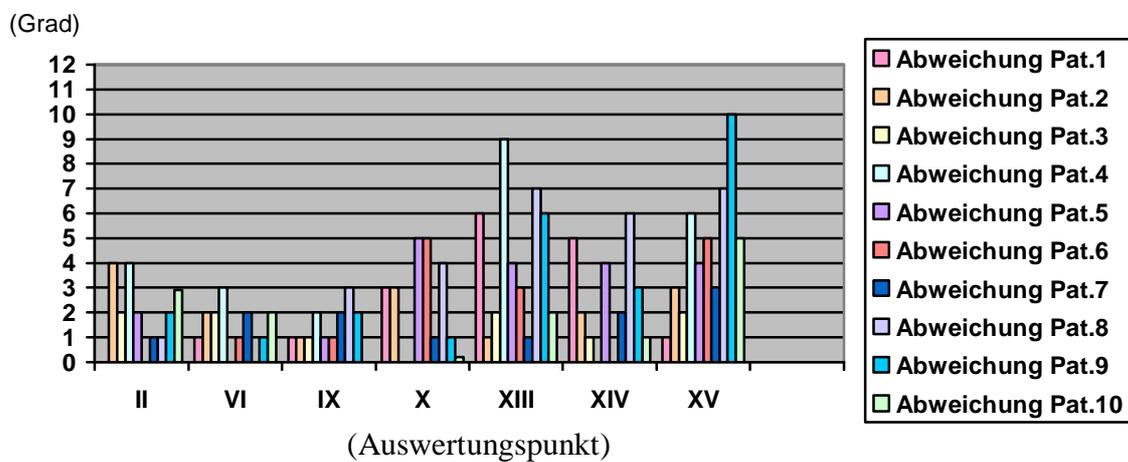


Abbildung 58: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV aller Patienten.

4.3.3 Abweichungen der einzelnen Auswertungspunkte

Im Folgenden werden die Minimal- und Maximalwerte der Abweichungen der Ergebnisse bei manueller und computergestützter Analyse für jeden einzelnen Auswertungspunkt vorgestellt. Es sollte überprüft werden, ob bei einzelnen Auswertungspunkten Berechnungsfehler durch das Programm vorgenommen wurden.

Die Grafiken stellen so genannte Boxplots dar. Diese zeigen den Interquartilsabstand (0,25%- Quartil bis 0,75%-Quartil) als Kasten (engl.: box). Der Kasten umfasst die mittleren 50 % der Daten. Quer in dieser Box liegt eine dicke Linie, welche das 50%- Quartil darstellt und die Lage des Medians anzeigt. Es handelt sich hierbei um einen Wert, der im Gegensatz zum statistischen Mittelwert nicht von extrem abweichenden Werten beeinflusst wird. Vom oberen Ende des Kastens wird eine Strecke bis zum maximalen Wert gezeichnet. Ebenso stellt eine Linie vom unteren Ende des Kastens den minimalen Wert dar.

Den nachfolgenden Tabellen ist zudem die Standardabweichung zu entnehmen. Mit der Standardabweichung wird die durchschnittliche Abweichung vom arithmetischen Mittel angegeben.

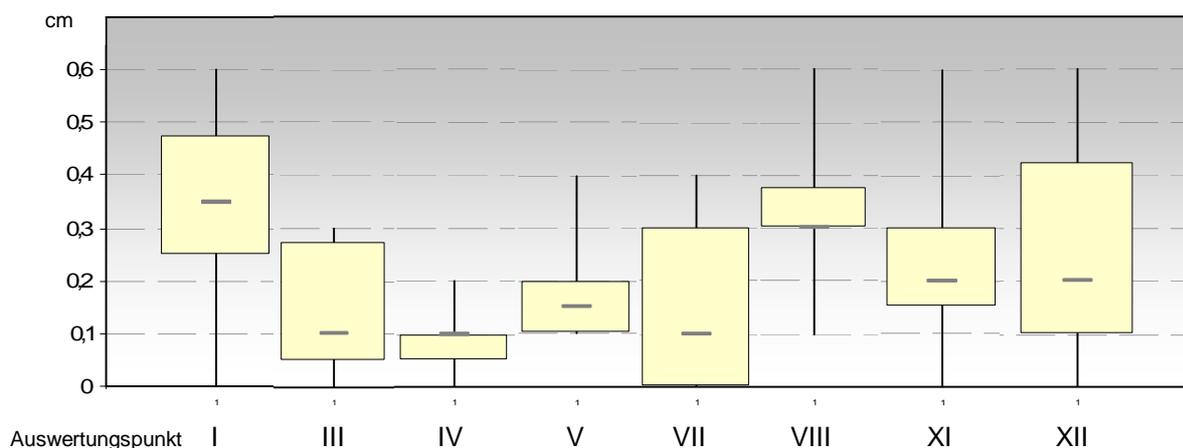


Abbildung 59: Graphische Darstellung der Abweichungen der in mm gemessenen Auswertungspunkte in Form von Boxplots.

Auswertungspunkt I: Sagittale Lage der Maxilla in Bezug zur Schädelbasis

Tabelle 15: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes I in cm.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
0,35	0,6	0	0,47	0,25	0,19

Auswertungspunkt III: Basis der Maxilla

Tabelle 16: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes III in cm.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
0,1	0,3	0	0,27	0,05	0,12

Auswertungspunkt IV: Sagittale Lage des Condylus in Bezug zum Schädel

Tabelle 17: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes IV in cm.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
0,1	0,2	0	0,1	0,05	0,07

Auswertungspunkt V: Sagittale Lage des Condylus in Bezug zum kraniospinalen Gelenk

Tabelle 18: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes V in cm.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
0,15	0,4	0,1	0,2	0,1	0,10

Auswertungspunkt VII: Sagittale Lage des UK in Bezug zum oberen Viscerocranium

Tabelle 19: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes VII in cm.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
0,1	0,4	0	0,3	0	0,16

Auswertungspunkt VIII: Sagittale Lage des Corpus mandibulae in Bezug zum Schädel

Tabelle 20: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes VIII in cm.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
0,3	0,6	0,1	0,37	0,3	0,16

Auswertungspunkt XI: Bewertung der unteren Gesichtshöhe

Tabelle 21: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes XI in cm.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
0,2	0,6	0	0,3	0,15	0,16

Auswertungspunkt XII: Schädelhöhe

Tabelle 22: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes XII in cm.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
0,2	0,6	0	0,42	0,1	0,22

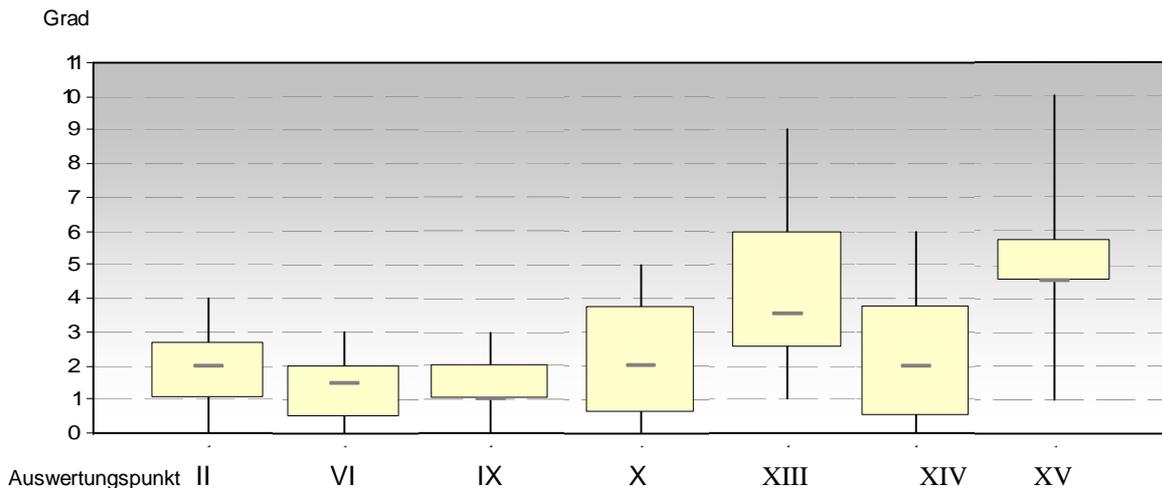


Abbildung 60: Grafische Darstellung der Abweichungen der in Grad gemessenen Auswertungspunkte in Form von Boxplots.

Auswertungspunkt II: Vertikale Ausrichtung der Maxilla (Neigung) in Bezug zur Schädelbasis

Tabelle 23: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes II in Grad.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
2	4	0	2,67	1	1,44

Auswertungspunkt VI: Vertikale Lage des Condylus in Bezug zur Schädelbasis

Tabelle 24: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes VI in Grad.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
1,5	3	0	2	0,5	0,96

Auswertungspunkt IX: Ausrichtung des Corpus mandibulae

Tabelle 25: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes IX in Grad.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
1	3	0	2	1	0,84

Auswertungspunkt X: Ausrichtung des Ramus mandibulae

Tabelle 26: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes X in Grad.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
2	3	0	2,75	0,6	2,02

Auswertungspunkt XIII: : Obere Frontzahnneigung

Tabelle 27: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes XIII in Grad.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
3,5	9	1	6	2,5	2,76

Auswertungspunkt XIV: Untere Frontzahnneigung

Tabelle 28: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes XIV in Grad.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
2	6	0	3,75	0,5	2,06

Auswertungspunkt XV: Interinzisalwinkel

Tabelle 29: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes XV in Grad.

Median	Maximum	Minimum	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Standard-Abweichung
4,5	10	1	5,75	4,5	2,63

4.3.4 Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse

Der Vergleich der Werte der einzelnen Auswertungspunkte bei manueller und bei computergestützter Analyse unter 4.3.1 und 4.3.2 zeigt, dass bei nahezu allen Werten eine starke Ähnlichkeit zwischen den beiden Analysemethoden bestand.

Werte mit unterschiedlichem Vorzeichen bei manueller und computergestützter Analyse zeigten sich bei:

- Auswertungspunkt I und V des Patienten 4,
- Auswertungspunkt X des Patienten 6,
- bei Auswertungspunkt V und XII des Patienten 7
- sowie bei Auswertungspunkt XII des Patienten 10.

Es lässt sich somit keine auffällige Häufung der Zuordnung eines falschen Vorzeichens bei einem bestimmten Auswertungspunkt erkennen.

Die Grafiken in 4.3.2 zeigen deutlich das Ausmaß der Abweichungen. Die höchste Abweichung der in Millimeter gemessenen Strecken betrug 0,6 cm. Dieser Wert wurde bei Patient 4, Patient 10 und zwei Mal bei Patient 8 erhoben.

Insgesamt lagen nur acht der gemessenen Werte bei einer Abweichung von über 4 Grad. Diese zeigten sich bei Patient 4, Patient 7, Patient 9, zwei Mal bei Patient 10 und drei Mal bei Patient 8.

