

**Dreidimensionale, morphometrische Untersuchungen
zur Primär- und Verlaufsbeurteilung von kindlichen
Patienten mit Kraniosynostose und
daraus resultierenden Schädeldeformitäten**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

Helen Vogler, geb. Burde

aus Troisdorf

2019

Angefertigt mit der Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. dent. Markus Martini
2. Gutachter: Prof. Dr. med. Andreas Jäger

Tag der Mündlichen Prüfung: 18.10.2019

Aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie
gemeinsam mit der Kinderneurochirurgischen Abteilung der Asklepios Kinderklinik Sankt
Augustin

Direktoren: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Franz-Josef Kramer und Dr. Ehrenfried Schindler

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	8
1. Einleitung	9
1.1 Pathogenese der Kraniosynostosen	10
1.2 Klinische Erscheinung nichtsyndromaler und syndromaler Kraniosynostosen 11	
1.2.1 Synostosen der metopischen Naht.....	11
1.2.2 Synostosen der sagittalen Naht.....	12
1.2.3 Einseitige Synostosen der koronalen Naht.....	12
1.2.4 Beidseitige Synostosen der koronalen Naht.....	13
1.2.5 Synostosen der Lambdanaht.....	14
1.2.6 Syndromale Formen.....	14
1.3 Das frontoorbitale Advancement in der Therapie der Kraniosynostosen	15
1.4 Follow-up und Langzeitergebnisse kraniofazialer Remodellierungen	17
1.5 Methoden zur Objektivierung von Parametern bei Schädeldeformitäten	18
1.5.1 Klassische Anthropometrie und zweidimensionale Verfahren	18
1.5.2 Dreidimensionale Verfahren	19
1.6 Zielsetzung der Arbeit.....	20
2. Patienten und Methode	22
2.1 Patientenkollektiv.....	22
2.1.1 Patienten mit nicht-syndromalen Kraniosynostosen.....	22
2.1.2 Normpopulation	23
2.2 3D-Bildgebung und Analyse	24
2.2.1 Aufnahmetechnik.....	24
2.2.2 Dreidimensionale Analyse	24

2.3	Statistische Auswertung	40
3.	Ergebnisse	42
3.1	Deskriptive Ergebnisse anhand der 3D-Analyse.....	42
3.1.1	Frontalwinkel	43
3.1.2	Frontoparietaler Winkel	45
3.1.3	Nasosagittalwinkel.....	52
3.1.4	Profilwinkel Nase zu Kinn	54
3.1.5	Nasofrontalwinkel I	56
3.1.6	Nasofrontalwinkel II	57
3.1.7	Nasofrontalwinkel III	58
3.1.8	Abstand der Supraorbitalpunkte	60
3.1.9	Augenbreite	62
3.1.10	Abstand der inneren Augenwinkel.....	66
3.1.11	Abstand der äußeren Augenwinkel	68
3.1.12	Vorverlagerungsstrecke	70
3.1.13	Maximale Schädellänge	72
3.1.14	Maximale Schädelbreite	74
3.1.15	Cephalic Index	77
3.1.16	Schädelbasislänge	79
3.1.17	Schädelbasisbreite	84
3.1.18	Maximale Circumferenz.....	86
3.1.19	Sagittale Circumferenz.....	89
3.1.20	Transversale Cirumferenz	91
4.	Diskussion der analysierten Parameter und der Studienergebnisse.....	94
4.1	Frontalwinkel.....	94
4.2	Frontoparietaler Winkel.....	97

4.3	Nasosagittalwinkel	101
4.4	Profilwinkel Nase zu Kinn	102
4.5	Nasofrontalwinkel I und II	103
4.6	Nasofrontalwinkel III	104
4.7	Abstand der Supraorbitalpunkte	105
4.8	Augenbreite rechts und links.....	106
4.9	Abstand der inneren Augenwinkel	106
4.10	Abstand der äußeren Augenwinkel.....	109
4.11	Vorverlagerungsstrecke	110
4.12	Maximale Schädellänge.....	111
4.13	Maximale Schädelbreite	112
4.14	Cephalic Index.....	114
4.15	Schädelbasislänge rechts und links.....	116
4.16	Schädelbasisbreite	117
4.17	Maximale Circumferenz	119
4.18	Sagittale Circumferenz	120
4.19	Transversale Circumferenz.....	121
5.	Zusammenfassung	123
6.	Abbildungsverzeichnis	125
7.	Tabellenverzeichnis	128
8.	Anhang	132
9.	Literaturverzeichnis.....	168
10.	Danksagung	185

Abkürzungsverzeichnis

FOA = Frontoorbitales Advancement

CT = Computertomographie

KP = Kranioplastik

MI = minimal invasiv

SB = maximale Schädelbreite

SL = maximale Schädellänge

CI = kephalischer Index

p = Signifikanzgröße

FTP_r = rechter Frontotemporalpunkt

FTP_l = linker Frontotemporalpunkt

PA_r = rechter Parietalpunkt

PA_l = linker Parietalpunkt

n = Fallzahl

M = Monate

Prä op = präoperativ

Postop = postoperativ

1. Einleitung

Kraniosynostosen sind geprägt durch eine prämatüre Stenosierung einer oder mehrerer Schädelnähte, was zu einem unnatürlichen Schädelwachstum führt. Typischerweise bieten betroffene Kinder ein vermehrtes kraniales Wachstum parallel in die Richtung zur stenosierten Suture, dadurch bedingt entsteht eine abnorme Kopfform (Buchanan et al., 2014), welche sich entsprechend der Lokalisation und Ausdehnung sowie des Zeitpunktes der vorzeitigen Verknöcherung unterschiedlich ausprägen kann. Circa eins von 2500 Kindern ist von einer prämaturen Stenosierung einer Schädelnaht betroffen (Wilkie, 1997) wovon die meisten Fälle nichtsyndromal oder isoliert auftreten (Buchanan et al., 2014). In anderen Studien konnte eine Prävalenz von 0,4 bis 1 von 1000 Kindern erhoben werden (French et al., 1990).

Wenn noch weitere klinische kraniofaziale und/oder extrakraniofaziale Ausprägungen wie zum Beispiel eine knöcherne Syndaktylie hinzutreten, spricht man von syndromalen Kraniosynostosen. Die häufig mit einem Syndrom assoziierten kranialen Malformationen können dabei nicht nur zu funktionalen, sondern auch zu mentalen Einschränkungen führen (Kabbani und Raghuvier, 2004). Der prämatüre Nahtverschluss einiger dieser Patienten ist zudem begleitet von einer intrakraniellen Druckerhöhung (Renier et al., 1982), besonders bei multiplen Stenosierungen (Cohen und Persing, 1997) mit dem potentiellen Risiko einer mentalen Retardierung und vermindertem IQ (Gault et al., 1992). Im Vordergrund der Behandlung von Patienten mit Kraniosynostosen steht die chirurgische Therapie, durch die pathologische Veränderungen bedingt durch eine vorzeitige Verknöcherung verhindert oder beseitigt werden sollen (Gault et al., 1992). Dabei ist die operative Versorgung von singulären Kraniosynostosen primär nicht kosmetischer Natur. 1996 postulierten David et al., dass durch eine chirurgische Korrektur die cerebrale Perfusion verbessert wird (David et al., 1996) und auch Schaller et al. und Renier et al. sehen nicht bei syndromalen Kraniosynostosen mit funktionellen intrakraniellen Veränderungen eine Operationsindikation (Renier et al., 2000; Schaller et al., 2012). Im Rahmen einer solchen Kranioplastik mit und ohne Frontoorbitalem Advancement wird durch standardisierte Operationsverfahren die pathologische Schädelform korrigiert und das intrakranielle Volumen aktiv vergrößert (Reinhart et al., 1998). Die postoperative Schädelentwicklung insbesondere komplexer Kraniosynostosen

wie beim Brachy- und Oxycephali ist dabei Gegenstand von Langzeituntersuchungen mittels objektiver Verfahren und von besonderer Wichtigkeit (Vinchon et al., 2012).

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die perioperative Evaluation kraniofazialer Parameter von Patienten mit Kraniosynostose und der Vergleich zur Normalpopulation.

1.1 Pathogenese der Kraniosynostosen

Bereits 1851 veröffentlichte Rudolf Virchow eine Arbeit über pathologische Schädeldeformitäten, bei der er den Verschluss einer Schädelnaht als Ursache für die abnorme Schädelform und damit einhergehenden Hirnpathologien verantwortlich machte (Persing et al., 1989). Dabei beschrieb er auch ein kompensatorisches Schädelwachstum entlang der noch offenen Suturen bei bestehender Wachstumshemmung perpendicular zur Ebene der betroffenen Naht (Persing et al., 1989). Heutzutage geht man davon aus, dass das asymmetrische Wachstum bedingt ist durch die verschiedenen Einflüsse der Schädelbasis und des Gesichtsschädels gemeinsam mit der prämaternen Stenosierung einer Schädelnaht (Delashaw et al., 1989).

Es wurden bereits viele Studien durchgeführt, um die Pathogenese dieser Erkrankung genauer zu klären (Källén, 1999; Lajeunie et al., 1996; Wilkie, 1997; Zeiger et al., 2002). Es spielt derzeit vor allem bei den syndromalen Formen eine Mutation im Fibroblasten-Wachstumsfaktor-Rezeptor-Gen (Fibroblast-growth-factor-receptor (FGFR)) eine Rolle (Messing-Jünger und Martini, 2018a; Robin, 2007; Zeiger et al., 2002). Aber auch der transforming growth factor (TGF) und das MSX2 – und Twist Gen können betroffen sein (Messing-Jünger und Martini, 2018a).

In 6 % der Fälle von Sagittalnahtsynostosen und in 8- 14 % der Koronarnahtsynostosen tritt eine familiäre Häufung auf (Kabbani und Raghuvver, 2004), es wird ein autosomal dominanter Erbgang mit verminderter Penetranz vermutet (Lajeunie et al., 1996). Geschätzt treten aber 72 % dieser prämaternen Stenosierungen sporadisch auf, die Ursachen der meisten Kraniosynostosen bleibt unklar (Zeiger et al., 2002).

Alderman et al. erhoben 1994 in ihrer Studie einen Zusammenhang zwischen maternalem Rauchen und einem erhöhten Risiko für Kraniosynostosen, eine Verbindung zu Alkohol ergab sich nicht (Alderman et al., 1994). Dabei zeigte die Entstehung für sagittale Synostosen die höchste, für coronale Synostosen die niedrigste Relation zu maternalem Rauchen (Källén, 1999). Dieser Zusammenhang konnte in der Studie von Zeiger et al.

jedoch nicht bestätigt werden, wohingegen hier eine negative Korrelation zwischen hohem Alkoholkonsum und der Auftretenswahrscheinlichkeit von Kraniosynostosen bestand (Zeiger et al., 2002).

Weitere Risikofaktoren für das Auftreten von Kraniosynostosen scheinen eine weißhäutige Mutter, fortgeschrittenes maternales Alter bei Geburt des Kindes, männliches Geschlecht des Kindes (Alderman et al., 1988) und Fertilitätsbehandlungen (Reefhuis et al., 2003) zu sein.

Zu Drogen oder pharmakologischen Substanzen wie Hydantoine, Valproinsäure oder Kokain konnte kein statistischer Zusammenhang erhoben werden. Allerdings zeigten Ardinger et al. 1988, dass durch den Gebrauch von Valproinsäure während der Schwangerschaft eine erhöhte Auftretenswahrscheinlichkeit für kraniofaziale Anomalien besteht (Ardinger et al., 1988). Durch einige nitrosierbare Drogen scheint ein erhöhtes Risiko für Sagittal- und Lambdanahtsynostosen zu bestehen (Gardner et al., 1998).

Für weitere ausführlichere Theorien zur Pathogenese mit Literaturhinweisen sei auf die Dissertation von Frau Dr. Schulz (2014) verwiesen.

1.2 Klinische Erscheinung nichtsyndromaler und syndromaler Kraniosynostosen

Das klinische Erscheinungsbild der Kraniosynostosen ist davon abhängig, an welcher Stelle und zu welchem Zeitpunkt es zu einer prämaturnen Stenosierung einer Schädelnaht kommt. Damit einhergehend sind weitere Veränderungen am gesamten Schädel inklusive Gesicht und Schädelbasis möglich und können in unterschiedlichen Schweregraden auftreten.

Die bereits durch Rudolf Virchow entwickelten Beschreibungen der Schädelpathologien wurden 1982 durch Marchac und Renier unter den Begriffen Scaphocephalus, Trigonocephalus, Plagiocephalus, Oxycephalus und Brachycephalus zusammengefasst (Marchac und Renier, 1981). In Abhängigkeit von der involvierten Schädelnaht ergibt sich daraus ein typisches Phänobild, das nachfolgend näher spezifiziert wird.

1.2.1 Synostosen der metopischen Naht

Der Terminus Trigonocephalus geht auf H. Welcker zurück, der ihn 1862 für die Beschreibung eines Kindes mit keilbeinförmig verändertem Schädel und Lippenspalte verwendete. Die Bezeichnung stammt aus dem Griechischen und bildet sich aus

„trigonon“ (Dreieck), und „kephale“ (Haupt oder Kopf) (Van Der Meulen, 2012). Durch die vorzeitige Stenosierung der Sutura frontalis (Stirnnaht bzw. metopische Naht), entsteht perpendicular zur Naht in Folge der lateralen Wachstumshemmung der beiden Ossa frontales, der für trigonocephale Patienten typische Dreiecksschädel mit kielförmiger Veränderung des Stirnbeins. Die daraus konsekutiv resultierende bitemporale Vertiefung oder Einkerbung wird als „hollowing“ bezeichnet. Hierdurch entsteht in der Sagittalen eine Verkürzung der vorderen Schädelgrube mit defizitärer Entwicklung des lateralen Orbitarandes und auch transversal eine Unterentwicklung, die zu einem Hypotelorismus führt. Die Konfiguration der Augenhöhlen kann dabei tränenförmig und in Richtung der Mittellinie des Vorderkopfes angewinkelt sein. Beim vertikalen Wachstum können nach kaudal verlagerte Ohrmuscheln imponieren (Van Der Meulen, 2012). Hinzu kommt ein gehäuft auftretender Astigmatismus und Strabismus (Denis et al., 1994).

1.2.2 Synostosen der sagittalen Naht

Die prämatüre Sagittalnahtsynostose ist mit einer Inzidenz von 1:5000 Geburten die häufigste Form einer monosuturalen Synostose (Schweitzer, 2018). 40 – 60 % der singulären Nahtsynostosen betreffen die Sutura sagittalis (Pfeilnaht) mit der charakteristischen langen, engen Schädelform und reduzierter bitemporaler Distanz. Daraus resultiert, aufgrund eines blockierten transversalen Schädelwachstums, eine prominente Stirn (sog. frontales „bossing“) und eine prominente Okzipitalregion (sog. okzipitales „bossing“) (Ruiz-Correa et al., 2006), in Folge eines kompensatorisch verstärkten sagittalen Wachstums. Im Nebenbefund kann bei der umgangssprachlich auch als Kahnschädel bezeichneten Synostose in vielen Fällen eine Wulstung der Pfeilnaht imponieren. Insgesamt sind Jungen häufiger betroffen als Mädchen, das Verhältnis beträgt knapp 4:1 (Lajeunie et al., 1996; Zeiger et al., 2002).

Kinder mit prämatürer isolierter Sagittalnahtsynostose haben ein normales Schädelvolumen im Vergleich zu gesunden Kindern (Fischer et al., 2015). Die Schädelbasis ist weniger schwer betroffen als das Schädeldach (Bendon et al., 2014).

1.2.3 Einseitige Synostosen der koronalen Naht

Unilaterale Synostosen der Sutura coronalis (Kranznaht) treten bei ca. 20 % - 30 % der singulären Kraniosynostosen auf (Di Rocco et al., 2012; Heuzé et al., 2012) und sind

damit die dritthäufigste Form nach den Scaphocephali und Trigonocephali. Die rechte Seite ist doppelt so häufig betroffen wie die linke (Boulet et al., 2008), das Verhältnis männlich zu weiblich beträgt 1:2 (Heuzé et al., 2012).

Durch die prämatüre Stenosierung entwickelt sich ipsilateral ein abgeflachter Vorderkopf sowie eine retrahierte Orbita mit einem nach superior und posterior verlagerten Orbitaaberrand, was eine leichte Protrusion des Augapfels auf der betroffenen Seite bedingt. Die vordere Schädelgrube ist ipsilateral somit unterentwickelt. Ferner kommt es zu einer ipsilateralen Verschiebung des Ohres nach anterior und zur kontralateralen Abweichung der Nasenpyramide und des Unterkiefers. Auf der kontralateralen Seite entsteht kompensatorisch durch das Gehirnwachstum ein frontales „bossing“ mit einer bei en face Ansicht frontoorbitalen Asymmetrie (Di Rocco et al., 2012).

Die knöcherne Deformierung kann einen Astigmatismus und Strabismus bedingen (Denis et al., 1994).

In schweren Fällen sind die Kalotte und die Schädelbasis, der kraniovertebrale Übergang und der 1. Wirbelkörper von der Anomalie mitbetroffen (Di Rocco et al., 2012; Kabbani und Raghuveer, 2004; Persing, 2008).

1.2.4 Beidseitige Synostosen der koronalen Naht

Der beidseitige, prämatüre Verschluss der Koronarnähte führt aufgrund des vertikalen Wachstumsdefizits in einer horizontal orientierten Expansion mit verkürztem Schädel, dem sogenannten Brachycephalus. Im Vergleich zu prämaturen Stenosierungen der sagittalen oder metopischen Naht treten bilaterale Koronarnahtsynostosen im europäischen Raum sehr selten auf, sie sind häufiger in nordafrikanischen Breiten zu finden (Vinchon et al., 2012).

Die bilaterale Veränderung kann isoliert auftreten, findet sich aber häufiger im Rahmen eines Syndroms wie dem Crouzon-, Pfeiffer – oder Apert- Syndrom (M Engel, 2018; Schouman et al., 2008). Dabei kann es durch Verkürzung des Stirnbeines zu einer Beeinflussung des fazialen Wachstums mit supraorbitonasaler Retrusion kommen.

Die betroffenen Kinder zeigen ein erhöhtes Risiko für eine intrakranielle Hypertension, mentale Retardierung, Verhaltensauffälligkeiten und visuelle Beeinträchtigungen sowie im Vergleich zur Norm, bedingt durch die bilaterale Stenosierung, eine Verminderung des Schädelvolumens und des Kopfumfangs (M Engel, 2018; Vinchon et al., 2012).

In der Zusammenschau der Befunde imponieren durch das anteroposteriore Wachstumsdefizit ein breiter Vorderkopf mit bitemporalen Vorwölbungen und abgeflachter Okzipitalregion sowie potentiell ein Hypertelorismus.

In der Studie von Vinchon et al. (2012) konnte gezeigt werden, dass der bilateralen Stenosierung der koronalen Naht oft eine initial unilaterale Synostose vorausging (Vinchon et al., 2012). Zudem kann in seltenen Fällen additiv durch eine Stenosierung der metopischen und sagittalen Sutur der Brachcephalus in einen Oxycephalus übergehen, was ein vermehrtes Wachstum nach kranial und somit einen „Spitzschädel“ bedeutet.

1.2.5 Synostosen der Lambdanaht

Durch eine frühzeitige Stenosierung der Sutura lambdoidea (Lambdanaht) entsteht das klinische Bild eines posterioren Plagiocephalus. Differentialdiagnostisch gilt eine Unterscheidung zum lagerungsbedingten Plagiocephalus zu treffen, der mit einer Inzidenz von 1 zu 300 Lebendgeburten deutlich häufiger als die Lambdanahtstenosierung mit 3 von 100.000 Geburten auftritt (Kabbani und Raghuvver, 2004) und im Gegensatz zur Synostose keiner operativen Intervention bedarf.

Das klinische Erscheinungsbild eines posterioren Plagiocephalus ist geprägt durch ein posteriores, kontralaterales und parietales „bossing“. Die frontale Vorwölbung fehlt zumeist, wenn vorhanden, dann liegt sie kontralateral der stenosierten Sutur. Ipsilateral ist eine okzipitomastoidale Vorwölbung zu finden. Die Schädelbasis weist eine nach ipsilateral inferiore Neigung auf, das ipsilaterale Ohr ist nach inferior und posterior verschoben (Huang et al., 1996). Das Risiko einer intrakraniellen Hirndruckerhöhung ist im Gegensatz zu einer beidseitigen Nahtsynostose gering und potentiell kann es durch einen Tiefstand der Kleinhirntonsille zu einer Chiari-Malformation kommen (M Engel, 2018).

1.2.6 Syndromale Formen

Syndromale Kraniosynostosen sind definiert durch das Vorliegen zusätzlicher kranialer oder extrakranialer Veränderungen neben einer Stenosierung einer Schädelnaht. Derzeit gibt es über 180 bekannte Syndrome, die mit einer Kraniosynostose auftreten (M. M. Cohen, 1995; Messing-Jünger und Martini, 2018a). Die beiden häufigsten Syndrome sind das Crouzon- und das Apert-Syndrom. Das Crouzon-Syndrom tritt mit einer Häufigkeit

von 1 zu 25.000 Lebendgeburten auf und stellt damit einen Anteil von ca. 5 % der Kraniosynostosen (Messing-Jünger und Martini, 2018a). Neben einem Brachycephalus kann es zu einem Hypertelorismus, Proptosis, maxillärer Hypoplasie und ggf. einer Gaumenspalte kommen. Beim Vorliegen eines Hydrocephalus oder einer sekundären Chiari-Malformation Typ I können zusätzliche operative Interventionen indiziert sein (Messing-Jünger und Martini, 2018b). Ferner können vermehrt Anomalien der Ohren oder der zervikalen Wirbelsäule vorliegen (Kabbani und Raghuvver, 2004).

Die Prävalenz des Apert-Syndroms liegt bei 1 von 55.000 Lebendgeburten, bei denen neben der bicoronalen Kraniosynostose symmetrische Syndaktylien der Extremitäten typisch sind (Messing-Jünger und Martini, 2018b). Die Schädelform ist für gewöhnlich turribrachycephal und asymmetrisch (Buchanan et al., 2014). Zudem sind unter anderem Mittelgesichtshypoplasien, flache Augenhöhlen und Megalocephalien möglich. Herz und Niere können ebenfalls pathologisch verändert sein (Kabbani und Raghuvver, 2004). Dermatologisch kann es zu einer schweren Akne vulgaris kommen, vertebral können Wirbelkörper fusionieren (Buchanan et al., 2014).

Der Vollständigkeit seien das Pfeiffer-Syndrom, das Muenke-Syndrom und das Saethre-Chozen-Syndrom genannt, die jedoch aufgrund der vorab definierten Studienkriterien nicht Eingang in das Untersuchungskollektiv fanden.

Reinhart et al. zeigten 1998, dass bei syndromalen Faziokraniosynostosen das postoperative Wachstumspotenzial im Bereich der vorderen Schädelbasis und des Mittelgesichts begrenzt ist (Reinhart et al., 1998). Ferner könne durch das unten aufgeführte Frontoorbitale Advancement nur eine geringe Verbesserung der Mittelgesichtshypoplasie erzielt werden.

1.3 Das frontoorbitale Advancement in der Therapie der Kraniosynostosen

Das frontoorbitale Advancement (FOA) ist heute das Standardverfahren in der Behandlung von Kraniosynostosen (McCarthy et al., 1995) und geht auf die von Tessier 1967 entwickelte segmentale En-bloc-Mobilisation des kraniofazialen Skeletts zurück (Tessier et al., 1967). Diese wurde 1982 durch Marchac und Renier in eine Erweiterung des frontalen Schädels mit coronaler und sphenozygomatischer Kraniektomie modifiziert (McCarthy et al., 1984). Das FOA dient nicht nur der ästhetischen Verbesserung der Morphologie und Verminderung funktioneller Störungen, sondern soll auch die

psychosoziale Entwicklung des Kindes stärken (McCarthy et al., 1995). Dabei haben Studien gezeigt, dass die besten kosmetischen Ergebnisse erzielt werden können, wenn die Operation bereits im ersten Lebensjahr erfolgt, idealerweise zwischen dem vierten und sechsten Lebensmonat (Krasnicanova et al., 1996; Marchac et al., 1994; McCarthy et al., 1984). Hinzu kommt, dass zu dieser Zeit die Reossifikation maximal ist und neben einer Vermeidung von Splitgrafts im Rahmen der Kranioplastik auch der Vertex durch das Wachstum des Gehirns positiv beeinflusst wird (Christophis et al., 2001, Martini 2018a). Das derzeitig durchgeführte Operationsverfahren beruht auf dem von Mühling etablierten frontoorbitalen Advancement und besteht aus dem Operationsprinzip „der Osteotomie, Entnahme, Ausformung und Verlagerung der Frontoorbitalregion“ (Horch 1998). Dadurch wird aktiv das intrakranielle Volumen erhöht und ggf. ein gesteigerter intrakranieller Druck gesenkt. Nach dem operativen Zugang über einen Bügelschnitt und Freipräparation des Schädels, „verläuft die Osteotomielinie von der Sutura nasofrontalis in den Orbitatrichter und von dort über das Orbitadach zur Sutura zygomaticofrontalis (Abb. 1a). Von dort erstreckt sich die Osteotomie unter Bildung einer Retentionsform im parietalen Bereich (Tongue in Groove-Technik) bogenförmig zur Kranznaht“ (Horch 1998). Anschließend erfolgt entlang der Osteotomielinie die Teilung in ein frontales und ein orbitales Knochensegment, welche „entsprechend der Fehlbildung ausgeformt und unter deutlicher Vorverlagerung wiedereingesetzt werden“ (Horch 1998) (Abb. 1 b). Für die weiteren Vorgehensweisen bei den einzelnen Kraniosynostosen sei auf die Dissertation von Fr. Dr. Schulz (2014) verwiesen.

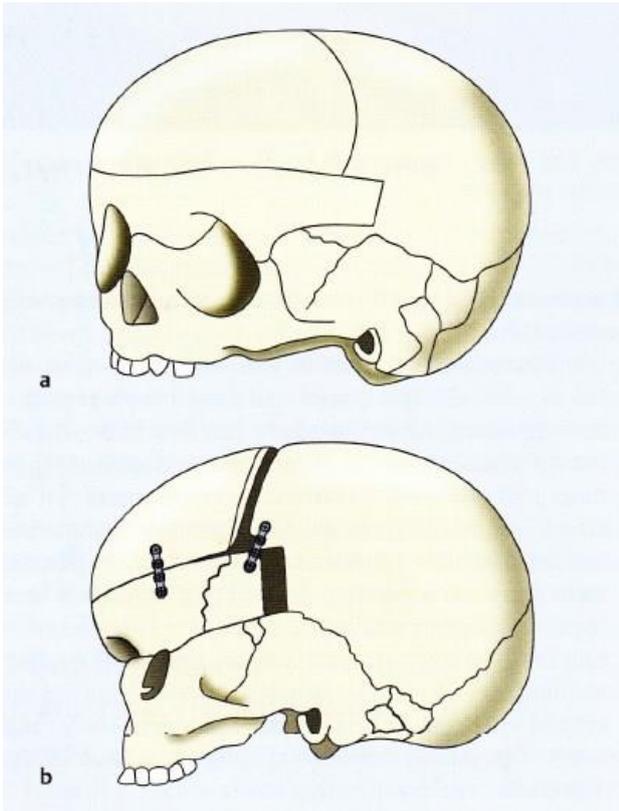


Abb. 1: Schema des standardisierten frontoorbitalen Advancements nach Mühling (Horch 1998).

- a) Osteotomielinien der frontoorbitalen Segmente.
 b) Verlagerung und Fixation der frontoorbitalen Segmente.

1.4 Follow-up und Langzeitergebnisse kraniofazialer Remodellierungen

Nicht nur die frühzeitige objektive morphometrische Analyse von Kindern mit Kraniosynostosen ist von Bedeutung, sondern auch die Evaluation der Schädel- und Gesichtsentwicklung des Kindes postoperativ. Dabei stellt eine suffiziente interdisziplinäre Zusammenarbeit einen zentralen Baustein mit größter Wichtigkeit dar. Kinder mit einer Kraniosynostose sollten bis mindestens zum achten Lebensjahr in ein Recallsystem eingebunden sein, um ein normales, postoperatives Schädelwachstum sicherstellen zu können (McCarthy et al., 2012). Dies sollte auch unter dem Aspekt, dass oxy- und brachycephale Kraniosynostosen im Laufe der Zeit aus anderen unilateralen Synostosen entstehen können, berücksichtigt werden. Neben der cephalometrischen Morphologie und psychomotorischer Entwicklung werden hier u.a. ophthalmologische, okuläre und dentale Untersuchungen vorgenommen (McCarthy et al., 2012; Speltz et al., 2007).

Hilling et al. entdeckten 2006 bei Patienten mit frontalem Plagiocephalus in ihren postoperativen, kephalometrischen Untersuchungen temporale Vertiefungen (Hilling, et al., 2006a). Auch bei Kindern mit operierten Trigenocephalus konnten diese Befunde erhoben werden. Zudem besteht bei diesem Kollektiv postoperativ die Gefahr eines persistierenden Hypotelorismus (Van Der Meulen et al., 2008). Hinsichtlich der Pathogenese und Vermeidung besteht in der Literatur Dissens (Oh et al., 2006; Selber et al., 2007). Eine Möglichkeit zur Minimierung der temporalen Einziehungen besteht in der chirurgischen Überkorrektur dieses Areals (Bennett et al., 2018; Selber et al., 2007). Final zeigte sich in den allermeisten Studien ein gutes morphologisches und kosmetisches Outcome (Engel et al., 2012; Esparza et al., 1998; Farber et al., 2017; McCarthy et al., 1995).

1.5 Methoden zur Objektivierung von Parametern bei Schädeldeformitäten

1.5.1 Klassische Anthropometrie und zweidimensionale Verfahren

Die Ursprünge zur Objektivierung der Schädeldeformitäten liegen in der klassischen Anthropometrie mittels Messzirkel unmittelbar am Patienten selbst sowie der Beurteilungen zweidimensionaler radiologischer Aufnahmen über definierte Schädelreferenzpunkte (Farkas et al., 1992).

In den Anfängen der kraniofazialen Chirurgie erfolgte die qualitative Beurteilung des funktionellen wie kosmetischen Ergebnisses in Abhängigkeit von der Revisionsbedürftigkeit. 1987 quantifizierten Whitaker et al. den Behandlungserfolg durch eine Einteilung der von ihnen operierten Patienten in vier Kategorien. Im Optimum klassifizierte sich diese von „ohne Verbesserungsbedürftigkeit“ (Kategorie I) bis hin zu erforderlichen ausgedehnten kraniofazialen Eingriffen (Kategorie IV) (Whitaker et al., 1987). Diese Einteilung machten sich viele weitere Autoren zunutze (u.a. Engel et al., 2012; Esparza et al., 2008; McCarthy et al., 1995; Selber et al., 2008; Vinchon et al., 2012), wobei objektiv reproduzierbare Parameter fehlten.

Hilling et al. (2006) gebrauchten bereits standardisierte, zweidimensionale, fotografische Perspektiven zur Beurteilung bestehender Schädeldeformitäten (Hilling, Mathijssen, Mulder et al., 2006). Insgesamt können die Auswertungen also über direkte anthropometrische Messungen am Patienten selbst (Fearon et al., 2009; Schaller et al., 2012), über konventionelle Schädelröntgen (Engel et al., 2012; Reinhart et al., 1998; van

der Meulen et al., 2009) oder anhand von zweidimensionalen Computertomographien (CT) (Engel et al., 2012; Kellogg et al., 2012; Pelo et al., 2011; Posnick et al., 1994; Waitzman et al., 1992a) erfolgen.

Dabei bietet eine direkte Anthropometrie am Patienten den Vorteil eines unmittelbaren Zuganges zu Arealen, die z.B. durch das Kopfhaar potentiell verdeckt sind oder zu solchen, die durch die indirekte Anthropometrie verzerrt werden würden (z.B. die Tiefe des Gesichts in der Fotogrammetrie) bzw. spezielle Kopfpositionen für die Messung benötigen (Farkas und Deutsch, 1996). Neben der Praktikabilität ist der geringe Kostenaufwand zu nennen. Nachteilig ist jedoch der hohe zeitliche Aufwand, die Abhängigkeit vom Untersucher, die Kooperation des Untersuchten und die fehlende spätere Überprüfbarkeit (Farkas und Deutsch, 1996).

Die indirekte Anthropometrie mittels Fotogrammetrie oder computerisierten Oberflächenlichtscans hingegen bietet den Vorteil einer kurzen, unmittelbaren Untersuchungszeit für den Patienten (mit nachgeschalteter zeitintensiveren Datenerhebung am Rechner für den Untersucher), eine einfache, reproduzierbare Messtechnik und eine weitestgehende Unabhängigkeit von der Kooperationsfähigkeit des Patienten. Bildartefakte können jedoch die Interpretation erschweren und der apparative Kostenaufwand moderner 3D- Untersuchungsverfahren ist zum Teil sehr hoch.

Bei den in der Vergangenheit üblichen Röntgen- und computertomographischen Aufnahmen sind die Patienten zudem einer kaum zu rechtfertigenden Strahlungen ausgesetzt, die es insbesondere im Kindesalter zu vermeiden gilt (Pearce et al., 2012).

1.5.2 Dreidimensionale Verfahren

Van Vlijmen et al. postulierten 2009 anhand von bestimmten Landmarken an menschlichen Schädeln, dass rekonstruierte dreidimensionale Computertomographien den konventionellen Röntgenbildern überlegen sind (Van Vlijmen et al., 2009). Frühwald et al. zeigten ein Jahr zuvor bereits, dass lineare Messungen mit 3D-CTs gegenüber denen mit planaren CT-Bildern exakter sind (Frühwald et al., 2008). Weitere Autoren bestätigen die Überlegenheit der dreidimensionalen Bildgebung gegenüber der zweidimensionalen (Adams et al., 2004) und befürworten diese für die prä- und postoperative Einschätzung (Branson und Shroff, 2011; Kirmi et al., 2009; Nagaraja et al., 2013).