Die höchste Abweichung der in Grad gemessenen Werte betrug 10 Grad und wurde bei Patient 9 gemessen.

Nur vier Werte zeigten eine Abweichung von über 6 Grad. Diese waren bei Patient 4, Patient 9 und zwei Mal bei Patient 8 zu finden.

Eine Häufung der Abweichungen ist somit nur bei Patient 8 zu erkennen.

Unter 4.3.3 ist zu erkennen, dass nahezu alle in Millimeter gemessenen Strecken einen Median ihrer Abweichungen bei den unterschiedlichen

Patienten von $\leq 0,2$ cm haben. Lediglich Auswertungspunkt I (Median 0,35 cm) und VII (Median: 0,3 cm) liegen über diesem Wert.

Bei den in Grad gemessenen Auswertungspunkten liegt der Median fast aller Abweichungen bei ≤ 2 Grad. Hiervon weichen nur die dentalen Punkte ab, wobei jedoch auch hier der Median bei allen Punkten unter 5 Grad liegt.

5 Diskussion

Die nachfolgende Diskussion ist in Anlehnung an die drei Aufgabenbereiche dieser Arbeit unterteilt in die kritische Betrachtung der Punkte:

5.1 Die computergestützte Analyse

5.2 Anwendung von FRS-Analysen zur Planung von Dysgnathitherapien

5.3 Die grundsätzliche Verwendung der Analysemethode nach Delaire

5.1 Die computergestützte Analyse

5.1.1 Verbesserungen der computergestützten Analyse

Bei der Entwicklung der computergestützten Analyseform wurde bereits während der Entwicklungsphase immer wieder die klinische Anwendbarkeit des Verfahrens geprüft.

So zeigte sich beispielsweise schon nach den ersten Versuchen, dass eine gute Sichtbarkeit der markierten Punkte auf dem Bildschirm wichtig ist. Die hierfür zunächst verwandte Farbe schwarz wurde verändert in weiß, da die schwarz dargestellten Punkte an stark röntgenopaken Strukturen nur ungenau zu lokalisieren waren. Ebenso wurde auch die Darstellung der Strecken in die weiße Farbe geändert.

Aufgrund der Zielsetzung das Programm so zu gestalten, dass es auch von Personen durchgeführt werden kann, die die Delaire-Analyse zuvor noch nicht kennen gelernt haben, wurde mit der „Hilfe“-Funktion eine Möglichkeit eingefügt, welche die einzelnen Punkte und ihre Lokalisation beschreibt.

Des Weiteren wurde auf eine übersichtliche Darstellung aller Analysepunkte geachtet. Durch die Aufreihung der zu setzenden Punkte am rechten Bildrand

kann der Anwender stets sehen, welche Punkte noch zu setzen sind und hat einen guten Überblick bei welchem Schritt der Analyse er sich befindet.

Nach Erstellung der Grundform der computergestützten Analyse begann schon früh die Überprüfung der Mess- und Berechnungsgenauigkeit des Programms. Immer wieder wurden Röntgenbilder zunächst manuell und dann, nach Einscannung, mittels des computergestützten Analysesystems ausgewertet. Der Vergleich der Werte half die Fehler des Programms aufzudecken.

Im Zuge der Entwicklung kam es immer wieder zu unterschiedlichsten Problematiken bezüglich der Messung und Berechnung von Werten und Winkeln. Kleinste Programmierfehler (beispielsweise Zahlendreher) führten zu gravierend abweichenden Werten.

Häufig wurde festgestellt, dass das Programm z.B. nicht den Winkel zwischen den gewünschten Strecken, sondern zu anderen Strecken berechnete oder die Entfernungsstrecken falscher Bezugspunkte maß.

Mit Komplikationen behaftet war auch die Verknüpfung der gemessenen Ergebnisse mit dem richtigen Vorzeichen, da diese beispielsweise auf Definitionen wie „Werte, die kranial von ME´ gemessen werden erhalten ein negatives Vorzeichen“ beruhen. Eine falsche Zuordnung des Vorzeichens führt zu einer falschen Auswahl der verknüpften verbalen Bewertung und hat somit gravierende Folgen für die Aussage der Analyse. So wird beispielsweise aus einer mandibulären Prognathie durch ein falsches Vorzeichen eine mandibuläre Retrognathie.

Auch Winkel können abweichend von den Grundlagen der Mathematik nach diesen Definitionen einen negativen Wert annehmen.

Alle vom Programm automatisch gesetzten Strecken mussten in ihrer Länge an die Variabilität der Größe der unterschiedlichen Patientenschädel angepasst werden.

Auch die Lokalisation der Beschriftungen der Punkte und Strecken musste immer wieder umgestellt werden, da es aufgrund unterschiedlichster

Schädelformen und damit unterschiedlichster Lagen der Strecken zu Überschneidungen der Benennungen kam.

Erst als nach zahlreichen Versuchen keinerlei Berechnungsfehler mehr entdeckt werden konnten, wurde der in dieser Arbeit vorgestellte „Test“ durchgeführt.

5.1.2 Die Verwendung von computergestützten Analyseverfahren im Vergleich zur manuellen Durchzeichnung

Da die Lokalisationsgenauigkeit von Referenzpunkten als Indikator für die diagnostische Qualität einer Fernröntgentechnik angesehen wird [40], ist es wichtig diese bei dem hier entwickelten Computerprogramm zu überprüfen.

Grundlegend ist die Exaktheit und Reproduzierbarkeit der Auswertung von Röntgenbildern, die zuvor durch Einscannen digitalisiert wurden, zu hinterfragen. In einer von Turner durchgeführten Studie wurden die Ergebnisse der Analysen von FRS-Aufnahmen verglichen, die 1. mittels einer Durchzeichnung auf Folie und Ausmessung mittels Geodreieck, 2. mittels einer Durchzeichnung auf Folie und anschließender Digitalisierung der markierten Punkte und Auswertung durch ein Computerprogramm und 3. mittels direkter Einscannung, Markierung und Auswertung mit Hilfe eines Computerprogramms erfolgte. Er fand nur bei sehr wenigen Punkten einen signifikanten Unterschied zwischen den Ergebnissen [103].

Andere Autoren sehen die direkte Digitalisierung als die am besten reproduzierbare und genaueste Methode an [78]. Im Vergleich zu anderen Methoden bringt die direkte Digitalisierung eine geringere Bandbreite an Fehlermöglichkeiten mit sich, da die Winkel und Distanzen automatisch mittels der Computersoftware berechnet werden und so die Fehlerquellen des Messens oder Ablesens entfallen [17].

Jedoch zeigten einige Studien, dass bei bestimmten Punkten die Einzeichnung mit der Technik der alleinigen manuellen Durchzeichnung leichter fällt [80]. Diese Punkte konnten aufgrund der vorher möglichen Umrandung der Begrenzung der entsprechenden Struktur (z.B. der Kondylen oder der Frontzähne) besser lokalisiert werden.

Jedoch werden die Vorteile der manuellen Durchzeichnung durch die Möglichkeiten der Bildbearbeitung, wie der Vergrößerung der Strukturen (Zooming), der Kontrastvariationen und der damit verbundenen leichteren Lokalisation bei der Verwendung von Computerprogrammen relativiert.

Die Verwendung von computergestützten Auswertungsprogrammen ist zudem meist mit erheblichen Zeiteinsparungen verbunden, da hierbei die Messung von Winkeln und Strecken gleichzeitig mit deren Einzeichnung erfolgt und auch die Aufzeichnung der Werte direkt vorgenommen wird.

Computergespeicherte Daten und digitalisierte Röntgenbilder ermöglichen einen unkomplizierten und schnellen Austausch von Patienteninformationen über Netzwerke zwischen unterschiedlichen Behandlern. Aufgrund der Möglichkeit des Ausdrucks der Ergebnisse ist das computergestützte Programm auch für Behandler geeignet, die ansonsten eine Archivierung der Patientendaten nicht in EDV-Datenbanken vornehmen.

5.1.3 Überprüfung der klinischen Anwendbarkeit der computergestützten Analyse

Ausgehend von der Annahme der korrekten Lokalisation der Referenzpunkte bei der manuellen Durchzeichnung wurden Vergleiche zu den bei der computergestützten Analyse gefundenen Ergebnissen gezogen. Die in dieser Studie durchgeführten Betrachtungen sollten überprüfen, ob bei einer manuellen Auswertung im Vergleich zur computergestützten Auswertung desselben Röntgenbildes vergleichbare Werte erzielt werden.

Da jedoch nicht die Lokalisation der einzelnen Punkte in Bezug auf ein definiertes Koordinatensystem erfolgte, sondern die bei der Delaire-Analyse zu messenden Werte verglichen wurden, muss grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass stets Strecken in Bezug zu Punkten oder anderen Strecken gesetzt werden, bei deren vorherigen Lokalisation eventuell bereits Fehler aufgetreten sind. So kann es bei den einzelnen Ergebnissen zu einer Summation oder auch gegenseitigen Aufhebung der einzelnen Fehlerquellen der gesetzten Punkte kommen.

Durch die Überprüfung, ob bei den beiden unterschiedlichen Methoden der Analyse vergleichbare Werte gemessen werden, wird gleichzeitig sowohl die gut mögliche Lokalisation der Punkte auf dem Computerbildschirm mittels der dargebotenen Software als auch die Überprüfung der korrekt durchgeführten Berechnungen durch das Programm durchgeführt.

Über die Lokalisationsgenauigkeit von kephalometrischen Punkten lassen sich in der Literatur zahlreiche Studien finden [2,67,77,83,94].

Grundlegend stellten die verschiedenen Studien fest, dass sich für jeden Referenzpunkt ein bestimmter Fehlerradius aufzeichnen lässt [67,94].

Diese Variationen können auch bei der hier durchgeführten Studie zu unterschiedlichen Werten bei den Auswertungen führen.

Trypkova erstellte 1997 eine Metaanalyse hinsichtlich der Lokalisationsgenauigkeit und Reproduzierbarkeit kephalometrischer Referenzpunkte und kam zu dem Schluss, dass ein maximaler Fehler von 0,56 bis 0,59 cm als ein akzeptables Level zu betrachten ist [102].

So tritt beispielsweise bei dem Punkt **ANS** eine Ungenauigkeit auf, da der Knochenschatten der Spina nasalis anterior oftmals nicht vollständig zu erkennen ist. Es entstehen hierdurch Variationen in der Punktlokalisierung sowohl in der Sagittalen als auch in der Vertikalen [34].

Die schwierige Lokalisation des Punktes ANS kann sich bei der Delaire-Analyse auf den Auswertungspunkt II (vertikale Ausrichtung der Maxilla) auswirken. Dieser Auswertungspunkt zeigte jedoch mit einem Median von 2 Grad keine Auffälligkeit. Zudem kann eine fehlerhafte Setzung des Punktes in der Vertikalen zu abweichenden Ergebnissen bei Auswertungspunkt XI (Bewertung der unteren Gesichtshöhe) führen. Auch hier ist mit einem Median von 0,2 cm keine Auffälligkeit festzustellen.