Doch besteht bei Computertomographien der bereits genannte Nachteil der Strahlenbelastung (Cutting et al., 1988). Ferner konstatierten Schweitzer et al. 2012, dass für die Diagnosestellung einer unilateralen Synostose ein CT oft unnötig ist und lediglich unklaren Fällen vorbehalten sein sollte (Schweitzer et al., 2012), zumal für eine entsprechende Bildgebung eine Sedierung oder zum Teil eine Vollnarkose nötig ist, um Bewegungsartefakte zu vermeiden (Cutting et al., 1988).

Ein weiterer bildgebender Modus zur Darstellung von z.B. fazialen Weichteilpunkten ist der 3D-Laserscanner, wie er in Studien von Toma et al. und Hammond Verwendung fand (Hammond, 2007; Toma et al., 2009). Ein Nachteil ist sicherlich die eingeschränkte Verfügbarkeit und die verbundenen Anschaffungskosten (Da Silveira et al., 2003) sowie mögliche Bewegungsartefakte (Cutting et al., 1988).

In neueren Verfahren können mittels dreidimensionaler, digitaler Fotogrammetrie über ein LED-basiertes Lichtsystem kraniofaziale Oberflächen dargestellt werden, die in einer Gegenüberstellung zur direkten Anthropometrie von Wong et al. validiert und als zuverlässig eingestuft wurden (Wong et al., 2008). Wong et al. dedektierten hierbei die von Farkas et al. 1995 beschriebenen Landmarken und linearen Distanzen (Farkas et al., 1995). Unter der Voraussetzung einer raschen Aufnahmezeit ohne Bildverzerrung besteht nunmehr die Möglichkeit einer Bildvergrößerung sowie Rotation des erstellten 3D-Bildes am Computer und einer punktgenauen Analyse im 3D Raum (Wong et al., 2008). Vor allem im Hinblick auf die Bestimmung des wahren Schädelvolumens konnte sich die dreidimensionale Fotogrammetrie bewähren (Freudlsperger et al., 2015; Martini et al., 2018b; Seeberger et al., 2016; van Veelen et al., 2016; Wilbrand et al., 2012).

Mit dem Ziel eine neue, kostengünstige und minimal-invasive Methode zur Evaluation von Schädeldeformitäten in dreidimensionaler Darstellung zu finden, erstellten Barbero-García et al. 2017 mittels Smartphone von fünf Patienten fünf Sekunden dauernde Videos, über welche dann ein 3D-Modell des Schädels erstellt wurde (Barbero-García et al., 2017). Diese wurden mit über den Messzirkel bestimmten Parametern verglichen und in der Genauigkeit als gleichwertig bewertet.

1.6 Zielsetzung der Arbeit

Wie bereits dargestellt, sind sowohl prä- als auch postoperative dreidimensionale Untersuchungen nach einer Operation am kindlichen Schädel zur Beurteilung der

Entwicklung des Kindes essentieller Bestandteil in der modernen kraniofazialen Chirurgie. Bisher gibt es in der Literatur jedoch noch keinen einheitlichen Bewertungsmaßstab.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Evaluation bereits publizierter Befundparameter an einem größeren Patientenkollektiv (Martini et al., 2015). Neben den in der Literatur oft unberücksichtigten Angaben zu Kopfumfang, Schädellänge und –breite wurden faziale-kephalometrische Befunde wie die Schädelbasislänge und –breite sowie faziale, anguläre Messwerte dreidimensional beurteilt.

Insgesamt soll so eine Grundlage für die operative Strategie der Kraniosynostosen geschaffen und die Follow-up-Evaluation der operierten Kinder erleichtert werden.

2. Patienten und Methode

2.1 Patientenkollektiv

2.1.1 Patienten mit nicht-syndromalen Kraniosynostosen

Im Rahmen der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen der Kinderneurochirurgie der Asklepios Kinderklinik Sankt Augustin und der Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Bonn sowie der Praxisklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Dr. Dr. Holger Maas und Dr. Dr. Stephan Rottke in Bonn- Bad Godesberg, wurde zwischen den Jahren 2008 und 2012 bei 166 Patienten die Indikation für eine chirurgische Intervention gestellt.

Für die vorliegende Studie wurde von den Köpfen dieser Patienten ein dreidimensionaler Scan erstellt, anhand dessen mittels einer Computersoftware 23 morphometrische Parameter ausgewertet werden konnten. Zusätzlich erfolgte gleichzeitig entsprechend der unten genannten Zeiträume bei den Patienten eine 2D-Fotodokumentation. Eingang in die Studie fanden lediglich Patienten, von denen ein präoperativer sowie mindestens ein postoperativer Scan vorlag. Dabei erfolgte der präoperative Scan in der Regel einen Tag vor der Operation. Postoperative Scans wurden standardisiert nach drei, sechs, zwölf, 24 und 36 Monaten durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Studienkriterien konnten 75 nichtsyndromale Patienten ausgewertet werden, von denen 54 männlich und 21 weiblich waren. Das Durchschnittsalter betrug zum Operationszeitpunkt 8,32 Monate (Range: 3 – 48 Monate).

Bezüglich der Verteilung der Kraniosynostosen lag bei 30 Patienten ein Trigonocephalus vor (24 männlich, sechs weiblich), bei denen neben der Kranioplastik ein Frontoorbitales Advancement durchgeführt wurde. In einem Fall erfolgte entgegen dem Standardverfahren eine minimal-invasive Kranioplastik ohne FOA. Diese Kasuistik wurde als Einzelfall nicht in die Auswertung aufgenommen.

Neben den Trigonocephali wurden 37 Scaphocephali (28 männlich, neun weiblich) in die Studie einbezogen, von denen acht minimal invasiv operiert wurden (sechs männlich, zwei weiblich, durchschnittliches Operationsalter 3,36 Monate).

Bei acht Patienten (2 männlich, 6 weiblich) mit einem anterioren Plagiocephalus (sechs rechtsseitig betroffen, zwei linksseitig), wurde gleich den Patienten mit einem Trigonocephalus eine konventionelle Kranioplastik mit Frontoorbitalem Advancement

durchgeführt. Eine kleine Patientin wurde mit resorbierbarem Plattensystem osteosynthetisch versorgt. Zudem wurde in einem Fall mit anteriorem Plagiocephalus eine minimal-invasive Kranioplastik durchgeführt. Diese Patientin wurde nicht in der Auswertung berücksichtigt (drop out).

Darüber hinaus fanden zwei brachycephale Patienten (einer männlich, eine weiblich) Einzug in die Studie, sie wurden operativ mit einer Kranioplastik mit FOA versorgt.

Für einige der genannten Patienten schlossen sich weitere Operationen an, auf welche im Ergebnisteil genauer eingegangen wird.

2.1.2 Normpopulation

Den betroffenen Patienten mit Kraniosynostosen wird eine Normpopulation gegenübergestellt. Dieses Kollektiv wurde von der Praxisklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Dr. Dr. Holger Maas und Dr. Dr. Stephan Rottke in Bonn- Bad Godesberg zur Verfügung gestellt, welches sich aus vorgestellten Patienten ergab, die keiner chirurgischen oder anderweitigen Intervention bedurften. Zur Validierung und Einteilung dieser Normpopulation in die jeweiligen, bei den Kraniosynostosen verwendeten, prä- und postoperativen Untersuchungszeitpunkte, wurden die Patienten anhand des sich aus der Weichteilanalyse ergebenden Kopfumfanges mit den Perzentilen für den Kopfumfang aus der KiGGS-Studie von Neuhauser et al. des Robert-Koch-Instituts (2013) verglichen. Für die statistische Auswertung und damit auch für alle weiteren auszuwertenden Parameter wurden nur diejenigen Patienten in das Normkollektiv aufgenommen, deren Median für den Kopfumfang zwischen der dritten und 90. Perzentile lag. Diese Kriterien galten für 25 Kinder (17 männlich, acht weiblich), die mit den präoperativen Werten der betroffenen Patienten verglichen werden konnten. Hier betrug das Durchschnittsalter fünf Monate und reichte von vier bis sieben Lebensmonaten. Weitere 21 Kinder (13 männlich, acht weiblich) konnten für die Gegenüberstellung dem dreimonatigen postoperativen Bereich zugeteilt werden, wobei das Alter von sieben bis zehn Lebensmonaten reichte und das Durchschnittsalter acht Monate betrug. Dem Follow-up-Zeitpunkt sechs Monate nach der Operation der betroffenen Patienten entsprachen vier Kinder (drei männlich, eins weiblich) aus der Normpopulation, deren durchschnittliches Alter bei elf Lebensmonaten lag und sich von

neun bis zwölf Monaten erstreckte. Für diese Population erfolgte keine zweidimensionale Fotodokumentation.

2.2 3D-Bildgebung und Analyse

2.2.1 Aufnahmetechnik

Die Aufnahme der dreidimensionalen Scans erfolgte mittels eines optischen 3D-Sensors (3D-Shape®, Erlangen, Deutschland) auf Grundlage der phasenmessenden Triangulation (Benz 2005). Diese optische Messtechnik ermöglicht eine berührungslose und strahlungsfreie Aufnahme der Kopfoberfläche innerhalb weniger als einer Sekunde, in dem nach einem standardisierten Verfahren der Patientenschädel strukturiert anhand eines Streifenmusters ausgeleuchtet und von zwei speziellen Kameras aufgezeichnet wird (Benz 2005). Zur Vermeidung von Artefakten durch die Kopfbehaarung der Patienten, erhielten diese eine elastische Nylonmütze. Die von beiden Kameras aufgenommenen Bilder werden durch die Software Slim3D (3D-Shape®, Erlangen, Deutschland) trianguliert und zu einem Bild fusioniert.

2.2.2 Dreidimensionale Analyse

Zur kephalometrischen Analyse der dreidimensionalen Scans wurde die Software Onyx Ceph³™ 3D PRO (Version 3.2.40, Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) verwendet. Das Referenzsystem und die dazugehörigen Referenzpunkte dieser Software ergeben sich aus der dreidimensionalen Kephalemetrie von Gwen R.J. Swennen (2006) und L.G. Farkas (1994).

Über diese Landmarken lassen sich Ebenen definieren und sowohl anguläre und lineare Parameter auf der Schädeloberfläche der Patienten berechnen sowie auch der Cephalic Index bestimmen.

2.2.2.1 Dreidimensionale kephalometrische Referenzpunkte

Um die benötigten Parameter zu erhalten, wurden sechs mediane (Tab. 1) und sieben bilaterale (Tab. 2) Weichteilreferenzpunkte auf den in Onyx Ceph³™ dreidimensional dargestellten Patientenschädeln gesetzt (s. Abb. 2 und Abb. 3). Aus diesen gesetzten Referenzpunkten errechnete die Software wiederum zwei neue Referenzpunkte (Tab. 3

und Abb.4), die ebenfalls zur Darstellung bestimmter Winkel und Strecken benötigt werden.

Tab. 1: Mediane Referenzpunkte und deren Definition

Referenzpunkt	Abkürzung	Definition
Glabella	Gl	Der am weitesten anterior gelegene Mittelpunkt der frontoorbitalen Weichgewebekontur
Hautnasion	N	Der am weitesten posterior gelegene Punkt auf der Basis der Nasenwurzel in der Medianebene der Weichgewebekontur
Subnasale	Sn	Mittelpunkt der nasolabialen Weichgewebekontur zwischen Columella und Oberlippe
Nasenspitze	Ns	Der am weitesten anterior gelegene Mittelpunkt der Nasenspitze
Weichteilpogonion	Pog	Der am weitesten anterior gelegene Mittelpunkt des Kinns
Opisthocranion	Op	Der am weitesten posterior gelegene Punkt der Okzipitalregion mit weitester Distanz zur Glabella

Tab. 2: Bilaterale Referenzpunkte und deren Definition

Referenzpunkt	Abkürzung	Definition
Eurion	Eu	Der am weitesten lateral gelegene Punkt der Parietotemporalregion des Schädels
Tragion	Tra	Weichteilpunkt am oberen Rand des Tragus
Präaurale	Pa	Der am weitesten anterior gelegene Punkt des Ohrs auf Höhe des Helixüberganges zum Kopf
Orbitale superius	OS	Weichteilpunkt am obersten Niveau des Orbitaaberrandes
Exokanthion	Aa	Weichteilpunkt am äußeren Augenwinkel
Endokanthion	Ai	Weichteilpunkt am inneren Augenwinkel
Infraorbitalpunkt	Or	Weichteilpunkt am tiefsten Niveau/Level des Orbitaunterrandes

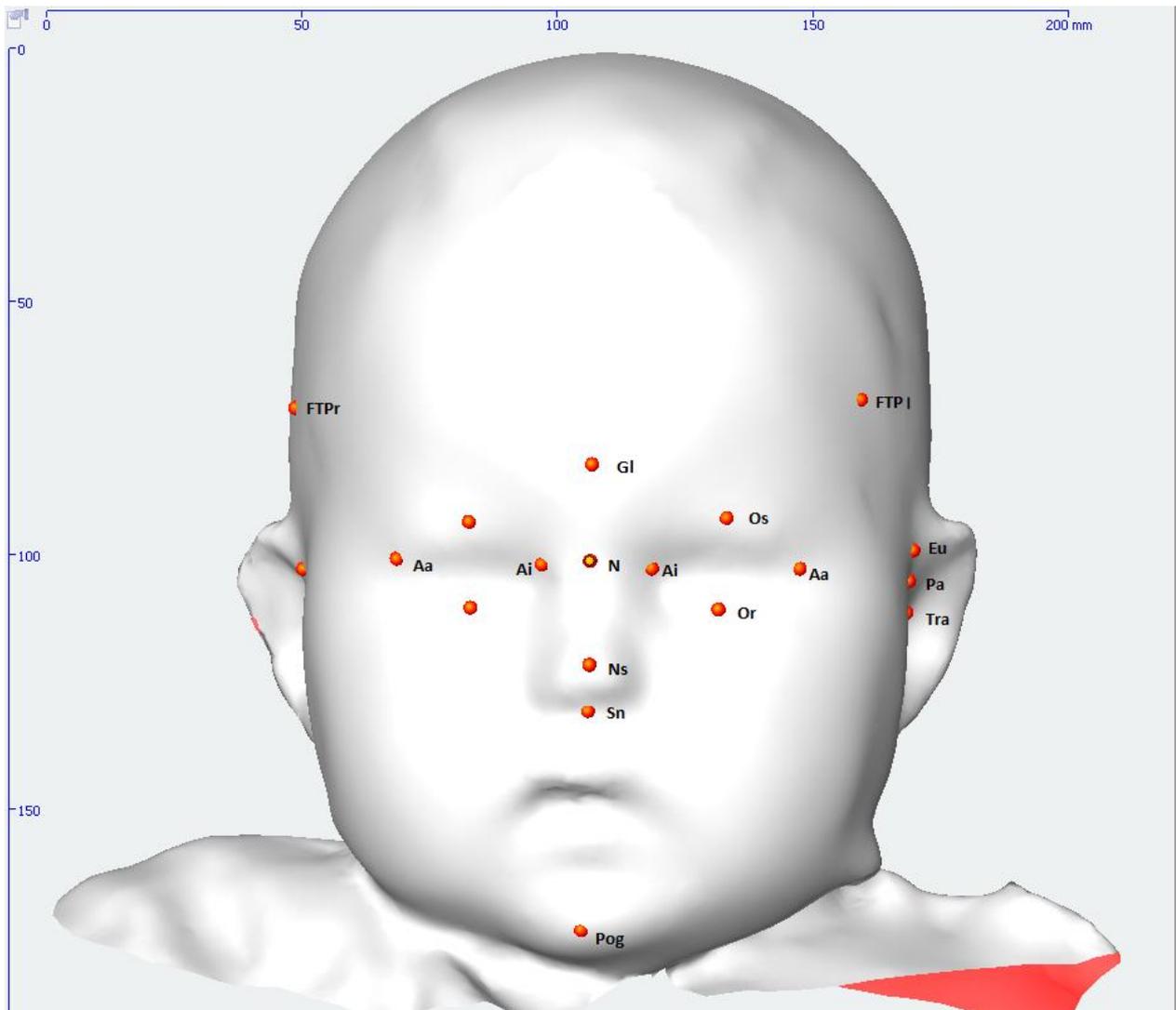


Abb. 2: Die am dreidimensionalen Datensatz markierten medianen und bilateralen Weichteilreferenzpunkte in der Frontalebene

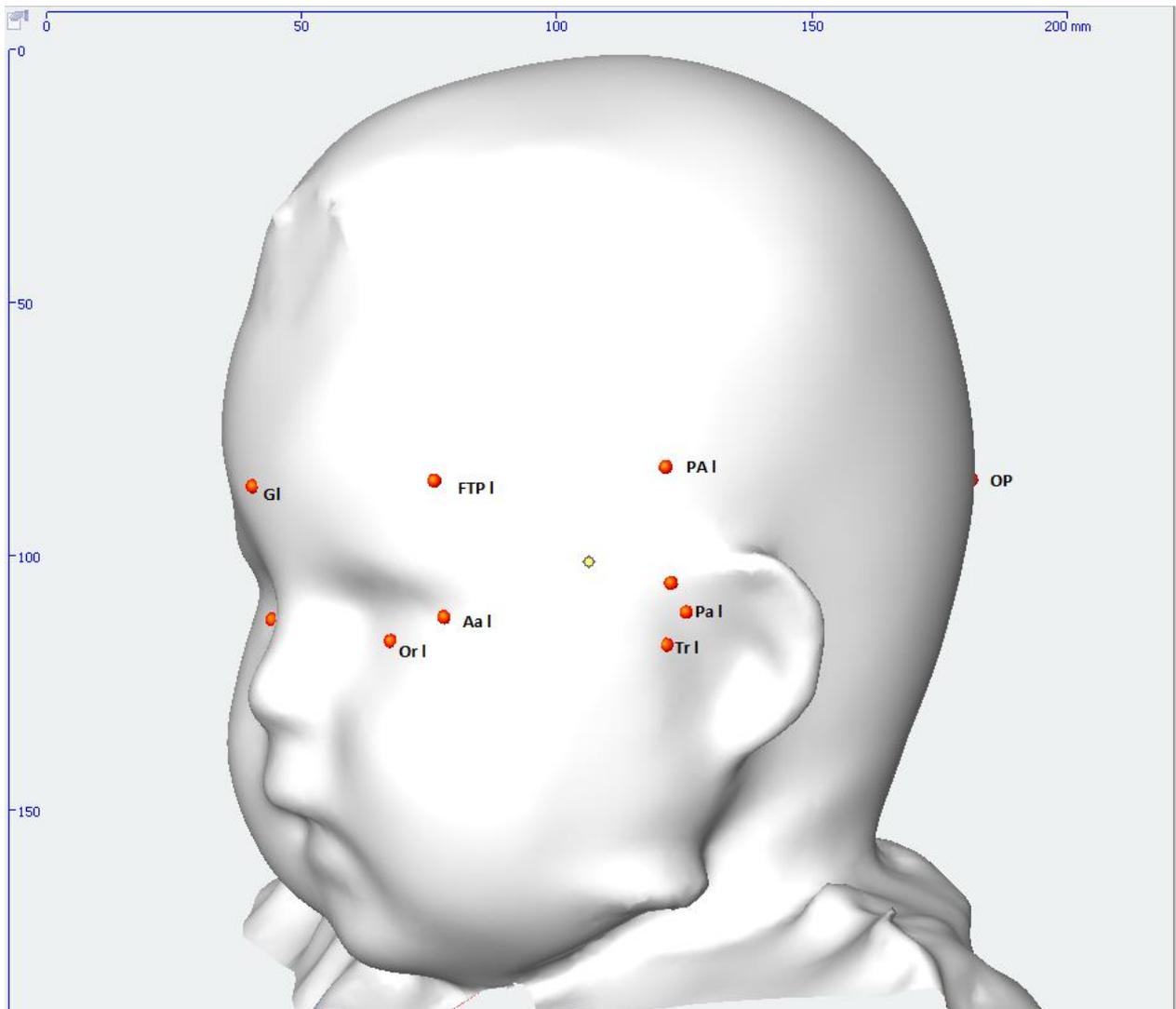


Abb. 3: Die am dreidimensionalen Datensatz markierten Referenzpunkte im Halbprofil

Tab. 3: Aus den bilateralen Referenzpunkten generierte Referenzpunkte aus Martini et al. (2015)

Referenzpunkt	Abkürzung	Definition
Frontotemporalpunkt rechts/ links (s. Abb.4)	FTP _r , FTP _l	Weichteilpunkt, der auf der Horizontalebene liegt, welche parallel zur Frankfurter Horizontalebene verläuft und den Punkt Glabella enthält. Der Punkt liegt senkrecht zum linken bzw. rechten Exokanthion und projiziert sich auf die Hautoberfläche.
Parietalpunkt rechts/ links (s. Abb.4)	PA _r , PA _l	Weichteilpunkt, der auf der Horizontalebene liegt, welche parallel zur Frankfurter Horizontalebene verläuft und den Punkt Glabella enthält. Der Punkt liegt senkrecht zum rechten bzw. linken Präaurale und projiziert sich auf die Hautoberfläche.

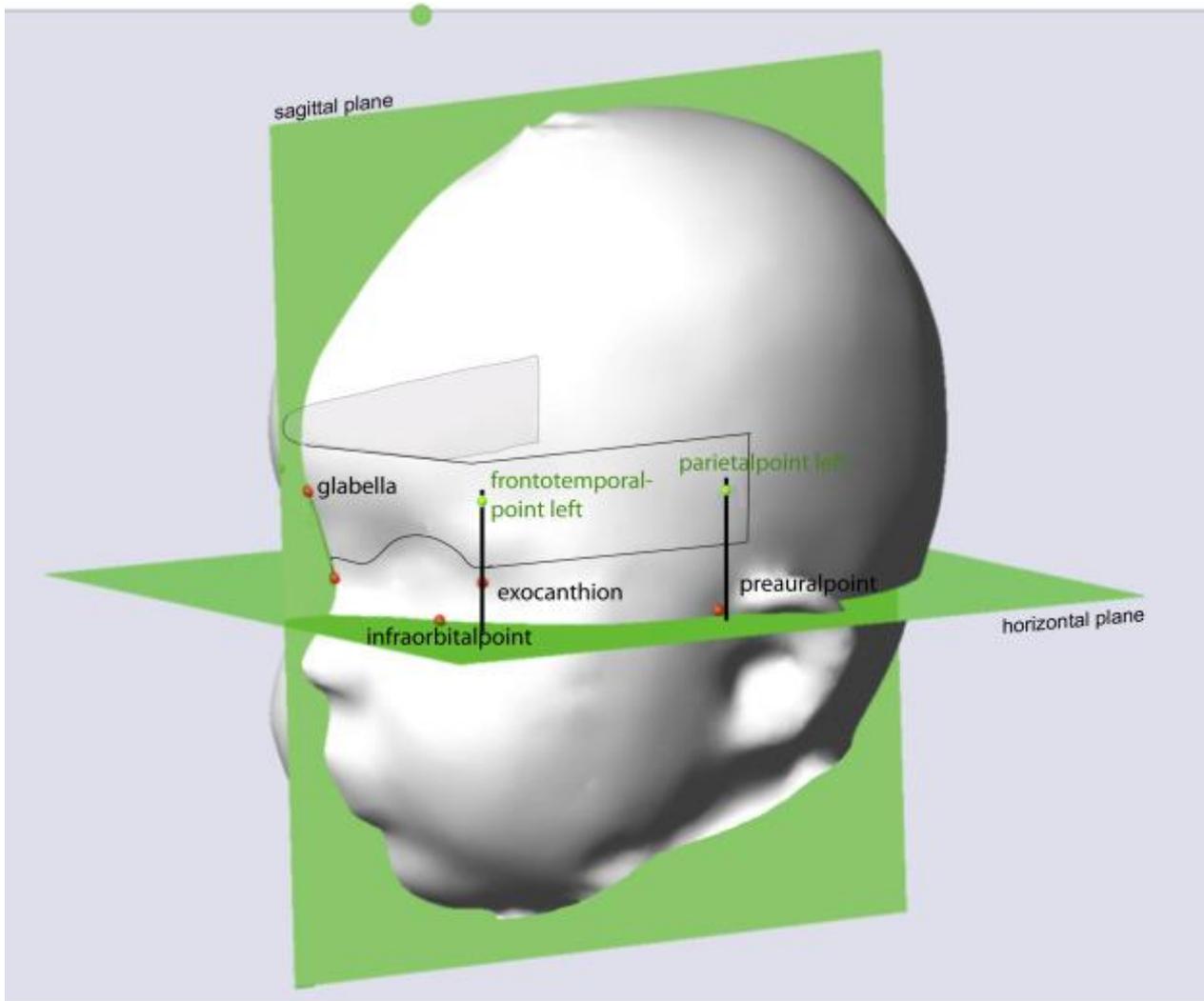


Abb. 4: Darstellung des Frontotemporalpunktes (frontotemporalpoint) und des Parietalpunktes (parietalpoint) im Halbprofil aus Martini et al. (2015)

2.2.2.2 Dreidimensionale kephalometrische Messungen

Anhand der Weichteilanalyse wurden nun acht anguläre (Tab. 4) und 14 lineare (Tab. 5) Parameter identifiziert sowie der Cephalic Index berechnet.

Zur genaueren Beurteilung der Entwicklung des orbitalen Bandeaus nach dem Frontoorbitalen Advancement wurde der Frontalwinkel sowie die beiden Frontoparietalwinkel betrachtet. Der Frontalwinkel ergibt sich dabei aus den beiden Frontotemporalpunkten und der Glabella, die Frontoparietalwinkel aus den jeweiligen Parietalpunkten, Frontotemporalpunkten und der Glabella.

Um den Effekt des FOAs auf die orbitonasale Gesichtsregion analysieren zu können, kommen die Nasofrontalwinkel, der Nasosagittalwinkel (s. Abb. 6), der Profilwinkel von Nase zu Kinn (s. Abb. 7) ebenso wie sämtliche Parameter, die den Augenabstand betreffen, zum Einsatz. Hierbei werden der Nasofrontalwinkel I über Nasion, Glabella und Subnasale (s. Abb.8) und der Nasofrontalwinkel II über Nasion, Glabella und Nasenspitze (s. Abb.9) in Projektion auf die Frontalebene festgelegt. Als weiterer Winkel wurde in der Frontalebene der Nasofrontalwinkel III definiert, aufgespannt zwischen Nasion, Glabella und Weichteilpogonion. Er beschreibt die laterale Abweichung von Kinn zu Stirn (s. Abb. 10). Der Nasosagittalwinkel wird aus Glabella, Nasion und Nasenspitze gebildet und auf die Sagittalebene projiziert und dient der Profilanalyse.

Tab. 4: Anguläre Messungen und deren Definition

Anguläre Parameter	Zusammensetzung der Weichteilreferenzpunkte	Definition
Frontalwinkel (s. Abb. 5)	FTP _r -GI-FTP _l	Winkel zwischen rechtem Frontotemporalpunkt, Glabella und linkem Frontotemporalpunkt
Frontoparietalwinkel rechts (s. Abb. 5)	PA _r -FTP _r -GI	Winkel zwischen rechtem Parietalpunkt, rechtem Frontotemporalpunkt und Glabella
Frontoparietalwinkel links (s. Abb. 5)	PA _l -FTP _l -GI	Winkel zwischen linkem Parietalpunkt, linkem Frontotemporalpunkt und Glabella
Nasosagittalwinkel (s. Abb. 6)	GI-N-Ns	Winkel zwischen Glabella, Nasion und Nasenspitze projiziert auf die Sagittalebene
Profilwinkel Nase zu Kinn (s. Abb. 7)	N-Ns-Pog	Winkel zwischen Nasion, Nasenspitze und Weichteilpogonion projiziert auf die Sagittalebene
Nasofrontalwinkel I (s. Abb.8)	N-GI-Sn	Winkel zwischen Nasion, Glabella und Subnasale projiziert auf die Frontalebene (en face-Betrachtung)
Nasofrontalwinkel II (s. Abb.9)	N-GI-Ns	Winkel zwischen Nasion, Glabella und Nasenspitze projiziert auf die Frontalebene (en face- Betrachtung)
Nasofrontalwinkel III (s. Abb. 10)	N-GI-Pog	Winkel zwischen Nasion, Glabella und Weichteilpogonion projiziert auf die Frontalebene (en face-Betrachtung)

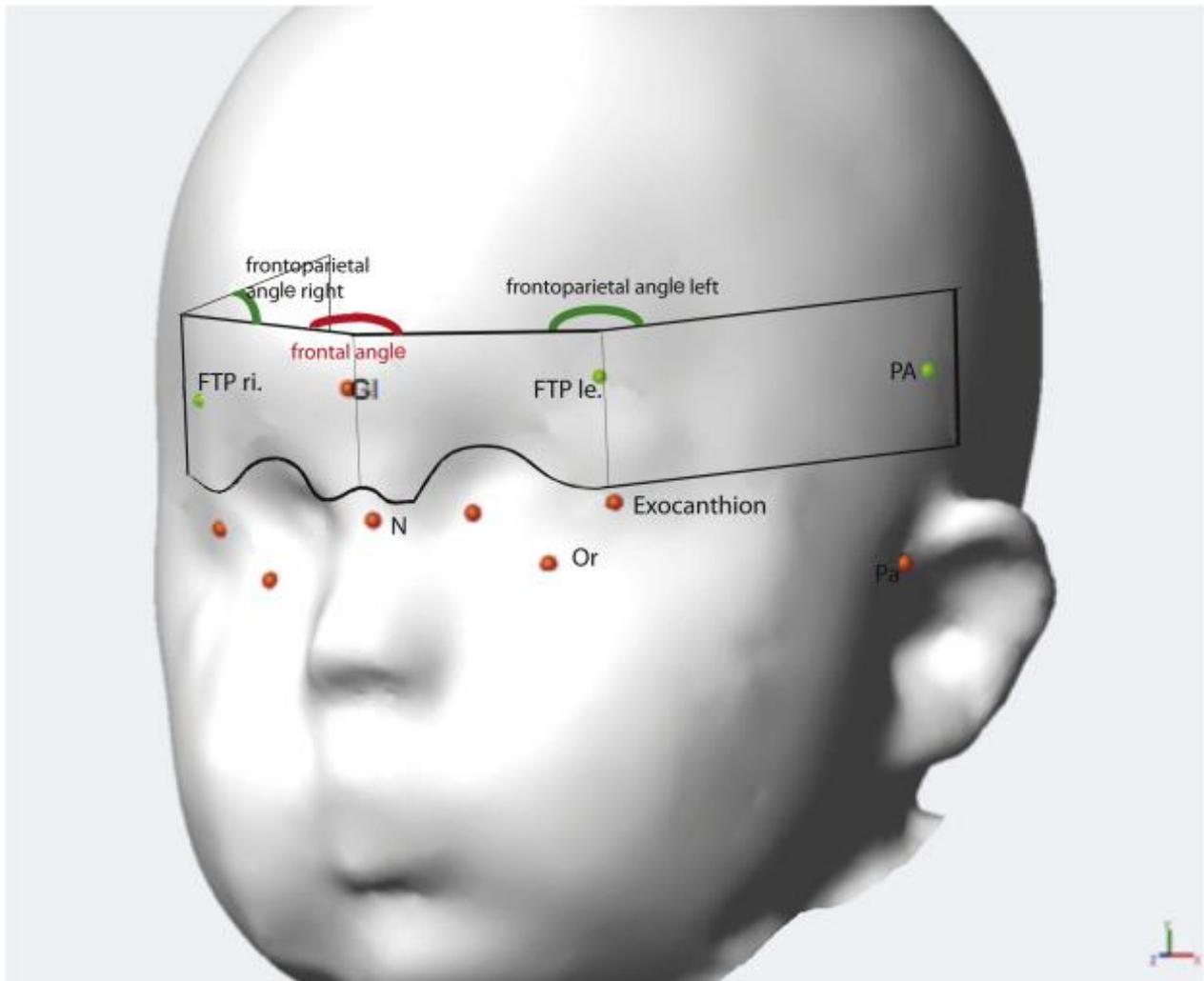


Abb. 5: Darstellung des Frontalwinkels (frontal angle) und des rechten und linken Frontoparietalwinkels (frontoparietal angle right/ left) im Halbprofil aus Martini et al. (2015)