Trypkova stellte in seiner Studie fest, dass die fossa pterygoidea sowie die Unterkiefersymphyse Strukturen mit hoher Identifizierungsgenauigkeit sind [102]. Bei der Delaire-Analyse bezieht sich dies auf die Punkte **PTS** und **ME**.

Der Punkt PTS ist sowohl entscheidend für den Auswertungspunkt III (Einteilung in maxillo- und mandibulofaziales Feld) als auch den Auswertungspunkt VIII (Bewertung der sagittalen Lage des Corpus mandibulae in Bezug zum Schädel). Bei dem in dieser Arbeit durchgeführten Vergleich zeigte sich der Median bei Auswertungspunkt III mit 0,1 cm und bei Auswertungspunkt VIII mit 0,3 cm ohne Besonderheiten.

Zu den leicht aufzufinden Punkten gehört der Punkt **NA (Nasion)** [34].

Beschreibungen von Identifizierungsgenauigkeiten lassen sich in der Literatur auch bei dem Punkt **OD** und der Region des Condylus mandibulae [102] finden. Von beiden Punkten ist der Auswertungspunkt V (sagittale Lage des Condylus mandibulae in Bezug zum craniospinalen Gelenk) abhängig. Hier zeigt die durchgeführte Studie nur einen Median von 0,15 cm, womit sich diese Lokalisationsungenauigkeiten nicht bestätigten.

Der am Conylus lokalisierte Punkt **CP** wirkt sich auf die Auswertungspunkte III (maxillo-/mandibulo- faziales Feld) und IV (kranio-faziales-/ kranio-spinales-Feld) aus. Der Median von III und IV zeigte einen Wert von 0,1 cm und ist nicht als erhöht zu bezeichnen.

Starke Abweichungen stellte Freisfeld auch bei der Markierung von **dentalen Punkten** fest [34]. Er berichtet beispielsweise von Winkelunterschieden bei der Einzeichnung des mittleren unteren Schneidezahnes von bis zu 10 Grad und begründet dies durch die Übereinanderprojizierung der vier vorderen Schneidezähne. In früheren Studien entdeckte der selbe Autor Winkelunterschiede des Interinzisalwinkels von bis zu 15 Grad [34]. Er betrachtete es als „Kuriosum“, dass die Werte dieses Winkels sich auch durch Übung nicht verbessern ließen. Er stellte auch nach mehrmaligem Durchzeichnen eine Standardabweichung von bis zu 4 Grad fest. Die hier durchgeführte Studie zeigte bei dem Analysepunkt XIV (Untere Frontzahnneigung) nur eine Standardabweichung von 2,06 Grad, jedoch wurden auch extreme Abweichungen von bis zu 6 Grad gemessen.

Auch Broadway berichtet von Unterschieden der oberen Schneidezahnwinkel mit einer Standardabweichung von 10 Grad [13]. Der Analysepunkt XIII (Obere Frontzahnneigung) zeigte in der vorliegenden Studie eine Standardabweichung von 2,76 Grad und Extremwerte von 9 Grad Abweichung.

Betrachtet man den Auswertungspunkt XV der hier durchgeführten Studie zeigten sich Unterschiede in den interinzisalen Winkeln von bis zu 10 Grad mit einer Standardabweichung von 2,63 Grad. Die hohen Werte der Abweichungen der dentalen Punkte in der durchgeführten Analyse lassen sich daher unter Betrachtung der in der Literatur gefundenen Werte als „normal“ bezeichnen und es ist nicht von einem Berechnungsfehler des Programms auszugehen.

Auch Miethke stellte starke Unterschiede zwischen der Lokalisationsgenauigkeit der Schneidekantenpunkte und der Apexpunkte der Inzisivi fest. Er begründet die wesentlich fehlerhaftere Lokalisation der Apexbereiche mit der weniger kontrastreichen Darstellung dieser Struktur aufgrund ihrer Lage innerhalb des Knochens [67]. Aufgrund fehlerhaft platzierter Apexbereiche kann eine Variation der Winkel entstehen.

Zudem ist der Vergleich der gemessenen Winkel bei Auswertungspunkt XIII für die OK-Inzisivi nicht allein von dentalen Punkten abhängig, da der Winkel in Bezug zu CF4 bzw. bei Auswertungspunkt XIV der UK-Inzisivi in Bezug zu CF6

gemessen wird. Daher sind hier sowohl Fehler bei der Lokalisation der dentalen Punkte als auch der für CF4/6 notwendigen Bezugspunkte möglich.

Genauer betrachtet ist bei CF4 (Parallele zu C3 durch ANS) eine Fehlermöglichkeit bereits vorher bei der Setzung des Bezugspunktes für die Linie C3 gegeben. Zudem kann eine nicht exakte Parallelität von C3 und CF4 zu falschen Aussagen führen.

Die Konstruktion der Strecke CF6 (MET zu OM oder MET zu GO) ist mit einer noch höheren Zahl an Fehlermöglichkeiten behaftet. Denn alle hier verwendeten Punkte sind konstruierte Punkte, bei denen schon bei der Konstruktion Fehler auftreten können.

Dieses Beispiel zeigt, wie kompliziert die Bewertung der Ergebnisse bei Verwendung von konstruierten Punkten zu betrachten ist. Doch da die hier gemessenen Werte noch unter dem in der Literatur angegebenen Wert liegen, ist davon auszugehen, dass die Konstruktion der Strecken CF4 und CF6 sowie die Berechnung der Winkel korrekt erfolgt ist und die geringen Variationen auf intraindividuelle Lokalisationsungenauigkeiten beruhen.

Generell ist das Definieren von Punkten auf **konvexen oder konkaven Oberflächen** (beispielsweise Br, OM und OP) mit größeren Fehlern behaftet [41].

Der Punkt **BR** (Bregma), der als Schnittpunkt der koronalen Sutur mit dem röntgenologischen Rand der Schädelkalotte definiert ist, zeigt Lokalisationsungenauigkeiten, da die Schädelsuturen ab einem Lebensalter von 30-40 Jahren bzw. bei kraniofazialen Dysmorphien obliterieren. Jedoch ist es bei computergestützten Auswertungen durch die Möglichkeiten der Helligkeits- und Kontrastregulation sowie der Vergrößerung des Röntgenbildes möglich, auch nur sehr gering abgebildete Strukturen aufzufinden, so dass diese Problematik relativiert wird. BR ist wichtig für die Konstruktion der Linie CF2 und somit ausschlaggebend für den Auswertungspunkt VIII (sagittale Lage des Corpus mandibulae). Dieser zeigte in der durchgeführten Studie

einen Median von 0,3 cm. Die Erkennung des Punktes Bregma zeigte sich in der vorliegenden Arbeit als nicht problematisch.

Grundsätzlich lässt sich resümieren, dass der von Trypkova als „Grenzwert“ für eine gute Treffsicherheit genannte Wert von 0,59 cm nur drei Mal (und dies lediglich mit dem Wert 0,6 cm) überschritten wurde. Es ist somit ein hohes Maß an Übereinstimmung zwischen manueller und computergestützter Analyse festzustellen.

Bei der angewendeten Reproduzierbarkeits-Überprüfung ist im Auge zu behalten, dass zahlreiche Fehlerquellen existieren, die unabhängig von der Berechnung des Computerprogramms Auswirkungen auf die Ergebnisse des Vergleichs haben. Die unterschiedlichen Möglichkeiten, die zu Abweichungen der Ergebnisse in dem durchgeführten Vergleich führen können, werden im Folgenden näher betrachtet.

5.2 Anwendung von FRS-Analysen zur Dysgnathie-Therapieplanung

5.2.1 Fehlerquellen der Fernröntgenseitenbild-Analysen

Es gibt bei der Anfertigung von Fernröntgenseitenaufnahmen und deren Analyse zahlreiche Fehlerquellen, welche auf der einen Seite die diagnostische Aussagekraft von kephalometrischen Analysen beeinflussen [34] und auf der anderen Seite zu Fehlern bei der Reproduzierbarkeit der Analysepunkte führen. Grundsätzlich ist die Lokalisierung kephalometrischer Bezugspunkte mit Fehlern behaftet. Diese wirken sich auf die einzelnen Messwerte und die Auswertung aus [13].

Die Art des Fehlers lässt sich differenzieren in **Identifikationsfehler**, welche durch die falsche Positionierung der Bezugspunkte entstehen und **radiographische Fehler**, welche bei der Erstellung des Röntgenbildes entstehen. Freisfeld spricht in diesem Zusammenhang von menschlichen und technischen Fehlern [34]. Bezüglich der fehlerhaften Durchzeichnung von FRS-Bildern hat der radiographische Fehler am Gesamtfehler den geringsten Anteil.

Ø Der Identifikationsfehler

Die größere Auswirkung auf die Analyse hat der Identifikationsfehler. Röntgenologisch schwer erkennbare Strukturen führen häufig zu einer fehlerhaften Lokalisation [67]. Abweichungen der gesetzten Punkte von mehreren Millimetern wurden in Studien sowohl bei wiederholter Messung durch die gleiche Person, dem so genannten intraindividuellen Vergleich, als auch bei verschiedenen Personen, dem interindividuellen Vergleich, beobachtet [34].

Das Ausmaß des Identifikationsfehlers lässt sich durch den Grad der Übung und Schulung der Auswertungspersonen reduzieren. Zur Minimierung des Identifikationsfehlers in der hier durchgeführten Studie wurden die Analysen von einer Person durchgeführt, welche einen hohen Übungsgrad bei der Auswertung von Fernröntgenseitenbildern aufwies.

Die Genauigkeit einer FRS-Analyse ist stark abhängig von der genauen Definition und der exakten Lokalisation aller Auswertungspunkte [103]. Ungenauigkeiten, die auf Problemen der Referenzpunktdefinition bzw. betrachterspezifische Variationen bei der Referenzpunkterkennung basieren, sind bei FRS-Analysen nicht vollständig auszuschließen. Doch wurde in dieser Arbeit vor Beginn des durchgeführten Vergleiches zwischen manueller und computergestützter Auswertung eine genaue Definition aller zu setzenden Punkte vorgenommen. Genaue Definitionen und eindeutige Beispielbilder sollten Unsicherheiten beseitigen.

Auch die Tatsache, dass jeder Untersucher eine anatomische Struktur gedanklich anderes interpretiert, obwohl ihre Definition verbindlich ist, kann Auswirkungen auf die Reproduzierbarkeit haben [67]. Um den entstehenden Fehler durch derartige Interpretationsunterschiede gering zu halten, wurden in der vorliegenden Arbeit alle Röntgenbilder von einer Person ausgewertet. Die Fehlerquelle des interindividuellen Unterschieds wurde somit ausgeschaltet.

Ø Der radiographische Fehler

Falsche Referenzpunktlokalisationen können auch durch eine fehlerhafte Technik bei der Anfertigung von Fernröntgenaufnahmen entstehen. Precious und Miles gehören zu den zahlreichen Autoren, die Forderungen zur Erstellung von FRS-Aufnahmen publizierten [73].