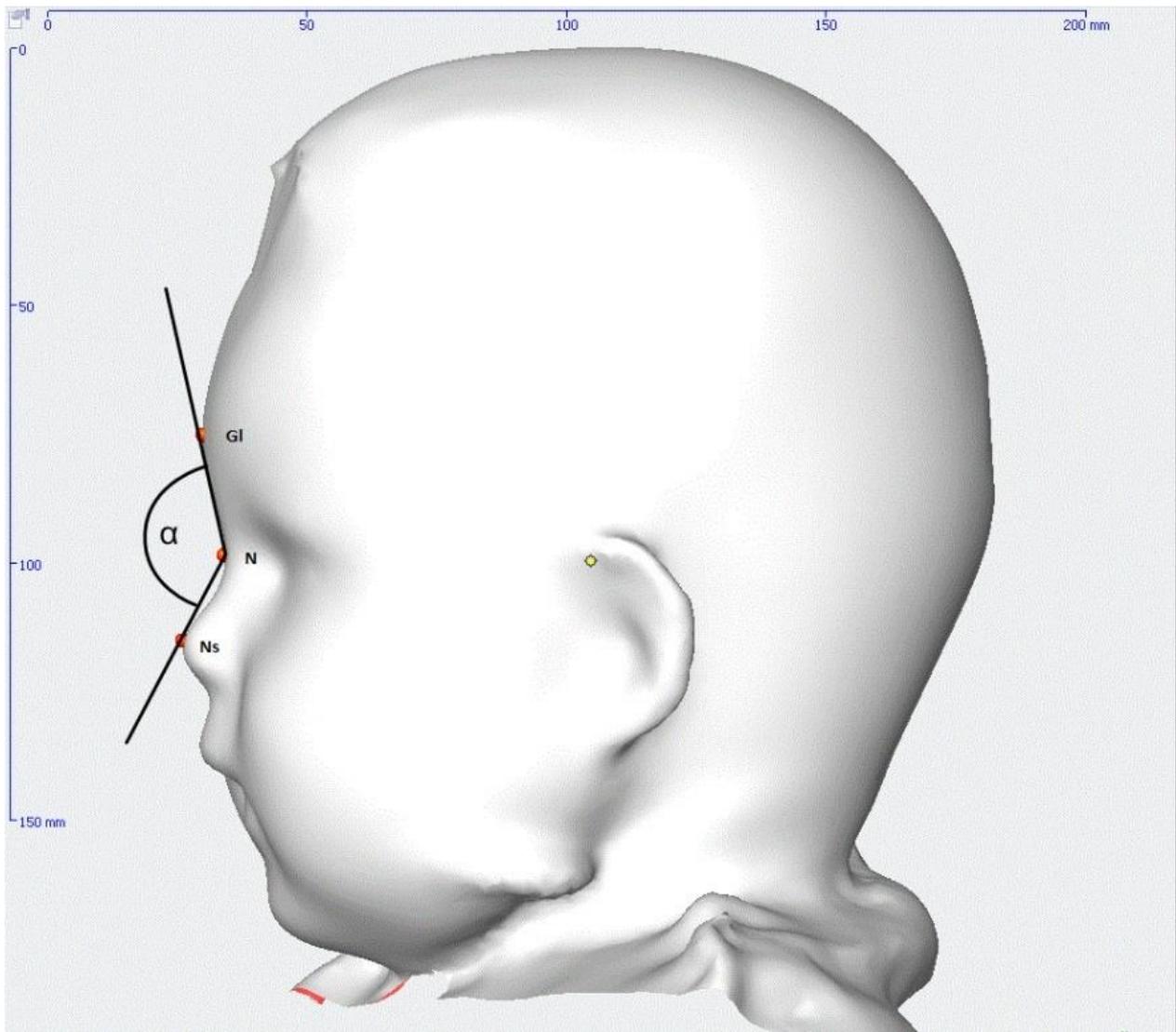


Abb. 6: Nasosagittalwinkel im Profil

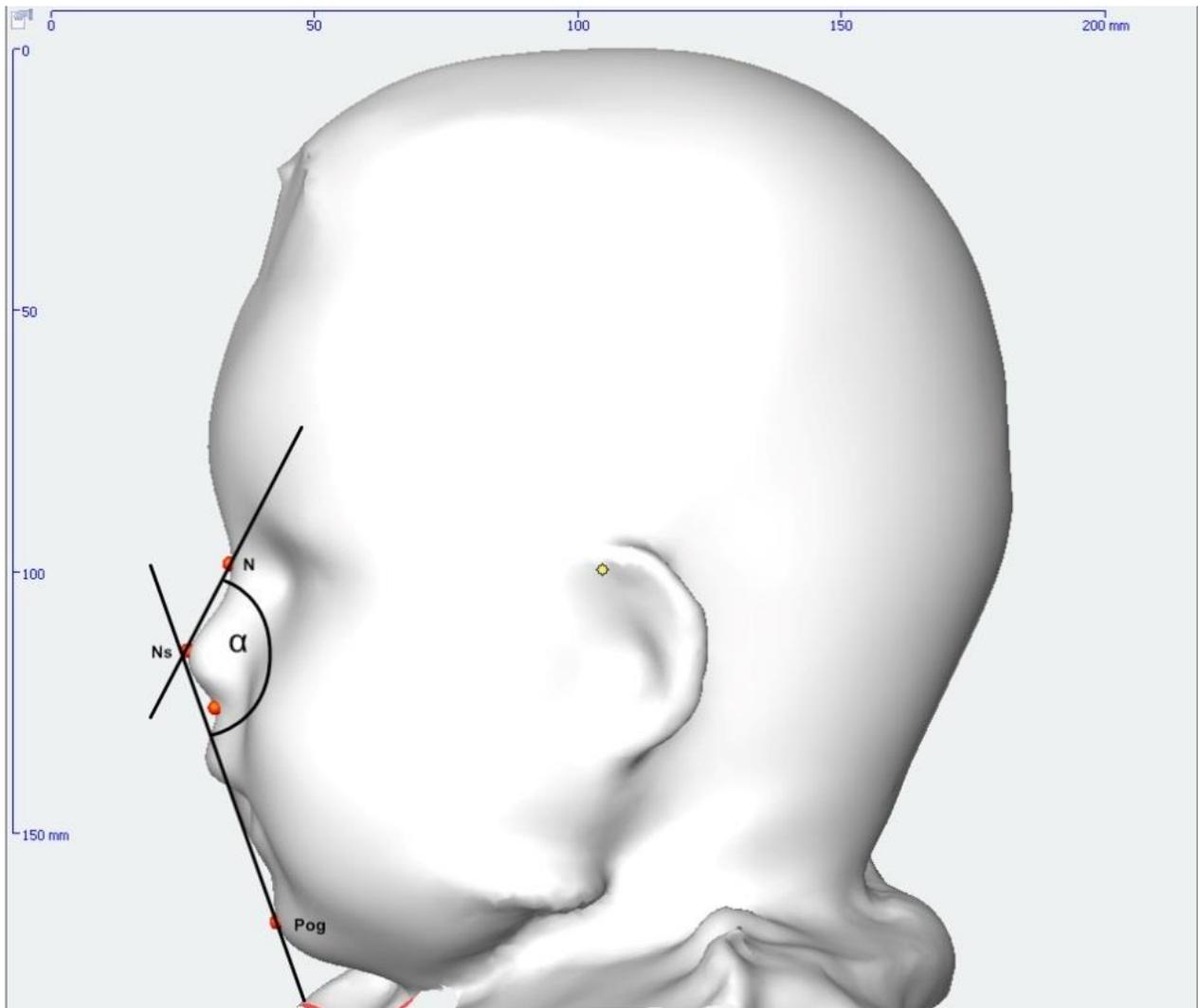


Abb. 7: Profilwinkel Nase zu Kinn im Profil

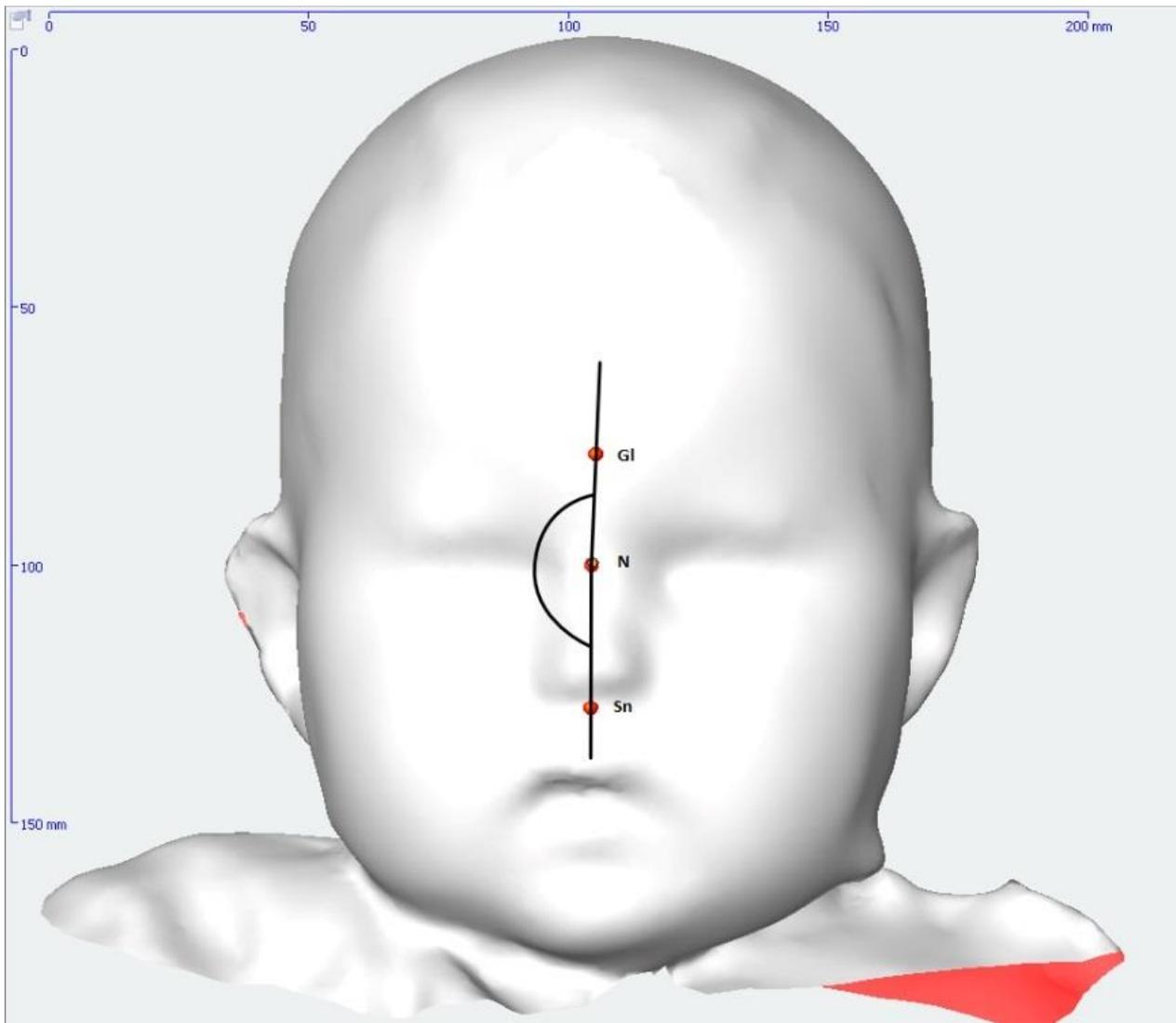


Abb. 8: Nasofrontalwinkel I in der Frontalebene

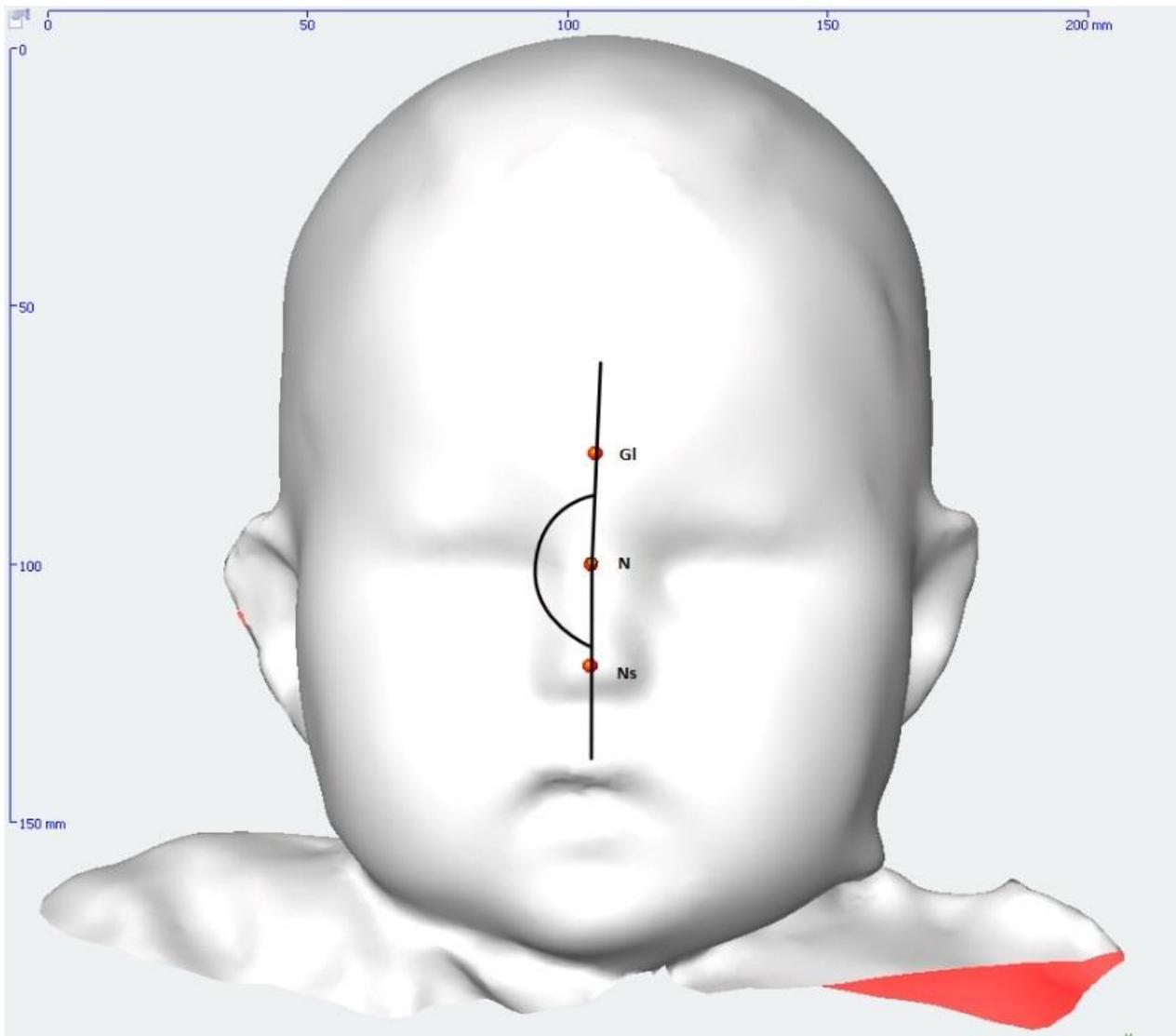


Abb. 9: Nasofrontalwinkel II in der Frontalebene

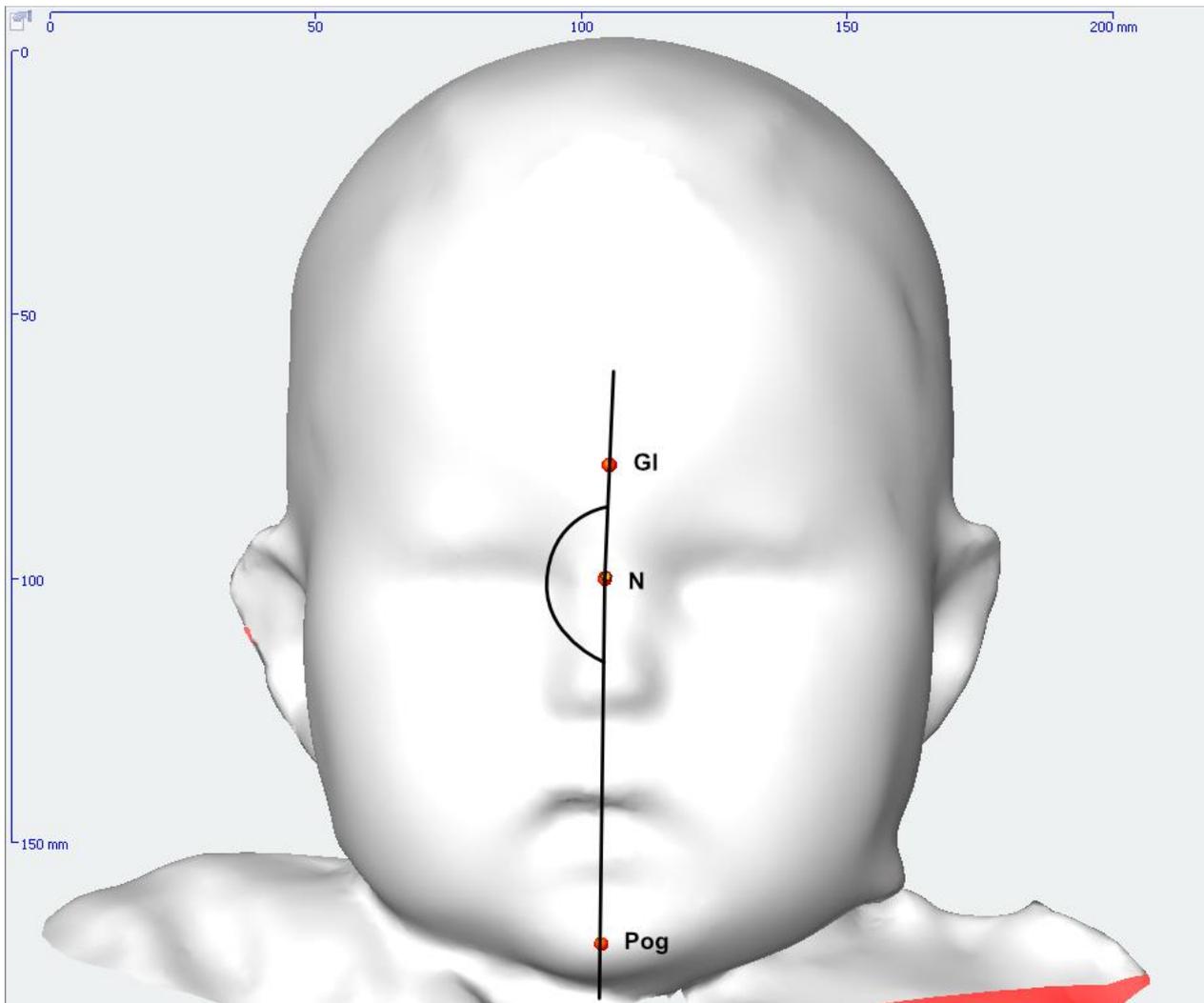


Abb. 10: Nasofrontalwinkel III in der Frontalebene

Die Vorverlagerungsstrecke (s. Abb.11) dient der quantitativen Beurteilung der postoperativen Rückbildung des in der Transversalebene nach ventral und dorsal vergrößerten Schädels der Scaphocephali.