Eine Auswertung ist nur so gut wie die Unterlagen, die ihr zugrunde liegen [67]. Um Fernröntgenbilder möglichst gewinnbringend auswerten zu können, wird eine scharfe und größengetreue Darstellung der Strukturen benötigt. Unscharfe Röntgenbilder erschweren die exakte Lokalisation der Analysepunkte und erhöhen den Fehlerradius bei Reproduzierbarkeitstests. Um diese Fehlerquelle auszuschließen wurden in der hier durchgeführten Studie keine Röntgenbilder mit deutlich sehr schlechter Bildqualität ausgewertet.

Ein Röntgenbild ist ein zweidimensionales Summationsbild des dreidimensionalen Schädels. Die räumlichen Schädelstrukturen werden hierbei übereinander projiziert und führen zu Überlagerung und möglicherweise zu Doppelkonturen. Anhand eines Röntgenbildes ist nur schwerlich festzumachen, welcher Prozentsatz der Doppelkonturen auf asymmetrische Strukturen und welcher auf eine Schräghaltung des Kopfes zurückzuführen ist.

Die Problematik der Röntgenaufnahme des Schädels liegt zudem in der unterschiedlichen Entfernung der beiden seitlichen Gesichtshälften zum Röntgenfilm. Durch diese verschiedenen Abstände entsteht bei den üblicherweise angewendeten Röntgenverfahren eine unterschiedliche Vergrößerung der linken und rechten Gesichtsteile. Aufgrund der Divergenz der Röntgenstrahlen wird die filmferne Gesichtshälfte größer und zudem unschärfer dargestellt als die filmnahe. Der so genannten Parallaxenfehler lässt paarige Strukturen auch bei exakt symmetrischen Schädeln als Doppelkonturen sichtbar werden [1].

Doppelkonturen führen zu Problematiken bei der Setzung der Analysepunkte. Um diesen hierdurch entstehenden Fehler klein zu halten, wurden bei den in dieser Arbeit erfolgten Fernröntenseitenbild-Analysen beim Auftreten von Doppelkonturen stets die Mitte dieser zur Lokalisation des entsprechenden Punktes herangezogen.

Des Weiteren wurde dem Auftreten von Fehlern durch Doppelkonturen dadurch entgegengewirkt, dass nur Röntgenbilder, welche an der ZMK Münster angefertigt wurden, Anwendung fanden. Herkömmliche Panorama-Röntengeräte, wie sie sich in den niedergelassenen kieferorthopädischen Praxen befinden, ermöglichen durch eine spezielle Fernröntgenbildvorrichtung zwar die Anfertigung von FRS-Aufnahmen, bei diesen Geräten sind jedoch die erhöhte Bildung von Doppelkonturen sowie der verstärkte Vergrößerungsfaktor problematisch, da der Abstand zwischen Fokus und Film dieser Aufnahmegeräte nur ca. 1,5 m beträgt. Es kommt so zu einer 7%igen Vergrößerung des gesamten Röntgenbildes.

Der Vergrößerungsfaktor wird durch das Verhältnis von Focus-Film-Abstand und Focus-Objekt-Abstand bedingt. Je größer der Focus-Objekt-Abstand (bei geringem Objekt-Film-Abstand), desto geringer ist die Vergrößerung. Bei der in Münster angewandten so genannten Long-distance Technik befindet sich der Patient in einem Abstand von 3,5 m zum Fokus und möglichst nah am Film. Der Vergrößerungsfaktor reduziert sich hierbei auf unter 1%.

Eine vergrößerte Darstellung der Strukturen ist zwar für die Ergebnisse einer Fernröntgenseitenbild-Analyse von Bedeutung, wirkt sich aber bei einer Reproduzierbarkeitsuntersuchung von Punkten auf demselben Röntgenbild nicht aus und wäre daher für den in dieser Studie angewendeten Vergleich ohne Bedeutung.

Generell ist bezüglich der Problematik vergrößert dargestellter Strukturen anzumerken, dass dieses im Hinblick auf die Delaire-Analyse grundsätzlich zu vernachlässigen ist. Aufgrund der Tatsache, dass nach Delaire Proportionen und nicht numerische Normwerte ausschlaggebend sind, führt eine gleichmäßige Vergrößerung des Röntgenbildes zu keiner Änderung in den Grundergebnissen. Lediglich bei der Bewertung der numerischen Angaben der Ergebnisse muss der Vergrößerungsfaktor beachtet werden.

Bezüglich der Forderungen zur Reduktion von Fehlern bei der Anfertigung von Fernröntgenseitenbildern ist zu ergänzen, dass auch die so genannte Distorsion sich negativ auf die exakte Auswertung des Röntgenbildes auswirken kann. Dieser Verzerrungseffekt entsteht, wenn Filmebene und die Ebene des Objektes (Schädel) nicht parallel zueinander (das heißt, senkrecht zum Zentralstrahl) stehen [92]. Jung beobachtete diesbezüglich sogar bei median liegenden Punkten und einer Drehung des Kopfes zur Filmebene von nur 6 Grad eine Punktabweichung von 0,8 mm [59].

Filmebene und Medianebene des Patientenkopfes sollten daher exakt senkrecht zum Zentralstrahl ausgerichtet werden, um die Verzerrung zu minimieren. In der ZMK Münster wird mittels eines Kephalostats, bestehend aus zwei Ohroliven und einer Nasenstütze die Kopfposition fixiert. Das

Kephalostat bringt den zusätzlichen positiven Effekt der Reduzierung von Verwacklungseffekten.

Ø Weitere Fehler kephalometrischer Auswertungen

Eine andere Fehlerquelle kann durch den so genannten Messfehler entstehen. Aufgrund fehlerhafter Ablesung von Messlinealen oder speziell in dem hier angewandten computergestützten Auswertungsverfahren durch die fehlerhafte Markierung des Referenzlineals kommt es zu einer fehlerhaften Kalibrierung des Auswertungsprogramms. Alle numerischen Werte werden hierdurch fehlerhaft abgelesen. Generell wirkt sich diese Fehlermöglichkeit auf die Aussagen der Delaire-Analyse nur bedingt aus, da hier keine Normwerte, sondern Verhältnisse von Werten ausschlaggebend sind. Jedoch führt eine nicht korrekte Normierung der computergestützten Auswertung zu Messwerten, welche von den Werten der manuellen Auswertung abweichen. Es wurde zur Minimierung dieser Fehlerquelle bei allen in dieser Studie durchgeführten Analysen auf eine genaue Lokalisation der „Eichungspunkte“ gesetzt. Hierfür wurden die interessierenden Bereiche stets mittels einer Vergrößerungsfunktion deutlicher dargestellt. Dieser Fehler ist somit eher von untergeordneter Bedeutung.

5.2.2 Die FRS-Aufnahme als Therapieplanungsgrundlage

Es gibt zahlreiche Veröffentlichungen, die sich kritisch hinsichtlich einer kephalometrischen Auswertung zu diagnostischen und Planungszwecken äußern [54,106]. Zentrale Kritikpunkte sind stark abweichende Ergebnisse verschiedener Analysen, die teilweise sogar zu widersprüchlichen diagnostischen Aussagen kommen [112].

Des Weiteren berichtet beispielsweise Fuhrmann, dass sich bei keinem seiner bisher behandelten Patienten eine generelle Übereinstimmung aller vorgesehenen Maßnahmen zwischen Behandlungsplanung und klinischer Behandlungsdurchführung zeigte [36].

Bei der Betrachtung der später erfolgenden Therapie ist zu beachten, dass der Vergleich der von einer FRS-Analyse empfohlenen Therapie und der tatsächlichen späteren Therapie nicht ohne weiteres erfolgen kann. Denn nicht allein die nach FRS-Analyse gefundene optimale skelettale Lage ist ausschlaggebend für die Wahl des operativen Eingriffes. Bei dieser Entscheidung spielen zahlreiche weitere Faktoren eine Rolle.

Einer dieser Punkte ist die Ästhetik. Da die Weichteile über skelettalen Strukturen bei jedem Menschen verschiedene Dicken aufweisen, ist optisch nicht bei jedem Patienten ein „korrekt“ liegender Kiefer auch ästhetisch befriedigend. So kann beispielsweise ein vorstehendes Kinn durch eine Knochen- oder eine Weichteilmakrogonie entstehen [50].

Die FRS-Analyse bringt durch die nur 2-dimensionale Darstellung Limitationen mit sich [74]. Sie akzentuiert die skelettalen Proportionen, während die klinische Evaluation eine 3-dimensionale Analyse des Gesichtes und seiner Dynamik erlaubt. Dabei ist zu beachten, dass bei Differenzen zwischen klinischer und kephalometrischer Analyse die klinischen Daten entscheidend sind [89].

Die konkrete Behandlungsplanung basiert zudem nicht nur auf der FRS-Auswertung. Auch das chief complaint des Patienten fließt mit ein. Dieses ist

nicht immer identisch mit dem optischen Bild der „ausgeglichen Strukturen“ wie eine Analyse sie vorgibt.

Zudem sind andere funktionelle Aspekte und die Anpassungsmöglichkeiten der orofazialen Muskulatur und Gewebe zu beachten. So kann beispielsweise ein zwar in die (nach Analyse) korrekte Lage gestellter Unterkiefer durch eine zu kurze Unterlippe zu einem inkompetenten Lippenschluss führen.

Auch zu große Ausmaße der notwendigen Verlagerung eines Kiefers oder andere operative Limitationen können dazu führen, dass ein Eingriff vorgenommen wird, der nicht dem „Optimum“ der Analyseergebnisse einer FRS-Analyse entspricht. In diesen Fällen werden beispielsweise Kompromisse eingegangen oder ein zusätzlicher Eingriff im Gegenkiefer vorgenommen, um die Proportionen des Gesichtes ästhetisch besser herzustellen.

Andere Autoren stellten in ihren Untersuchungen fest, dass sich jedoch anhand der im Fernröntgenbild analysierten skelettalen Relationen eine Differenzierung der Operationsindikation zu mono- oder bimaxillärem Eingriff machen lässt. Jäger stellte fest, dass unter Anwendung der FRS-Analyse nach Mc Namara 75% der Patienten der richtigen, später auch erfolgten Operation zugeordnet werden konnten [56].

Bei der Auswertung von Fernröntgenseitenbildern darf nicht vergessen werden, dass sie eine dreidimensionale Struktur auf eine zweidimensionale Ebene projizieren. Es ist daher die Frage berechtigt, ob diese Darstellung ausreicht, um die skelettalen Zusammenhänge korrekt zu analysieren. Diesbezüglich ist anzumerken, dass der ästhetische Gesamteindruck eines Gesichtes eher durch eine Halbseitenansicht oder en-face-Ansicht gewonnen wird und nicht, wie bei einem FRS-Bild, im Profil [85]. Auch die Beurteilung des Operationsergebnisses durch den Patienten erfolgt vor allem in der frontalen Ansicht [98]. Doch durch keine andere derart einfach anzuwendende diagnostische Methode wie die FRS-Analyse wird ein vergleichbarer Einblick in

die Schädelstrukturen möglich. Das FRS-Bild erhält seine zentrale Bedeutung jedoch nur in Ergänzung zu klinischer Beurteilung, Modell- und Fotoanalyse.