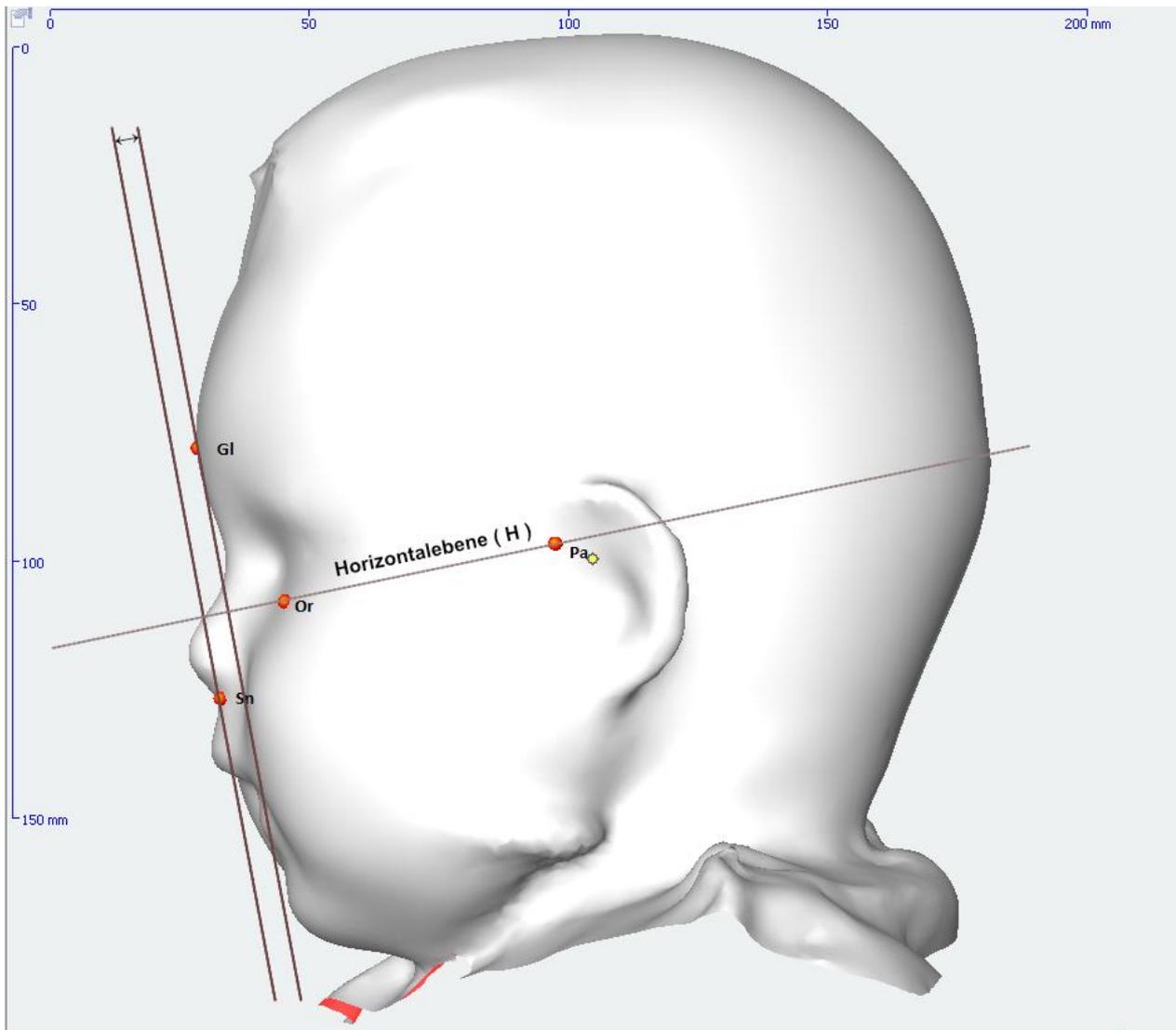


Abb. 11: Vorverlagerungsstrecke im Profil

Für die Begutachtung der Schädelformveränderung werden die maximalen Schädellängen und -breiten sowie die verschiedenen Circumferenzen ermittelt.

Tab. 5: Lineare Parameter und deren Definition

Lineare Parameter	Punkte	Definition
Abstand der Supraorbitalpunkte	OSR-OSL	Strecke zwischen dem rechten und linken Orbitale superius
Augenbreite rechts	ARa-ARi	Strecke zwischen dem rechten Exo- und Endokanthion
Augenbreite links	ALa-ALi	Strecke zwischen dem linken Exo- und Endokanthion
Abstand der inneren Augenwinkel (Interkanthaler Abstand)	ARi-ALi	Strecke zwischen dem rechten und linken Endokanthion
Abstand der äußeren Augenwinkel	ARa-ALa	Strecke zwischen dem rechten und linken Exokanthion
Vorverlagerungsstrecke (s. Abb.11)	GI-Sn	Strecke zwischen Glabella und dem Punkt, der auf der Horizontalebene liegt, der parallel zur Frankfurter Horizontalen durch den Punkt Glabella und auf dem Lot durch den Punkt Subnasale liegt
Maximale Schädellänge	SL	Strecke Glabella zu Opisthocranion
Maximale Schädelbreite	SB	Strecke von Eurion li. zu Eurion re.
Schädelbasislänge rechts	SBre	Strecke von Nasion zum re. Tragion
Schädelbasislänge links	SBli	Strecke von Nasion zum li. Tragion
Schädelbasisbreite	SBB	Abstand zwischen beiden Traguspunkten
Maximale Circumferenz	Cmax	Schädelumfang auf dem Niveau einer Ebene durch Eurion rechts und links sowie durch Opisthocranion und Glabella
Sagittale Circumferenz	Csag	Strecke von Nasion zu Opisthocranion über die Krone des Kopfes
Transversale Circumferenz	Ctrans	Strecke von Präaurale links zu rechts über die Krone des Kopfes in einer Ebene perpendicular zur Frankfurter Horizontalen

Des Weiteren wurde der Cephalic Index (CI) als Quotient der maximalen Schädelbreite (SB) zur maximalen Schädellänge (SL) ($SB \times 100 / SL$) ermittelt.

2.2.2.2 3D- kephalometrische Referenzebenen

Die Referenzierung der einzelnen Parameter erfolgt als Projektion auf die drei verschiedenen Ebenen: die Horizontal-, Sagittal- und Frontalebene (s. Abb. 12). Die Horizontalebene H richtet sich dabei an der Frankfurter Horizontalebene aus. Letztere wird über die Infraorbitalpunkte und den Punkt Porion am Oberrand des äußeren knöchernen Gehörganges definiert, wohingegen die Horizontalebene H der Studie durch die weichgewebigen Präaural- und Infraorbitalpunkte bestimmt wird. Die Sagittalebene S

steht lotrecht zur Horizontalebene H, hier liegen die Landmarken Glabella und Opisthocranion und der Nasosagittalwinkel wird auf ihr abgebildet.

Die Nasofrontalwinkel I, II, III sowie der Profilwinkel Nase zu Kinn stellen sich auf der Frontalebene F dar, welche nicht visualisiert wurde. Diese verläuft senkrecht zur Horizontalebene H und zur Sagittalebene S und benutzt als Referenzlandmarke den Punkt Nasion.

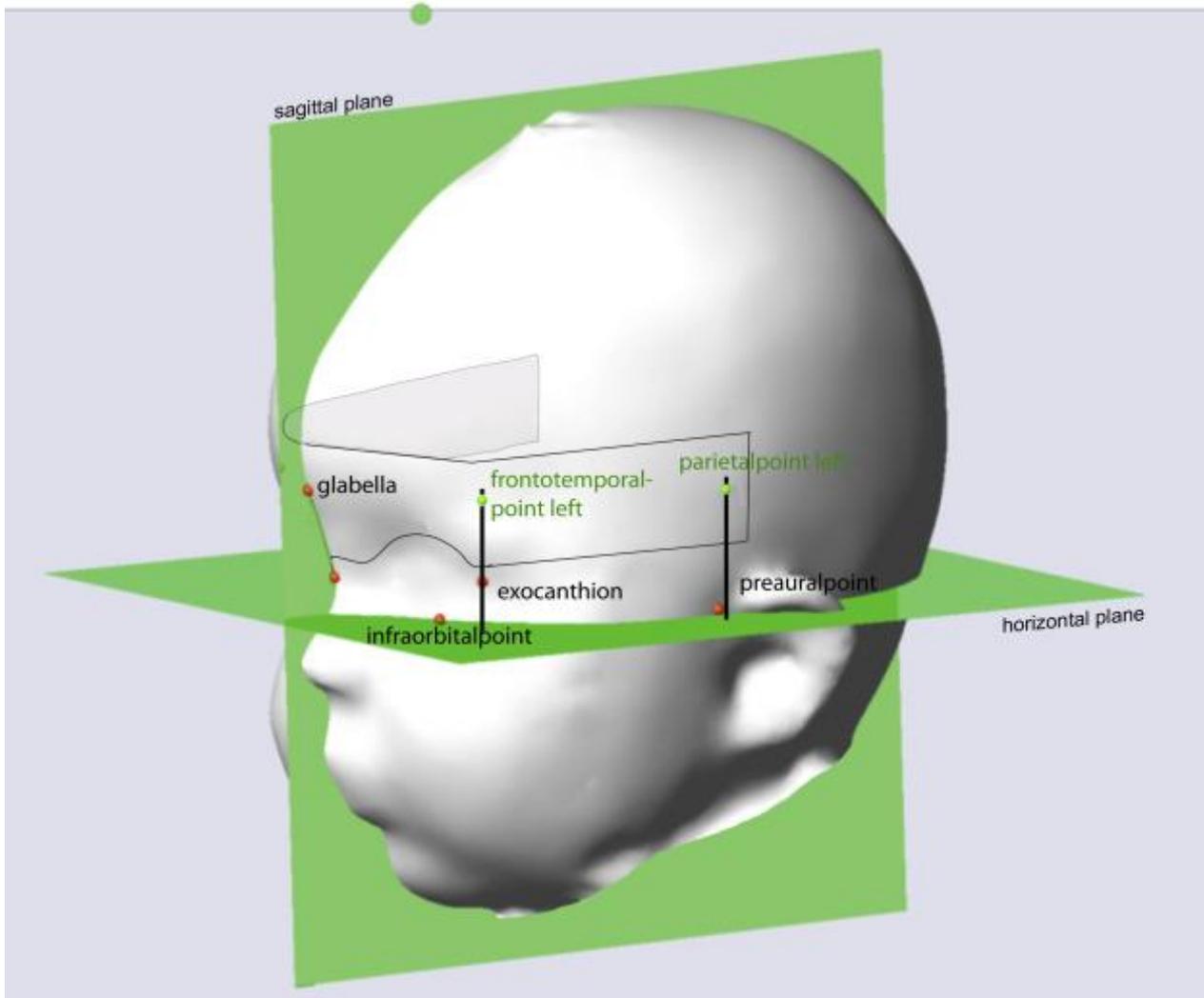


Abb. 12: Sagittalebene S (sagittal plane) und Horizontalebene H (horizontal plane) aus Martini et al. (2015)

2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse erfolgte mittels SPSS® für Windows Version 22.0 (SPSS Inc., Chicago IL, USA, die Datenauswertung in Unterstützung des Institutes für Medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie (IMBIE) der Universität Bonn. Mittelwert, das

95 %- ige Konfidenzintervall mit Ober- und Untergrenze, den Median, die Varianz, die Standardabweichung, das Minimum und das Maximum wurden berechnet. Dabei wurden die oben genannten Parameter entsprechend der verschiedenen Kraniosynostosen (Trigonocephalus, n = 30; Scaphocephalus, n = 38; Plagiocephalus, n = 8; Brachycephalus, n = 2) analysiert. Zusätzlich erfolgte eine Unterteilung kongruent zu den Untersuchungszeitpunkten präoperativ sowie drei, sechs, zwölf, 24, und zum Teil auch 36 Monate postoperativ.

Zunächst führten wir eine deskriptive statistische Auswertung durch. Bei ausreichender Fallzahl konnte die statistische Signifikanz der Ergebnisse über das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts validiert werden. Dieses Intervall beinhaltet den gesuchten Parameter mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %. Eine statistische Signifikanz für den Mittelwert liegt dann vor, wenn die korrespondierenden Konfidenzintervalle den Wert null nicht beinhalten. Das hier verwendete Konfidenzintervall entspricht somit einem signifikanten Ergebnis zum Niveau $\alpha = 5 \%$ (Signifikanzniveau $\alpha =$ maximale Irrtumswahrscheinlichkeit), das heißt $p \leq 0,05$ (Bender und Lange, 2007a, 2007b).

Des Weiteren wurden die Konfidenzintervalle für die Beurteilung der statistischen Signifikanz beim interindividuellen Vergleich der Kraniosynostosen erhoben.

3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Ergebnisse anhand der 3D-Analyse

Die Darstellung der ermittelten Parameter erfolgt einerseits in tabellarischer Darstellung mittels Mittelwert, Median, Standardabweichung sowie Minimum und Maximum und andererseits in graphischer Darstellung anhand von Boxplot-Diagrammen mit dem jeweiligen 95 %- Konfidenzintervall, die die Veränderung der einzelnen Parameter über den zeitlichen Verlauf charakterisieren.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich immer auf den Mittelwert \pm Standardabweichung. Es erfolgte eine differenzierte Analyse der Kraniosynostosensubtypen, wobei bei Vorliegen eines statistisch signifikanten Unterschiedes eine gesonderte Erwähnung vorgenommen wird.

Bei zu kleiner Subgruppenfallzahl entfällt eine statistische Auswertung und wird in den entsprechenden Tabellen nicht genannt.

Für die genaueren Messwerte sei auf den Anhang mit den entsprechenden Tabellen verwiesen.

Revisionsoperationen stellten die Ausnahme dar. Auf gruppenspezifischen Kasuistiken sei wie folgt hingewiesen.

Von den 37 Scaphocephali wurden 28 Patienten (21 männlich, 7 weiblich) einer konventionellen Kranioplastik, ein Patient einer konventionellen Kranioplastik mit FOA (männlich) und 8 Patienten (6 männlich, 2 weiblich) einer minimal-invasiven Kranioplastik unterzogen. Eine Revisionsoperation war bei einem männlichen Patienten im Alter von 20 Monaten mit FOA indiziert. Dieser entwickelte im Verlauf einen Trigonocephalus. Der männliche Patient, der eine konventionelle Kranioplastik mit FOA erhalten hatte, entwickelte ebenfalls im Verlauf einen Trigonocephalus.

Bei der plagiocephalen Gruppe benötigten sowohl eine weibliche Patientin mit dem resorbierbaren Plattensystem als auch zwei weitere weibliche Patientinnen mit 44 bzw. 26 und 37 Lebensmonaten eine Rekranioplastik.

Der Population der Kraniosynostosen wird eine Normalpopulation analogen Alters gegenübergestellt. Ferner erfolgt die graphische Darstellung zusammenfassend in

entsprechenden Boxplot-Diagrammen über den gesamten Untersuchungszeitraum für alle Kraniosynostosen mit den entsprechenden 95 %- Konfidenzintervallen.

3.1.1 Frontalwinkel

3.1.1 a) Frontalwinkel der Kraniosynostosen

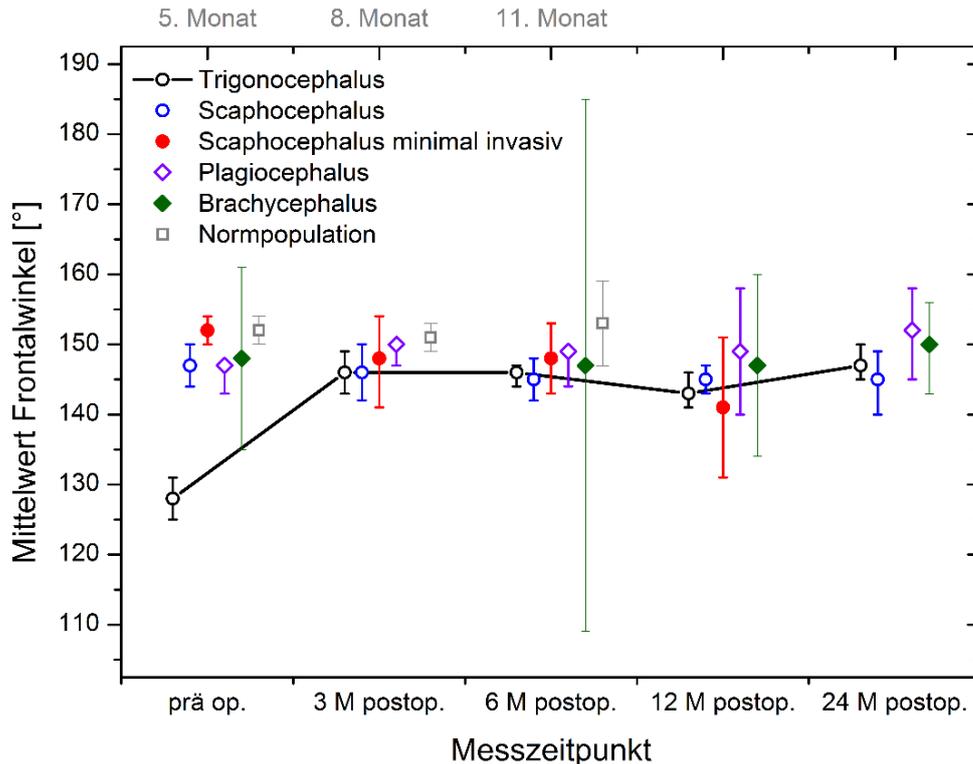


Abb. 13: Zusammenfassende Darstellung des Frontalwinkels zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Frontalwinkels in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 6 und 7 entnommen werden.

Bei den Trionocephali zeigt sich präoperativ ein Frontalwinkel von $128^\circ \pm 5^\circ$. Drei Monate postoperativ imponiert eine signifikante Zunahme des Winkels um ca. 13 % auf $146^\circ \pm 4^\circ$. Im weiteren Verlauf bleibt der Winkel auf diesem Niveau stabil.

Die Gruppe der Scaphocephali weist einen präoperativen Frontalwinkel von $147^\circ \pm 7^\circ$ auf und damit einen signifikant größeren Winkel als die Trionocephali. Im Verlauf

manifestiert sich ein Frontalwinkel von $146^\circ \pm 6^\circ$ drei Monate nach der chirurgischen Intervention bzw. $145^\circ \pm 7^\circ$ sechs Monate postoperativ.

Bei den minimal invasiv operierten Scaphocephali stellt sich der präoperative Frontalwinkel bei $152^\circ \pm 2^\circ$ ein und verringert sich postoperativ auf $148^\circ \pm 1^\circ$ bzw. $\pm 5^\circ$ drei Monate bzw. sechs Monate später. Die abschließende Messung ein Jahr nach der Intervention zeigt eine weitere Verringerung des Frontalwinkels auf $141^\circ \pm 4^\circ$.

Innerhalb der Gruppe der Plagiocephali lässt sich bezüglich des Frontalwinkels zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied feststellen. Der Mittelwert befindet sich zwischen $147^\circ \pm 5^\circ$ präoperativ und $152^\circ \pm 1^\circ$ 24 Monate postoperativ.

Die brachycephalen Kinder zeigen keine große Variation des Frontalwinkels. Der Mittelwert vor dem Eingriff beträgt $148^\circ \pm 1^\circ$ und 24 Monate danach $150^\circ \pm 1^\circ$ und zeigt keinen signifikanten Unterschied. Der Frontalwinkel des männlichen brachycephalen Patienten startet bei 149° präoperativ, hält sich drei und sechs Monate später stabil bei 144° und vergrößert sich anschließend auf 149° 24 Monate postoperativ. Die weibliche Patientin hat einen Ausgangswert von 147° , in den weiteren Follow-ups befindet sich der Frontalwinkel zwischen 150° und 146° .

Bei Betrachtung des Frontalwinkels der verschiedenen Kraniosynostosegruppen zueinander werden präoperativ bei den Trigonocephali mit $128^\circ \pm 5^\circ$ im Vergleich zu den Scaphocephali, Plagiocephali und Brachycephali mit jeweils $147^\circ \pm 7^\circ$, $147^\circ \pm 5^\circ$ und $148^\circ \pm 1^\circ$ signifikant kleinere Frontalwinkel gemessen. Ab der ersten Follow-up-Untersuchung gleichen sich die Mittelwerte der verschiedenen Kraniosynostosen einander an, der signifikante Unterschied fehlt nunmehr.

3.1.1. b) Frontalwinkel der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Bei der Gegenüberstellung der Kraniosynostosen zur Normpopulation fällt beim Frontalwinkel auf, dass auch hier der Winkel präoperativ bei den Trigonocephali um knapp 18 % signifikant kleiner ist als der der Normpopulation. Postoperativ hingegen gleichen sich die Mittelwerte der Frontalwinkel einander an, so dass kein signifikanter Unterschied mehr besteht. Alle anderen Kraniosynostosen bieten sowohl prä- als auch postoperativ hinsichtlich dieses Parameters zur Normpopulation keine signifikante Differenz.

3.1.2 Frontoparietaler Winkel

3.1.2.1 a) Rechter Frontoparietalwinkel der Kraniosynostosen

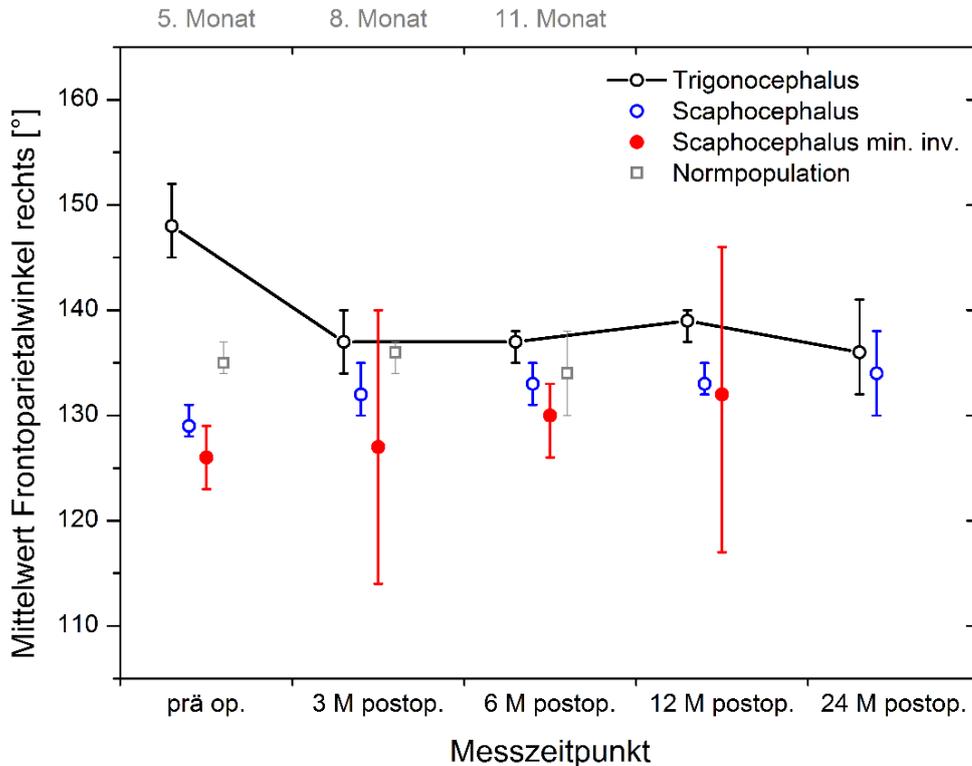


Abb. 14: Zusammenfassende Darstellung des rechten Frontoparietalwinkels zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des rechten Frontoparietalwinkels in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 8 und 9 entnommen werden.

Bezüglich der Trigonocephali liegt eine statistisch signifikante Abnahme des rechten Frontoparietalwinkels von drei Monaten postoperativ zu präoperativ vor. Bei einem Ausgangswert von $148^\circ \pm 6^\circ$ vor der Operation, findet sich ein Abschlusswert von $136^\circ \pm 3^\circ$ nach 24 Monaten.

In der Gruppe der Scaphocephali ist eine statistisch signifikante Zunahme des rechten Frontoparietalwinkels auf $132^\circ \pm 4^\circ$ drei Monate nach der Operation im Vergleich zum präoperativen Wert von $129^\circ \pm 5^\circ$ zu verzeichnen. Im weiteren Verlauf ist der rechte Frontoparietalwinkel stabil bei $133^\circ \pm 5^\circ$.

Eine stetige Zunahme des rechten Frontoparietalwinkels mit statistisch signifikantem Unterschied von $130^\circ \pm 4^\circ$ sechs Monate postoperativ zu $126^\circ \pm 3^\circ$ zu Beginn der Untersuchung zeigt sich bei den Scaphocephali, die minimal invasiv operiert wurden. Sie schließen mit einem Wert von $132^\circ \pm 6^\circ$ in der letzten Untersuchung nach einem Jahr ab.

Für die brachycephalen Patienten lässt sich beim männlichen Patienten ein nahezu stabiler rechter Frontoparietalwinkel beobachten mit 140° vor der Intervention und mit 141° 24 Monate postoperativ. Ähnliche Werte gelten für die weibliche Patientin, bei der ein Anfangswert von 140° hin zu 138° zwölf und 24 Monate postoperativ führt.

Der Vergleich des rechten Frontoparietalwinkels für die Trigenocephali mit den Scaphocephali zeigt präoperativ einen signifikanten Unterschied. Während die Trigenocephali einen mittleren Ausgangswert von $148^\circ \pm 6^\circ$ haben, lässt sich bei den Scaphocephali mit Kranioplastik ein um fast 15 % kleinerer Winkel von $129^\circ \pm 5^\circ$ eruieren und bei den Minimal Invasiven ein Wert von $126^\circ \pm 3^\circ$ und damit um rund 17 % kleiner. Im weiteren Follow-up präsentiert dieser Vergleich einen signifikanten Unterschied im Bezug auf die Trigenocephali zu den beiden Scaphocephaligruppen sechs Monate postoperativ sowie bei den Scaphocephali mit Kranioplastik zu den Trigenocephali nach zwölf Monaten. Der rechte Frontoparietalwinkel der Trigenocephali ist im Vergleich zu den Scaphocephali während unseres Untersuchungszeitraums bis zwölf Monate postoperativ die meiste Zeit über signifikant größer. Drei Monate nach der chirurgischen Intervention nähern sich die Gruppen aber kurzzeitig wieder einander an, so dass die Trigenocephali sich mit einem rechten Frontoparietalwinkel von $137^\circ \pm 4^\circ$, die Scaphocephali mit Kranioplastik mit $132^\circ \pm 4^\circ$ und jene mit endoskopischer Operation mit $127^\circ \pm 1^\circ$ darstellen.

Die Werte der Scaphocephaligruppen zueinander unterscheiden sich statistisch aber zu keinem Zeitpunkt.

3.1.2.1 b) Rechter Frontoparietalwinkel der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Der rechte Frontoparietalwinkel bietet im Vergleich der Kraniosynostosegruppen zur Normalpopulation präoperativ signifikante Unterschiede.

Ausgenommen sind syndromale und brachycephale Patienten, deren Fallzahl zu gering für eine statistische Auswertung ist. Während der rechte Frontoparietalwinkel der Trigonocephali signifikant größer ist, ist der Parameter bei den Scaphocephali (KP und MI) signifikant kleiner. Gleiches gilt für die Plagiocephali, deren betroffene und nicht betroffene Seite signifikant anders ist als die Normpopulation. Dabei ist die betroffene Seite größer, wohingegen die nicht betroffene Seite kleiner ist.

Nach operativer Korrektur unterscheiden sich die rechten Frontoparietalwinkel aller Kraniosynostosen kaum von denen der Normpopulation.

3.1.2.2 a) Linker Frontoparietalwinkel der Kraniosynostosen

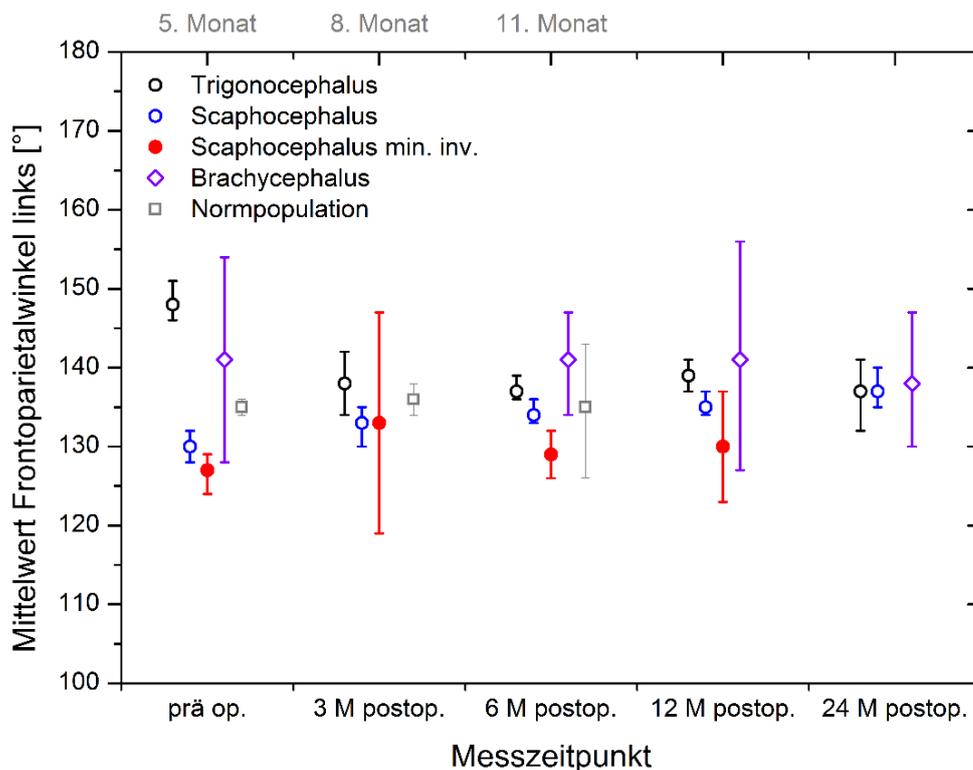


Abb. 15: Zusammenfassende Darstellung des linken Frontoparietalwinkels zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des linken Frontoparietalwinkels in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 10 und 11 entnommen werden.

Der linke Frontoparietalwinkel verhält sich bei den Trigenocephali äquivalent zum rechten Frontoparietalwinkel. Auch hier zeigt sich die signifikante Verkleinerung drei Monate nach der angewandten Kranioplastik, so dass im Vergleich zum präoperativen Ausgangswert von $148^\circ \pm 5^\circ$ ein linker Frontoparietalwinkel von $137^\circ \pm 2^\circ$ 24 Monate postoperativ vorliegt.

Die Gruppe der Scaphocephali verhält sich bezüglich des linken Frontoparietalwinkels ebenfalls äquivalent zum rechten Frontoparietalwinkel. Der Mittelwert von $133^\circ \pm 4^\circ$ drei Monate postoperativ unterscheidet sich signifikant von den initialen $130^\circ \pm 5^\circ$ ebenso wie das Intervall von zwölf zu sechs Monaten. Insgesamt zeichnet sich hier eine stetige Vergrößerung des linken Frontoparietalwinkels ab.

Einen statistisch signifikanten Unterschied des linken Frontoparietalwinkels kann bei den minimal invasiv operierten Scaphocephali zum einen im Intervall von sechs Monaten zum präoperativen Ausgangswert festgestellt werden, zum anderen aber auch beim Vergleich von zwölf Monaten zu sechs Monaten. Hierbei lässt sich eine Zunahme um 3° von $127^\circ \pm 3^\circ$ auf $130^\circ \pm 3^\circ$ innerhalb von 12 Monaten eruieren. Innerhalb der ersten drei postoperativen Monate ist zunächst sogar ein deutlicheres Wachstum des Winkels zu verzeichnen, jedoch wird hier das Signifikanzniveau nicht erreicht.

Der männliche brachycephale Patient bietet präoperativ einen 140° großen linken Frontoparietalwinkel, welcher nach drei Monaten mit 139° und nach sechs Monaten mit 141° nahezu konstant ist. Am letzten Untersuchungszeitpunkt zwölf Monate postoperativ ist der Parameter 137° groß.

Der Winkel der weiblichen Patientin befindet sich zu Beginn bei 142° . Im weiteren Verlauf liegen die Werte zwischen 139° und 142° .