Mit der immer unkomplizierter und vor allem kostengünstiger werdenden Anwendung von Computer- und Magnetresonanztomographien ist jedoch zu erwarten, dass diese dreidimensionalen Darstellungen gerade bei den komplexen Bewegungen der operativen Veränderungen von Gesichtsschädelstrukturen immer mehr an Bedeutung gewinnen werden [95]. Stetig weiterentwickelte Softwareprogramme liefern heute bereits die Möglichkeit, auch mit handelsüblichen Computern, dreidimensionale OP-Simulationen vorzunehmen und so bereits präoperativ Aufschlüsse über Operationsergebnisse und eventuelle operative Limitationen zu gewinnen [36]. Dass die dreidimensionale Darstellung von kraniofazialen Strukturen für Diagnostik und Planung ohne Zweifel sehr hilfreich ist [45] soll hier nicht in Frage gestellt werden, doch ist ihre Anwendung noch nicht sehr weit verbreitet. Bis ein routinemäßiger und sicherer Umgang mit dieser Datenform durch Kieferorthopäden und MKG-Chirurgen der zahnmedizinischen Zentren sowie der niedergelassenen Kieferorthopäden möglich ist, wird wohl noch einige Zeit verstreichen. Es ist zu vermuten, dass Tomogramme in näherer Zukunft in ihrer Anwendung vorerst auf stark ausgeprägte kraniofaziale Anomalien (wie beispielsweise bei einigen Syndromen) beschränkt bleiben. Die Integration von dreidimensionalen Kepahlometrien wird insbesondere bei Patienten mit asymmetrischen dentomaxillofazialen Dysgnathien als eine Verbesserung der Diagnostik und Behandlungsplanung angesehen [36].

5.2.3 Die Frage der Definition des „Idealgesichtes“

Das von einem dysgnathiechirurgischen Eingriff heute nicht mehr allein die Behebung funktioneller Mängel erwartet wird lässt sich an einem Zitat des Psychiaters H. Heimann aus dem Jahre 1979 deutlich erkennen: „Gesichtschirurgie: Welcher Laie denkt da zunächst nicht an Verschönerung,

an kosmetische Eingriffe zur Verwirklichung heimlicher Wünsche, etwa lieblicher, angenehmer oder bedeutender auszusehen als man sich selbst im Spiegel erkennt!“ [42]. Die Thematik der psychoreaktiven Auswirkungen von faziellen Missbildungen und die Folgen der operativen Veränderung dieser werden in der Literatur vielgestaltig diskutiert. Ohne Frage ist das Gesicht als Organ der sozialen Kommunikation und als Organ des seelischen Ausdrucks für jede zwischenmenschliche Kommunikation entscheidend [42]. Diese Feststellung impliziert die Forderung, dass jede chirurgische Veränderung im Mund-, Kiefer-, Gesichtsbereich mit hoher Präzision zu planen ist.

Doch stellt sich im Hinblick hierauf die Frage nach der Definition des „Ideals“. Eine große Vielfalt an Methoden hat bisher versucht die optimalen Proportionen des Gesichtes zu definieren. Unterschiedlichste Modell-, Foto- und Röntgenanalysen untersuchten fazielle Strukturen in En-face-, Halbseiten- oder Profilansicht. Doch werden nicht all diese schematischen Anwendungen den individuellen Bedürfnissen jedes Patienten gerecht [81]. Prinzipiell stellt auch die Delaire-Auswertung in dieser Vielzahl und Vielfalt der Analysen nur eine weitere Alternative der Analysierung und Beurteilung der Gesichtsstrukturen dar. Ob die von Delaire vorgestellte Methode letztendlich den „Goldstandard“ widerspiegelt ist angesichts der subjektiven Beurteilung von „Ideal“ und „Schönheit“ nicht zu klären.

Es ist zudem kritisch anzumerken, dass die Delaire-Analyse nur ein skelettales Ideal beschreibt. Unterschiedliche individuelle Verhältnisse (wie beispielsweise Weicheildicken) lassen somit eine Garantie des ästhetischen Ideals nach Einstellung der skelettalen Verhältnisse in die Norm der Delaire-Proportionen letztendlich nicht zu.

Doch ist ein großer Vorteil der Delaire-Analyse darin zu sehen, dass in ihrem Zentrum die Errechnung der individuellen Proportionen für jeden einzelnen Menschen steht. Auch die Tatsache, dass zur Definition der Harmonie der kraniofazialen Verhältnisse skelettale Strukturen des gesamten Schädels herangezogen werden spricht für diese Analyseform.

5.3 Die grundsätzliche Verwendung der Analysemethode nach Delaire

5.3.1 Erhöhte Strahlenbelastung durch große FRS-Aufnahmen

Der größte Teil der heute bekannten kephalometrischen Analysemethoden befasst sich primär mit dem Viszerokranium. Bei der Analyse nach Delaire wird im Gegensatz hierzu auch den dorsalen Schädelanteilen große Bedeutung zugesprochen. Das Viszerokranium wird hier als „Gegengewicht zum Neurokranium“ aufgefasst, so dass alle fazialen und kranialen Strukturen in der Interpretation der zu analysierenden Malformationen Berücksichtigung finden [21].

Es ist zu diskutieren, ob eine Rechtfertigung der Anfertigung von großen Fernröntgenseitenaufnahmen, welche bei der Analyse nach Delaire benötigt werden, besteht.

Für die Darstellung des alleinigen Viszerokraniums werden bei der Fernröntgenbildaufnahme Filme im Format 18 x 30 cm im Hoch- oder Querformat verwendet und somit eine geringere Strahlendosis benötigt. Um jedoch ein Analyse nach Jean Delaire durchzuführen, wird die Darstellung aller Schädelstrukturen notwendig und eine Einblendung nicht möglich. Denn dies ist nur mit einem Röntgenfilm der Größe 24 x 30 cm möglich.

Die Forderung der Reduktion der Strahlendosis, beispielsweise der Strahlenreduktion bei größerem Bestrahlungsfeld, stößt dort an Grenzen, wo sie zu einer zunehmenden Verschlechterung der Bildauflösung führt [40].

Um die Gesamtharmonie eines Schädels ermitteln zu können werden die zusätzlichen diagnostischen Aussagen einer Ganzschädelaufnahme benötigt, so dass diese gerechtfertigt erscheint.

5.3.2 Die Vermeidung von Normwerten

Die Versuche die Gesichtsharmonie, die in keinen wissenschaftlich zu fassenden Begriff gegliedert werden kann, in Modellmustern zu erfassen,

gehen zurück bis in die Renaissance [75]. Unterschiedlichste Arbeiten und Analysen haben im Laufe der Jahre zahlreiche harmonische „Idealgesichter“ entwickelt.

Zur Analyse von Fernröntgenseitenbildern definiert ein Großteil der Auswertungsverfahren Normwerte, welche ein Ideal umschreiben. Dieser Vergleichsmaßstab beschreibt die bei den einzelnen Studien, welche bei der Entwicklung der unterschiedlichen Analysemethoden erstellt wurden ermittelten Durchschnittswerte. Der Vergleich mit diesen statistisch bestimmten Mittelwerten ermöglicht dann sowohl die Beschreibung der Strukturen des Schädels als auch deren Bewertung [9,15].

Jedoch ist die Verwendung von Normwerten durchaus kritisch zu betrachten. Beispielsweise Schmuth stellte fest, dass ein anatomisch korrektes Gebiss, welches der definierten Normokklusion entspricht, durchaus bei verschiedensten Gesichtsschädelstrukturen auftreten kann und somit nicht immer bei einer Analyse normwertige Ergebnisse liefert [85]. Es können demnach sowohl bei dysgnathen als auch bei normalen Verzahnungen Variationen der Schädelmorphologie beobachtet werden, so dass auch bei morphologisch und funktionell korrekten Schädeln Abweichungen einzelner Messwerte auftreten. Es kann also keinesfalls davon ausgegangen werden, dass ein eugnather Schädel nur mittelwertige Strukturen aufweist.

Normabweichungen implizieren die Forderung nach einer Korrektur. Eine Therapieplanung, die auf die Ausformung von Normstrukturen ausgerichtet ist, ist kritisch anzusehen [85]. Die Voraussetzung für ein harmonisch empfundenen Gesicht ist nicht zwangsläufig eine dentoskelettaler „Normaufbau“ und ebenso muss ein solcher nicht unbedingt als ästhetisch empfunden werden [108].

Zudem ist der Vergleich von Einzelmesswerten einer Analyse oft nicht zur Interpretation eines gesamten skelettalen Systems geeignet, da einzelne kephalometrischen Messwerte weit streuen können [60]. Schopf betont, dass ein erfahrener Kieferorthopäde kephalometrische Messwerte nicht isoliert, sondern nur im Zusammenhang mit den übrigen Ergebnissen interpretiert [87].

Basierend auf diesen Kritikpunkten kephalometrischer Durchschnittswerte ist die Aussage zu treffen, dass eine diagnostische Beurteilung des seitlichen Fernröntgenbildes durch eine so genannte korrelative Analyse erfolgen sollte. Hierbei werden Einzelwerte zueinander in Verhältnis gesetzt. Die Interpretation sollte weniger durch die absoluten Maße, als mehr durch die Betrachtung der Proportionen zueinander geschehen. Dieser Forderung entspricht die von Jean Delaire vorgestellte Analyse, da bei ihr keine rein numerische Auswertung der Messergebnisse erfolgt, sondern das architektonische Gleichgewicht ausschlaggebend ist.

Diese individuelle Balance ist nach Delaire die Folge der funktionellen Belastungen des Schädels. Die Theorie der funktionsabhängigen Morphogenese wird auch von anderen Autoren unterstützt [62].

Die absolute Größe des Schädels und damit auch der unterschiedlichen röntgenologisch abgebildeten Strukturen unterliegen je nach Alter, Entwicklungszustand und Geschlecht großen Variationen. Bei einigen Auswertungsverfahren werden beispielsweise für männliche und weibliche Patienten unterschiedliche Normwerte angegeben. Andere Analyseverfahren lassen diese Differenzierung vollständig außer Acht und sind daher in diesem Punkte kritisch zu betrachten. Jean Delaire differenziert grundlegend nicht nach Alter oder Geschlecht, doch da bei seiner Analyse keine numerischen Normwerte als Ideal angegeben werden, sondern die Verhältnisse der Schädelstrukturen zueinander Grundlage der Auswertung der Morphologie sind, wirkt sich dieser Punkt nicht negativ aus.

Jean Delaire gibt jedoch einschränkend an, dass seine Analyse erst ab einem Alter von 3 Jahren anwendbar ist. Er geht davon aus, dass in den ersten Lebensjahren die Proportionen zwischen Neuro- und Viszerokranium nicht mit den Proportionen des Erwachsenen vergleichbar sind [19]. Zudem seien auch nach dem dritten Lebensjahr bei jungen Kindern häufig charakteristische Abweichungen im Vergleich zu den durchschnittlichen Proportionen eines ausgewachsenen Schädels zu beobachten.

5.3.3 Der Verzicht auf Weichteilpunkte

Delaire bezieht sich in seiner Analyse lediglich auf knöcherne Strukturen. Bei der Beurteilung von Fernröntgenseitenbildern und speziell bei der Planung von Dysgnathieoperationen sollte die Möglichkeit der Beurteilung der Dicke der Weichteilstrukturen jedoch wahrgenommen werden. Durch die Betrachtung der Verhältnisse von knöchernen Strukturen und Weichteilkapsel lassen sich Aufschlüsse über die ästhetischen Veränderungen des Gesichtes nach einer Operation gewinnen.

Ein exaktes Fernröntgenseitenbild soll neben dem knöchernen Skelett daher auch die Weichteile des Schädels kontrastreich abbilden. Da diese beiden Strukturen jedoch stark unterschiedliche Strahlendurchlässigkeiten besitzen stellt sich das Problem der Darstellung, da ohne weitere Hilfsmittel unterschiedliche Einstellungen der Belichtungsparameter notwendig sind. In früheren Zeiten wurde dieses beispielsweise durch die Bestreichung des Patientengesichtes mit einem Kontrastmittel [24] oder durch die Anfertigung zweier Röntgenbilder (bei unterschiedlichen kV-Zahlen), die später überlagert wurden, umgangen. Heute erfolgt eine selektive Strahlenabschwächung im Bereich der Weichteile unter Verwendung eines Aluminiumfilters [79]. Viele Röntgengeräte weisen jedoch den Schwachpunkt auf, dass sie nur einen genormten Weichteilfilter besitzen, welcher nicht mit allen Gesichtsformen kongruent ist. Gerade bei syndromalen Veränderungen des Gesichtes ist so oftmals die Abbildung der Weichteilstrukturen nur unzureichend möglich. Eine Besonderheit an den in der Zahnklinik Münster angefertigten Fernröntgenseitenbildern ist die Verwendung spezieller Weichteilfilter, die gewährleisten, das gesamte Weichteilprofil sichtbar zu machen. 1993 wurden im Institut für zahnärztliche Röntgenologie nach umfangreicher Studie des Gesichtsprofils deutscher Patienten explizit zu diesem Zwecke spezielle Schablonen entwickelt. Nach Zuordnung des einzelnen Patienten zu bestimmten Profiltypen können jetzt unterschiedlich Filterformen gewählt werden [93]. Da bei der Delaire-Analyse jedoch keine Weichteilpunkte

Verwendung finden, werden die bei der speziellen Röntgentechnik gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Weichteildicke nicht mit in die kephalometrische Auswertung einbezogen.

Die Delaire-Analyse zeigt sich jedoch für die Planung von Dysgnathieoperationen als nützlich, da durch sie klar die maxillofazialen Missbildungen aufgezeigt und die pathologischen Gleichgewichte, die es in einer Operation zu korrigieren gilt, verdeutlicht werden. Bei vielen kraniofazialen Missbildungen ist diese Art der Analyse weitaus hilfreicher bei der Auffindung der kranialen und fazialen Anomalien als andere Analysemethoden.

6 Zusammenfassung

An der ZMK Münster existiert ein spezielles Sprechstundensystem, welches die umfassende und systematische Beratung und Betreuung von Patienten mit Dysgnathien ermöglicht. Das Konzept der kombiniert kieferorthopädisch-chirurgischen Therapie baut auf einer interdisziplinären Behandlung der Patienten durch MKG-Chirurgen und Kieferorthopäden auf.

Die Planung dieser Therapien erfolgt unter anderem anhand der Analyse von Fernröntgenseitenbildern. Im Rahmen dieser Dissertation wurde auf Basis der von Jean Delaire 1978 publizierten kraniofazialen Analyse eine weitere Analyseform zur Planung von dysgnathiechirurgischen Eingriffen erstellt. Das Besondere der Delaire-Analyse liegt in der Vermeidung von Normwerten und der Entwicklung einer idealen Balance aus den individuellen Strukturen eines jeden Patienten. Sie stellt eine gute Methode zur Verifizierung skelettaler Anomalien dar und vereinfacht speziell bei syndromal veränderten Schädeln die Therapieplanung.

Auf Grundlage der französischen Originalliteratur wurde zunächst ein Handout erarbeitet, welches die Schritte der Delaire-Analyse erläutert und mit dessen Hilfe eine manuelle Auswertung von FRS-Bildern durchgeführt werden kann. Hierauf aufbauend erfolgte die Entwicklung eines computergestützten Analyseverfahrens, welches die Auswertung von direkt und indirekt digitalisierten Fernröntgenseitenbildern ermöglicht.

Die Analyse basiert auf dem Open-Source Programm ImageJ und ist aufgrund der selbsterklärenden Strukturierung auch von Personen anwendbar, die keine Vorkenntnisse zur Delaire-Analyse besitzen. Der Vergleich der Auswertungsergebnisse von zehn manuell und mittels der computergestützten Analyse ausgewerten FRS-Bildern zeigte eine nicht signifikante Abweichung der gemessenen Werte und belegte die einwandfreie Arbeitsweise des entwickelten Programms.

Die computergestützte Delaire-Analyse mit ihren vielfältigen Bildverarbeitungsfunktionen stellt eine wichtige Alternative zu herkömmlichen Auswertungsmethoden in den Bereichen Klinik, Forschung und Qualitätsmanagement dar.

7 Literaturverzeichnis

1. Ahlqvist J Eliasson S, Welander U (1986) The effect of projection errors on cephalometric length measurements. Eur J Orthod 8: 141-147
2. Altuna G, Freisfeld M, Schuth G (1970) The application of the computer to the calculation of individual errors in röntgen-cephalometrics. Trans Eur Orthod Soc: 519-534
3. Auerbach S, Meridith J, Alexander J, Mercuri L, Brophy C (1984) Psychological factors in adjustment to orthognathic surgery. J Oral Maxillofac Surg 42: 435-440
4. Axhausen G (1939) Zur Behandlung veralterter dislozierter geheilter Oberkeiferbrüche. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 6: 582-586
5. Aziz SR (2004) Simon P. Hullihen and the origin of orthodontic surgery. J Oral Maxillofac Surg 62: 1303-1307
6. Bell WH, Jacobs JD (1981) Three dimensional planning for surgical/ orthodontic treatment of mandibular excess. Am J Orthod 80: 263-288
7. Bartsch A, Witt E, Marks M (1995) Wirkung von Information und Kommunikation im kieferorthopädischen Beratungs- und Behandlungsgespräch. Fortschr Kieferorthop 56: 7-15
8. Bimler HP (1985) Bimler therapy. Part 1 Bimler cephalometric analysis. J Clin Orthod 19: 501-523
9. Bishara SE (1981) Longitudinal cephalometric standards from 5 years of age to adulthood. Am J Orthod 79: 35-44
10. Blair VP (1907) Operations on the jaw-bone and face. Surg Gynecol Obstet 4 : 67-78
11. Bogdanski G, Schopf PM (1987) Möglichkeiten und Vorteile der computergestützten Auswertung von Schädelröntgenbildern. Prakt. Kieferorthop 1: 247-254
12. Broadbent BH (1931) A new x-ray technique and it's application to orthodontics. Angle Orthod 1: 45-66

13. Broadway ES, Healy MJ, Poyton HG (1962) The accuracy of tracings from cephalometric lateral skull radiographs. Dent Prakt Dent Rec: 422-460
14. Brodie AG (1949) Cephalometric roentgenology: History, techniques and uses. J Oral Surg 7: 185-198
15. Brodie AG (1941) On the growth pattern of the human head, from the third month to the eighth year of life. Am J Anat 68: 209-262
16. Burnstone GJ (1958) The integumental profile. Am J Orthod Dentofacial Orthop 44:1-8
17. Cohen AM, Ip HHS, Linney AD (1984) A preliminary study of computer recognition and identification of skeletal landmarks as a new method of cephalometric analysis. Br J Orthod 11: 143-154
18. Delaire J, Precious D (1987) Balanced facial growth: a schematic interpretation. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 6: 637-644
19. Delaire J, Schendel SA, Tulasne JF (1981) An architectural and structural craniofacial analysis: a new lateral cephalometric analysis. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 3: 226- 238
20. Delaire J (1981) Apport de l'analyse architecturale cranio-faciale dans la chirurgie mandibulaire précoce (à l'âge orthodontie). Orthod Fr 52: 545-551
21. Delaire J (1978) L'analyse architecturale et structurale cranio-faciale (de profil): Principes théoriques. Quelques exemples d'emploi en chirurgie maxillo-faciale. Rev Stomatol Chir Maxillofac 1: 1-33
22. Delaire J (1984) Quelques pièges dans les interprétations de téléradiographies céphalométriques. Rev Stomatol Chir Maxillofac 3: 176-185
23. Delaire J (1971) Vers une analyse téléradiographique architecturale et structurale de la face. Orthod Fr 42: 411-426
24. Derichsweiler H (1956) Beitrag zur Technik der Fernröntgenaufnahmen in der täglichen Praxis. Dtsch Zahnarztl Z 11: 153-160

25. DGKFO (1997) Indikation und Häufigkeit von Röntgenaufnahmen im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie. *J Orofac Orthop* 58: 286-287
26. Downs WB (1956) Analyses of dentofacial profile. *Angle Orthod* 26: 191-212
27. Drescher D (2000) Fernröntgenanalyse. In: Diedrich P (Hrsg) *Praxis der Zahnheilkunde Bd 11: Kieferorthopädie I*, München, Jena Urban und Fischer, 4.Aufl. 263-291
28. Ehmer U, Austermann KH (1987) Die Rolle des Kieferorthopäden für die Motivation zu chirurgisch-kieferorthopädischen Therapiemaßnahmen. *Fortschr Kieferorthop* 48-54
29. Ehmer U, Röhring J, Klang KD, Becker R(1987) Ein kalibriertes Doppelsockelverfahren zur Modellsimulation in der chirurgischen Kieferorthopädie. *Dtsch Z Mund Kiefer Gesichtschir* 11: 59-66
30. Enlow DH, Pfister C, Richardson E, Kuroda T (1982) An analysis of Black and Caucasian craniofacial patterns. *Angle Orthod* 52: 279-287
31. Esser E, Günther FJ (1992). Erfahrungen einer 10jährigen interdisziplinären Dysgnathiesprechstunde. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd* 80: 25-32
32. Flanary CM, Barnwell GM, Alexander JM (1985). Patient perceptions of orthogantic surgery. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 88: 137-145
33. Forsyth DB, Shaw WS, Richmond S (1996) Digital imaging of cephalometric radiography, part 1: advatages and limitations of digital imaging. *Angle Orthod* 66(1): 37-42
34. Freisfeld M (1973) Fehlerquellen an Einzeichnungsserien kephalometrischer Bezugspunkte. *Fortschr Kieferorthop* 34: 296-304
35. Fuhrmann RAW (2002) Die kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Behandlung. In: Diedrich P (Hrsg). *Praxis der Zahnheilkunde. Urban und Fischer, Münschen Jena: Bd 12 Kieferorthop III, 4. Aufl.:* 102-136

36. Fuhrmann R, Feifel H, Schnappauf A, Diedrich P (1996) Integration von dreidimensionaler Kephalmetrie und 3D-Schädelmodellen bei der kombinierten orthodontisch/chirurgischen Behandlungsplanung. J Orofac Orthop 57: 32-45
37. Gattinger B, Obwegeser JA(1995) Bimaxilläre Segmentosteotomien. Schwenger N. (Hrsg.), In: Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie, Band 40, Thieme Verlag, Stuttgart: 32-41
38. Götz G, Joos U, Schilli W (1982) Die Patientenmotivation bei kieferorthopädischen Operationen. Dtsch Z Mund Kiefer Gesichtschir 6: 137-142
39. Gross BD, James RB (1978) The surgical sequence of combined total maxillary and mandibular osteotomies. J Oral Surg 36: 513-522
40. Hagemann K, Vollmer D, Niegel T, Ehmer U, Reuter I (2000) Prospective Study on the Reproducibility of Cephalometric Landmarks on Conventional and Digital Lateral Headfilms. J Orofac Orthop 61: 91-99
41. Haynes S, Chau MNY(1993) Inter-and intra-observer identification of landmarks used in Delaire-Analysis. Eur J Orthod 15: 79-84
42. Heimann H (1979) Das Gesicht als Ausdrucksfeld der Seele. Schwenger N (Hrsg.), In: Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie, Band 24, Thieme Verlag, Stuttgart: 1-8
43. Hinkle FG (1989) An american board of orthodontic case report. Am J Orthod Dentofacial Orthop 95: 185-191
44. Hintz I, Asal M. (1997) Digitale Röntgentechnik in der Praxis. Schweiz Monatsschr Zahnmed 107: 802-803
45. Hirschfelder U, Hirschfelder H (1989) 3D-Rekonstruktion zur Beurteilung der Morphologie kraniofazialer Strukturen. Dtsch Zahnärztl Z 44: 187-190
46. Hofer O (1942) Die operative Behandlung der alveolären Retraktion des Unterkiefers und ihre Anwendungsmöglichkeit für Prognathie und Mikrogenie, Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 9: 121-132

47. Hoffmeister B, Wangerin K (1995) Skelettale Stabilität nach bimaxillärer Chirurgie. Schwenzer N (Hrsg) In: Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie, Band 40, Thieme Verlag Stuttgart: 57-64
48. Hofrath H (1931) Die Bedeutung von Röntgenfern- und Abstandsaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien. Fortschr Orthodont 1: 232-258
49. Hogemann K E, Wilmar K (1967) Die Vorverlagerung des Oberkiefers zur Korrektur von Gebissanomalien. Fortschr Kiefer Gesichtschir 12: 275-285
50. Hohl, TH, Epker, BN (1976) Macrogenia: A study of treatment results, with surgical recommendations. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 41: 545-567
51. Holdaway RA (1983) A soft-tissue cephalometric analysis and its use in orthodontic treatment and planning. Part I. Am J Orthod 84: 1-28
52. Holdaway RA (1984) A soft-tissue cephalometric analysis and its use in orthodontic treatment and planning. Part II. Am J Orthod 85: 279-293
53. Houston WJB (1983) The analysis of error in orthodontic measurements. Am J Orthod 83: 382-390
54. Jacobson A (1990) Planning for orthognathic surgery - art or science? Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 5: 217-224
55. Jäger A, Flechsig G, Luhr HG (1995) Motivation und Erfahrung von Patienten in Zusammenhang mit einer kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Kombinationstherapie. Fortschr Kieferorthop 56: 265-273
56. Jäger A, Zittlau O, Luhr HG (1994) Zur differentioldiagnostischen Wertigkeit von skelettalen, dentalen und Weichteilanalysen bei der Planung der kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie. Fortschr Kieferorthop 55: 269-278
57. Johnson JS, Eid AA (1980) Recent development in diagnosis and treatment planning of antero-posterior jaw discrepancies from lateral skull cephalostat radiograph. Br J Oral Surg 17: 256-264

58. Joos U (1995) Die Behandlung kranio-fazialer Anomalien. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 19: 165-173
59. Jung T (1965) Was leistet das Fernröntgenbild für die Cephalometrie? Dtsch Zahnarztl Z 20,1: 49-56
60. Kim YH, Vietas JJ (1978) Anteroposterior dysplasia indicator: An adjunct to cephalometric differential diagnosis. Am J Orthod 73: 619-633
61. Köle H (1959) Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 12: 277-285
62. Krummer B (1990) Funktionsabhängige Morphogenese des Gesichtsschädels. Fortschr Kieferorthop 51: 49-56
63. LaBanc JP, Turvey TA, Epker BN (1982) Results following simultaneous mobilization of the maxilla and mandible for the correction of dentofacial deformities: analysis of 100 consecutive patients. J Oral Surg 54: 607-612
64. Lindorf H, Steinhäuser EW (1978) Correction of jaw deformities involving simultaneous osteotomy of mandible and maxilla. J Maxillofac Surg 6: 239-244
65. Lines PE, Steinhäuser EW (1974) Soft tissue changes in relationship to movement of hard structures in orthognatic surgery: a preliminary report. J Oral Surg 32: 891-897
66. Luhr HG, Jäger A (1994) Indikation, Technik und Ergebnisse der bimaxillären Chirurgie. Sonderband, Thieme Verlag, Stuttgart:1-13
67. Mithke R(1989) Zur Lokalisationsgenauigkeit kephalometrischer Referenzpunkte. Prakt Kieferorthop 3: 107-115
68. Obwegeser H (1968) Operative Behandlung der Zahnlosen Progenie ohne intermaxilläre Fixation. SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 78: 416-425
69. Obwegeser H (1970) Die einzeitige Vorbewegung des Oberkiefers und Rückbewegung des Unterkiefers zur Korrektur des extremen „Progenie“. SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 80: 547-556

70. Obwegeser H, Trauner R (1955) Zur Operationstechnik bei Progenie und anderen Unterkieferanomalien. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 23: 1-26
71. Paulus GW (1997) Kephalemtrische Analyse des Mittelgesichtes bei Mitteleuropäern. Dtsch Zahnarzt Z 32: 588-593
72. Petersen L, Topazian R (1974) The preoperativ interview and psychological evaluation of the orthognathic surgery patient. J Oral Surg 32: 583-588
73. Precious DS, Miles DA (1987) The lateral cephalometric craniofacial radiography. J Oral Maxillofac Surg 45: 737-738
74. Quintero JC, Trosien A, Hatcher D, Kapila S (1999) Craniofacial imaging in orthodontics: historical perspective, current status, and future developments. Angle Orthod 69(9): 491-506
75. Reychler H, Schilli W, Ewers R (1979) Aspekte der Gesichtsharmonie nach Operationen am Unterkieferkörper. In: Schwenzler N (Hrsg) Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie, Band 24: Thieme-Verlag, Stuttgart: 86-88
76. Ricketts RM (1961) Cephalometric analysis and synthesis. Angel Orthod 31: 141-159
77. Richadson A (1981) A comparison of traditional and computerized methods of cephalometric analysis. Eur J Orthod 3: 15-20
78. Richardson A (1981) Reproducibility of cephalometric measurements. Eur J Orthod 3: 15-20
79. Sander FG, Weinrich A, Wichelhaus A (1980) Die Aluminiumblende – ein nützliches Zubehör für die Fernröntgenaufnahme zur Verbesserung der Bildqualität. Prakt Kieferorthop 4: 219-225
80. Sandler PJ (1988) Reproducibility of cephalometric measurements. Br J Orthod 15: 105-110
81. Schmelzle R (1979) Profilgestaltung durch Eingriffe an Kinn und Nase. Schwenzler N (Hrsg.), In: Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie, Band 24, Thieme Verlag, Stuttgart: 83-85

82. Scheuer H, Höltje WJ, Hasund A (1995) Kieferorthopädische Vor- und Nachbehandlung bei bimaxillären Osteotomien. Schwenger N (Hrsg.), In: Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie, Band 40, Thieme Verlag, Stuttgart: 11-20
83. Schmuth GPF (1971) Methodische Schwierigkeiten bei der Anwendung der Röntgenkephalometrie in der Kieferorthopädie. Fortschr Kieferorthop 32.2: 317-325
84. Schmuth G (1983) Kieferorthopädie: Grundzüge und Probleme, 2. Aufl. Stuttgart, Thieme Verlag
85. Schmuth G (1988) Gesichts- und Schädelprofilanalyse als Hilfe bei der kieferorthopädischen Diagnose und Behandlungsplanung? Zahn Mund Kieferheilkd 76: 367-373
86. Schopf P (1991) Curriculum Kieferorthopädie. Berlin, Quintessenz Verlags-GmbH
87. Schopf P (1988) Kephalmetrische „Normwerte“ für die Stellung der Inzisivi – eine mögliche Ursache für den Misserfolg kieferorthopädischer Behandlungen? Fortschr Kieferorthop 49: 37-49
88. Schuchardt K (1954) Die Chirurgie als Helferin der Kieferorthopädie. Fortschr Kieferorthop 15: 1-25
89. Sailer HF, Haers PE (1995) Komplikationen bei bimaxillären chirurgischen Eingriffen. Schwenger N (Hrsg) In: Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie, Band 40, Thieme Verlag Stuttgart: 41-49
90. Sergl HG (1967) Zusammenhang zwischen psychischen Schwierigkeiten und dem Auftreten von Kieferanomalien. Fortschr Kieferorthop 28: 57-64
91. Sipeer SM (2003) Digitale Diagnostik und Dokumentation in der Kieferorthopädie – Entwicklung eines Modells mit den derzeit bestehenden technischen Möglichkeiten. Med Diss Tübingen
92. Skotnicky F (1972) Problem der Projektionsverzerrung bei Fernröntgenaufnahmen des Schädels. Fortschr Kieferorthop 33: 277-303

93. Srichinda T (1993) Die verbesserte Profildarstellung in der seitlichen Fernröntgenaufnahme. Med Diss Münster
94. Stabum AE, Danielson K (1982) Precision in cephalometric landmark identification. Eur J Orthod 4: 185-196
95. Stamm T, Meyer U, Meier N, Ehmer U, Joos U (2002) Public Domain Computer-Aided Surgery (CAS) in Orthodontic and Maxillofacial Surgery. J Orofac Orthop 63: 62-75
96. Stamm T, Binkhaus HA, Ehmer U, Meier N, Bollmann F (1998) Computer-Aided Automated Landmarking of Cephalograms. J Orofac Orthop 59(2): 73-81
97. Steiner CC (1953) Cephalometrics for you and me. Am J Orthod 39: 729-735
98. Steinhäuser EW Palluck EF (1995) Weichteilvorhersage bei bimaxillären Operationen. Schwenger N (Hrsg) In: Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie, Band 40, Thieme Verlag Stuttgart: 50-57
99. Steinhäuser EW (2003) Rückblick auf die Entwicklung der Dysgnathiechirurgie und Ausblick. Mund Kiefer Gesichtschir 7: 371-379
100. Tillmann B (1995) Die anatomischen Zeichnungen des Leonardo da Vinci. Schwenger N (Hrsg) In: Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie, Band 40, Thieme Verlag Stuttgart: 5-11
101. Trauner R (1954) Die retrokondyläre Implantation, eine Operationsmethode zum Vorbringen des Unterkiefers beim Distalbiss. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 20: 391-399
102. Trypkova B, Major P, Prasad N, Nebbe P (1997) Cephalometric landmark identification and reproducibility: A meta analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 112: 165-170
103. Turner PJ, Weerakone S (2001) An Evaluation of the reproducibility of Landmark Identification Using Scanned Cephalometric Images. J Orthod 28: 221-229
104. Visser H, Rödiger R, Hermann KP (2001) Dose Reduction by Direct-Digital Cephalometric Radiography. Angle Orthod 71(3): 159-163

105. Voigt W (1988) Zur Forderung postoperativer Röntgenbilder. ZWR 97: 400-401
106. Wallen T, Bloomquist D (1986) The clinical examination: it is more important than cephalometric analysis in surgical orthodontics? Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 1: 179-191
107. Wassmund M (1927) Lehrbuch der praktischen Chirurgie des Mundes und der Kiefer, Bd 1. Meusser, Leipzig: 277-282
108. Watted N, Bartsch A (2002) Estetic Aspects of Orthodontic-Surgical Treatment of Sagittal-Vertikal Anomalies: The Example of the Short Face Syndrom. J Orofac Orthop 63: 129-142
109. Wegener H (2003) Vergleich der Reproduzierbarkeit kephalometrischer Referenzpunkte mit Dosisreduktion bei digitaler Lumineszenzradiographie und konventionell erstellten Fernröntgenseitenaufnahmen. Med. Diss Münster
110. Witt E (1991) Möglichkeiten und Grenzen der kieferorthopädischen Behandlung Erwachsener. Fortschr Kieferorthop 52: 1-7
111. Wolfe SA (1989) Gunther Cohn-Stock, M.S., D.D.S., father of maxillary orthognathic surgery. J Craniomaxillofac Surg 17: 331-334
112. Wylie GA, Fish LC, Epker BN (1987) Cephalometrics: a compartison of five analyses currently used in the diagnostics of dentofacial deformities. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 2: 15-36

8 Danksagung

Herrn Priv.- Doz. Dr. med. dent. T. Stamm danke ich für die nette Betreuung bei der Erstellung der Arbeit. Besonders danke ich ihm für die aufmerksame Durchsicht und Beurteilung meiner Dissertation.

Frau Professorin Dr. med. dent U. Ehmer möchte ich herzlich danken für die Möglichkeit, in der Poliklinik für Kieferorthopädie die Arbeit durchführen zu können.

Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. J. Kleinheinz danke ich sehr für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Herzlichst möchte ich auch Herrn Patrick Niebergall danken, welcher viel Zeit in die Entwicklung des Computerprogramms steckte und es immer wieder ermöglichte die verschiedenen entstandenen Ideen umzusetzen.

Meinen Dank möchte ich auch Herrn Dr. Sebastian Schulte aussprechen, welcher mir große Hilfestellungen bei den Hard- und Softwareproblemen des Computers leistete, und der durch seine geduldige und aufmerksame Durchsicht dieser Arbeit eine ansprechende didaktische und grammatikalische Struktur gab.

Danken möchte ich auch Frau Nina Jung, die mir stets mit aufbauenden Worten zur Seite steht und neue Denkansätze einbringt.

Der größte Dank gilt natürlich meinen Eltern für ihre stetige Unterstützung während meines gesamten universitären Werdeganges. Auch meiner Oma möchte ich danken für die liebevolle Anteilnahme an den Höhen und Tiefen des Studiums und dieser Arbeit.

9 Curriculum vitae

Persönliche Daten:

Name Tina Siemon

Geburtsdatum 15.06.1978

Geburtsort Osnabrück

Familienstand ledig

Staatsangehörigkeit deutsch

Familie:

Vater Hubert Siemon

Mutter Mechthild Siemon geb. Neyer

Schwester Linda Siemon

Schulbildung:

1984 - 1988 Albert Schweitzer Grundschule in Ibbenbüren

1988 - 1997 Johannes Kepler Gymnasium in Ibbenbüren

Abschluss: Allgemeine Hochschulreife mit Note 1,4

Studium:

10/1997 - 04/1998	Studium Physik(Dipl.) / Chemie (Dipl.) an der Westfälischen Wilhelms- Universität in Münster
04/1998 - 10/2000	Studium der Humanmedizin an der Westfälischen Wilhelms- Universität in Münster
10/2000 - 12/2005	Studium der Zahnmedizin an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster
25.09.2001	Naturwissenschaftliche Vorprüfung mit der Note 1
25.03.2003	Zahnärztliche Vorprüfung mit der Note 1
13.12.2005	Staatsexamen mit der Note 1

Approbation: 20.12.2005

Berufliche Laufbahn:

03.2006 – 03/2007	Ausbildungsassistentin in der zahnärztlichen Gemeinschaftspraxis Dr. W. Neuhaus, Dr. S. Schulte in Dortmund
seit 03.2007	Weiterbildungsassistentin in der Abteilung für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Düsseldorf unter Prof. Drescher

10 Anhang

10.1 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Münsteraner Achs-Orbital-Ebene orientiertes Markierungslinien System
- Abbildung 2: Die Modelloperation
- Abbildung 3: ImageJ- Icon
- Abbildung 4: Schema des kraniofazialen und cervicalen Gleichgewichts (Delaire 1978)
- Abbildung 5: Beispiel der kraniofazialen Analyse bei einem Patienten mit ausgeglichenen Schädelstrukturen (Delaire 1978)
- Abbildung 6: Patient „Henri (25 Jahre)“ Patientenbeispiel von Jean Delaire 1978
- Abbildung 7: Darstellung der Punkte der Delaire-Analyse
- Abbildung 8: Darstellung der Strecken der Delaire-Analyse
- Abbildung 9: ImageJ Bild „File open“
- Abbildung 10: ImageJ Bild „Plugins“
- Abbildung 11: ImageJ Bild „Delaire-Analyse Grundbild“
- Abbildung 12: ImageJ Bild „Hilfe-Funktion“
- Abbildung 13: ImageJ Bild „Vergrößerungslupe“
- Abbildung 14: ImageJ Bild „Analysebeispiel“

- Abbildung 15: ImageJ Bild 6 „point selection“
- Abbildung 16: ImageJ „Brigthness/Contrast“
- Abbildung 17: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, IX, XII von Patient 1.
- Abbildung 18: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 1.
- Abbildung 19: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 1.
- Abbildung 20: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 1.
- Abbildung 21: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, IX, XII von Patient 2.
- Abbildung 22: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 2.
- Abbildung 23: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 2.
- Abbildung 24: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 2.
- Abbildung 25: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, IX, XII von Patient 3.
- Abbildung 26: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 3.
- Abbildung 27: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 3.

- Abbildung 28: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 3.
- Abbildung 29: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, IX, XII von Patient 4.
- Abbildung 30: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 4.
- Abbildung 31: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 4.
- Abbildung 32: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 4.
- Abbildung 33: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, IX, XII von Patient 5.
- Abbildung 34: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 5.
- Abbildung 35: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 5.
- Abbildung 36: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 5.
- Abbildung 37: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, IX, XII von Patient 6.
- Abbildung 38: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 6.
- Abbildung 39: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 6.
- Abbildung 40: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 6.

- Abbildung 41: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, IX, XII von Patient 7.
- Abbildung 42: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 7.
- Abbildung 43: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 7.
- Abbildung 44: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 7.
- Abbildung 45: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, IX, XII von Patient 8.
- Abbildung 46: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 8.
- Abbildung 47: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 8.
- Abbildung 48: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 8.
- Abbildung 49: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, IX, XII von Patient 9.
- Abbildung 50: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 9.
- Abbildung 51: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 9.
- Abbildung 52: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 9.
- Abbildung 53: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, IX, XII von Patient 10.

- Abbildung 54: Graphische Darstellung der Werte der Auswertungspunkte II, IX, X (links) und VI, XIII, XIV, XV (rechts) von Patient 10.
- Abbildung 55: Graphische Darstellung der Abweichungen Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII von Patient 10.
- Abbildung 56: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV von Patient 10.
- Abbildung 57: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte I, III, IV, V, VII, VIII, XI, XII aller Patienten.
- Abbildung 58: Graphische Darstellung der Abweichungen der Werte der Auswertungspunkte II, VI, IX, X, XIII, XIV, XV aller Patienten.
- Abbildung 59: Grafische Darstellung der Abweichungen der in mm gemessenen Auswertungspunkte in Form von Boxplots.
- Abbildung 60: Grafische Darstellung der Abweichungen der in Grad gemessenen Auswertungspunkte in Form von Boxplots.

10.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Patientendaten (Geburtsdatum, Datum des FRS)
Tabelle 2:	Schritte 1. – 13. der Delaire-Analyse
Tabelle 3:	Auswertungstangenten der Delaire-Analyse
Tabelle 4:	Auswertungsbogen der manuellen Delaire-Analyse
Tabelle 5:	Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 1 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.
Tabelle 6:	Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 2 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.
Tabelle 7:	Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 3 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.
Tabelle 8:	Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 4 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.
Tabelle 9:	Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 5 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander. Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.
Tabelle 10:	Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 6 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander.

Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

Tabelle 11: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 7 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander.
Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

Tabelle 12: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 8 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander.
Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

Tabelle 13: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 9 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander.
Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

Tabelle 14: Werte der einzelnen Auswertungspunkte von Patient 10 bei manueller und computergestützter Analyse sowie deren Abweichungen voneinander.
Angaben der Werte in den weißen Spalten in cm, in den grauen Spalten in Grad.

Tabelle 15: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes in cm.

Tabelle 16: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes III in cm.

Tabelle 17: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes IV in cm.

Tabelle 18: Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes V in cm.

Tabelle 19:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes VII in cm.
Tabelle 20:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes VIII in cm.
Tabelle 21:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes IX in cm.
Tabelle 22:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes XII in cm.
Tabelle 23:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes II in Grad.
Tabelle 24:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes VI in Grad.
Tabelle 25:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes IX in Grad.
Tabelle 26:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes X in Grad.
Tabelle 27:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes XIII in Grad.
Tabelle 28:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes XIV in Grad.
Tabelle 29:	Median, Maximalwerte, Minimalwerte, oberes Quartil, unteres Quartil und Standardabweichung der Abweichungen des Auswertungspunktes XV in Grad.