Äquivalent zum rechten Frontoparietalwinkel manifestiert sich ein signifikanter Unterschied beim linken Frontoparietalwinkel bei der Analyse der Trigenocephali mit einem präoperativen Ausgangswert von $148^\circ \pm 5^\circ$ zu den Scaphocephali mit $130^\circ \pm 4^\circ$ sowie zu den minimal invasiv operierten Scaphocephali mit $127^\circ \pm 3^\circ$. Ebenfalls findet sich dieser Unterschied sechs Monate postoperativ. Hier ist ein Wert von $137^\circ \pm 3^\circ$ bei den Trigenocephali feststellbar, wohingegen die Scaphocephali mit $134^\circ \pm 3^\circ$ (KP) bzw. $129^\circ \pm 3^\circ$ (MI) mit einem etwas kleineren linken Frontoparietalwinkel auffallen. Der Vergleich drei Monate postoperativ bleibt ohne statistisch signifikanten Unterschied.

Hinsichtlich der Gegenüberstellung von Brachycephali zu Scaphocephali (KP) und Trigenocephali lässt sich zu keinem Untersuchungszeitpunkt ein statistisch signifikanter Unterschied erfassen. Lediglich im Vergleich zu den Scaphocephali mit minimaler Intervention zeigt sich sechs Monate postoperativ ein signifikanter Unterschied von $140^\circ \pm 1^\circ$ bei den Brachycephali zu $129^\circ \pm 3^\circ$ bei den Scaphocephali (MI).

3.1.2.2 b) Linker Frontoparietalwinkel der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Die Auswertung fällt nahezu äquivalent zum rechten Frontoparietalwinkel aus. Präoperativ bestehen signifikante Unterschiede der Normalpopulation zu allen Kraniosynostosen. Nach der Intervention gleicht sich der ursprünglich zu kleine linke Frontoparietalwinkel der Scaphocephali (KP und MI) bzw. der zu große Frontoparietalwinkel der Trigenocephali dem der Normpopulation an, so dass postoperativ keine signifikante Differenz mehr besteht.

3.1.2.3 Frontoparietalwinkel der Plagiocephali

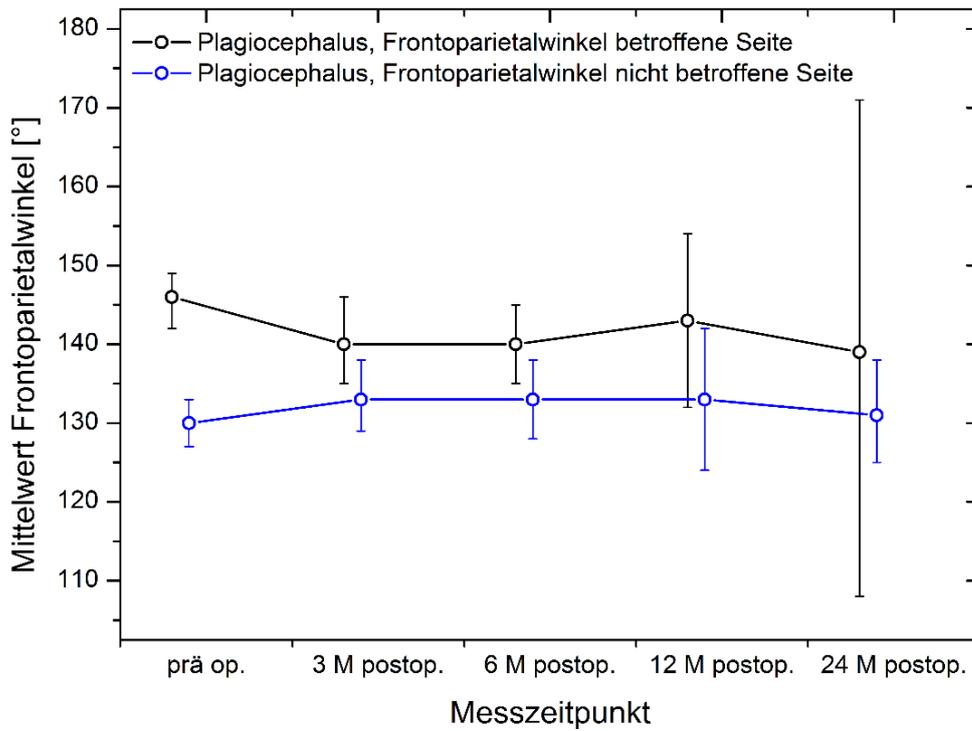


Abb. 16: Zusammenfassende Darstellung des Frontoparietalwinkels der Plagiocephali zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Frontoparietalwinkels der Plagiocephali in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95%- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 12 und 13 entnommen werden.

Die Seitenklassifizierung in der Gruppe der Plagiocephali erfolgt nach prä-matur stenosierte (betroffene Seite) versus gesunder, nicht betroffener Sutur.

Präoperativ liegt der Frontoparietalwinkel der betroffenen Seite bei $146^\circ \pm 4^\circ$. Dieser fällt drei Monate postoperativ signifikant auf $140^\circ \pm 5^\circ$. Im weiteren Verlauf wird der Winkel langsam größer ohne statistisch signifikanten Unterschied.

Im Vergleich zum rechten Frontoparietalwinkel der Scaphocephali (KP und MI) kann präoperativ sowie sechs Monate postoperativ ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden, wohingegen sie sich drei Monate postoperativ nicht signifikant unterscheiden.

Eine leichte Zunahme des Frontoparietalwinkels der nicht betroffenen Seite imponiert während des Untersuchungszeitraums von $130^\circ \pm 4^\circ$ auf bis zu $133^\circ \pm 6^\circ$, jedoch ist dies ohne statistisch signifikanten Unterschied.

Im Hinblick auf die anderen Kraniosynostosegruppen ist lediglich ein signifikanter Unterschied der nicht betroffenen Seite zu den Trigonocephali präoperativ festzustellen, bei denen der Mittelwert vor der Intervention bei $148^\circ \pm 6^\circ$ (rechter Frontoparietalwinkel) bzw. $\pm 6^\circ$ (linker Frontoparietalwinkel) liegt. Dem gegenüber liegt der Wert der nicht betroffenen Seite der Plagiocephali bei $130^\circ \pm 4^\circ$ präoperativ. Postinterventionell sowie zu allen Zeitpunkten im Vergleich zu den Scaphocephali (KP und MI) überschneiden sich die 95 %- Konfidenzintervalle.

Der Vergleich zur Normalpopulation ergibt sowohl bei der prä-matur stenosierten Seite als auch bei der gesunden Seite der Plagiocephali präoperativ signifikante Unterschiede. Hier stellt sich der Frontoparietalwinkel der betroffenen Seite mit $146^\circ \pm 4^\circ$ signifikant größer dar als der rechte und linke Frontoparietalwinkel der Normalpopulation (rechts $135^\circ \pm 4^\circ$, links $135^\circ \pm 3^\circ$). Nach der chirurgischen Intervention bestehen diese Unterschiede nicht mehr. Dem gegenüber ist die nicht betroffene Seite der Plagiocephali präoperativ signifikant kleiner ($130^\circ \pm 4^\circ$). Postoperativ nähern sich die Größen des Frontoparietalwinkels ebenfalls an, es existiert kein signifikanter Unterschied mehr.

3.1.3 Nasosagittalwinkel

3.1.3 a) Nasosagittalwinkel der Kraniosynostosen

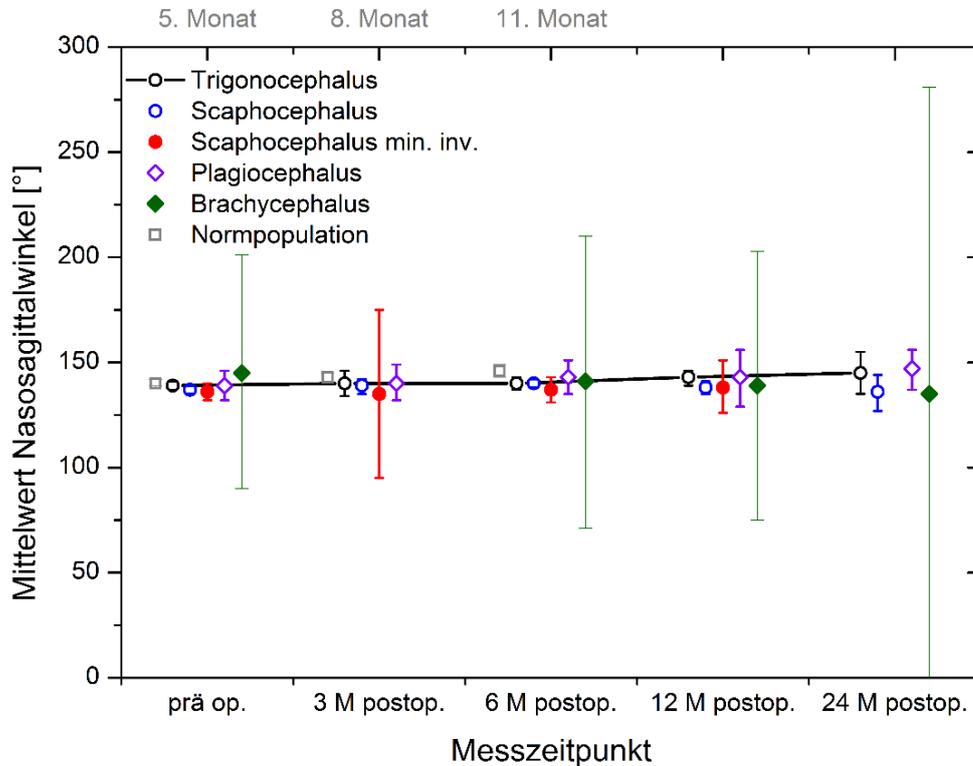


Abb. 17: Zusammenfassende Darstellung des Nasosagittalwinkels zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Nasosagittalwinkels in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 14 und 15 entnommen werden.

Beim Nasosagittalwinkel zeigen sowohl die Trionocephali als auch die Plagiocephali zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied in ihrer postoperativen Entwicklung. Dabei liegt der Ausgangswert der Trionocephali bei $139^\circ \pm 6^\circ$, 24 Monate postoperativ ist der Parameter $145^\circ \pm 8^\circ$ groß. Die Plagiocephali verhalten sich bei diesem Parameter ähnlich der Trionocephali mit einem präoperativen Ausgangswert von $139^\circ \pm 9^\circ$ zu $147^\circ \pm 4^\circ$ zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung.

Im Gegensatz dazu findet bei den Scaphocephali (KP) zunächst eine signifikante Zunahme des Nasosagittalwinkels um durchschnittlich 2° in den ersten drei Monaten statt. In den nächsten drei Monaten stagniert der Winkel und zeigt keine signifikante Änderung. Im Untersuchungsintervall von zwölf Monaten zu sechs Monaten ist eine

statistisch signifikante Abnahme Richtung präoperativen Ausgangswert zu eruieren (von $140^\circ \pm 5^\circ$ hin zu $138^\circ \pm 6^\circ$).

Die minimal invasiv operierten Scaphocephali stellen sich hinsichtlich des Nasosagittalwinkels über den gesamten Verlauf ohne statistisch signifikante Änderung dar. Nach der chirurgischen Intervention zeigt sich eine leichte Zunahme von $136^\circ \pm 5^\circ$ präoperativ zu $138^\circ \pm 5^\circ$ zwölf Monate postoperativ.

Das erste Kind der Brachycephali hat für den Nasosagittalwinkel einen präoperativen Ausgangswert von 150° und liegt über den Untersuchungszeitraum zwischen diesem Wert und 144° bei der abschließenden Untersuchung, während das zweite Kind mit einem Nasosagittalwinkel von 141° beginnt, welcher sich sukzessive auf 135° sechs Monate postoperativ zu 123° 24 Monate postoperativ verkleinert.

Bei der Gesamtbeurteilung der einzelnen Diagnosegruppen im interindividuellen Vergleich zeigt sich kein statistisch signifikanter Unterschied.

3.1.3 b) Nasosagittalwinkel der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Beim Nasosagittalwinkel besteht zu keinem Zeitpunkt während unseres Untersuchungszeitraums ein statistisch signifikanter Unterschied.

3.1.4 Profilwinkel Nase zu Kinn

3.1.4 a) Profilwinkel Nase zu Kinn der Kraniosynostosen

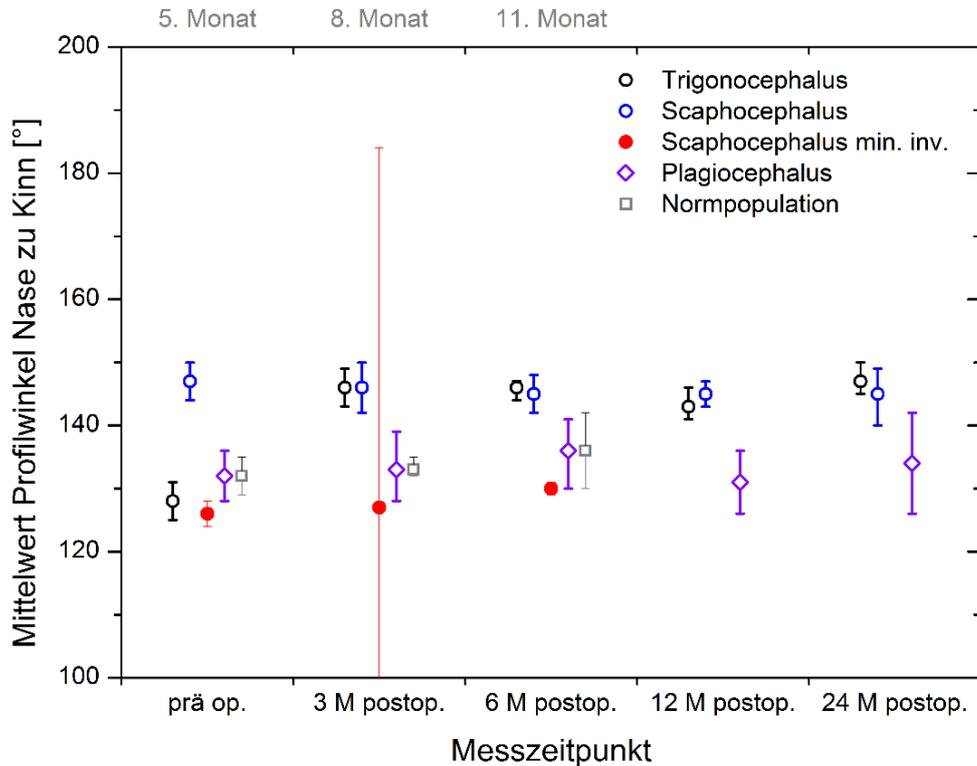


Abb. 18: Zusammenfassende Darstellung des Profilwinkels Nase zu Kinn zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Profilwinkels Nase zu Kinn in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 16 und 17 entnommen werden.

Bei Betrachtung des Profilwinkels Nase zu Kinn zeigt sich bei den Trigenocephali zu Beginn ein Winkel von $132^\circ \pm 5^\circ$, welcher zwölf Monate postoperativ auf $135^\circ \pm 6^\circ$ zunimmt.

Die Entwicklung des Profilwinkels stellt sich in der Gruppe der Scaphocephali konstant zwischen $132^\circ \pm 5^\circ$ und $133^\circ \pm 4^\circ$ im gesamten Untersuchungszeitraum dar.

Bei den minimal invasiv operierten Scaphocephali flacht der Winkel von ursprünglichen $126^\circ \pm 2^\circ$ präoperativ auf $130^\circ \pm 1^\circ$ sechs Monate postoperativ ab.

Ohne statistische Signifikanz vergrößert sich der Profilwinkel Nase zu Kinn bei den Plagiocephali zunächst bis sechs Monate postinterventionell um 4° und verkleinert sich

bei unserem Patientenkollektiv auf 134° zum letzten Untersuchungszeitpunkt 24 Monate nach der chirurgischen Intervention.

Aufgrund eines nicht verwertbaren unteren Gesichtsdrittels beim präoperativen Scan eines brachycephalen Kindes kann dieses nicht in die Auswertung eingehen.

Das zweite brachycephale Kind hat vor der Operation einen Profilwinkel Nase zu Kinn von 131° . Dieser flacht innerhalb von drei Monaten um 7° ab. Zwölf Monate postoperativ liegt der Parameter mit 129° unterhalb des Ausgangswerts, nach 24 Monaten mit 132° aber wieder im präoperativen Bereich.

Zwischen den Scaphocephali liegt präoperativ ein statistisch signifikanter Unterschied vor. Der Profilwinkel Nase zu Kinn ist bei den minimal invasiv operierten Patienten kleiner als der der offen operierten. Dieser signifikante Unterschied persistiert auch sechs Monate postoperativ.

3.1.4 b) Profilwinkel Nase zu Kinn der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

In Bezug auf den Profilwinkel ist ein signifikanter präoperativer Unterschied zwischen den minimal invasiv operierten Scaphocephali und der Normpopulation feststellbar. Der Winkel der Scaphocephali (MI) ist im Vergleich zur Normpopulation kleiner, postoperativ besteht dieser Unterschied nicht mehr.

Alle anderen Kraniosynostosen weisen keine signifikanten Unterschiede zur Normpopulation auf.

3.1.5 Nasofrontalwinkel I

3.1.5 a) Nasofrontalwinkel I der Kraniosynostosen

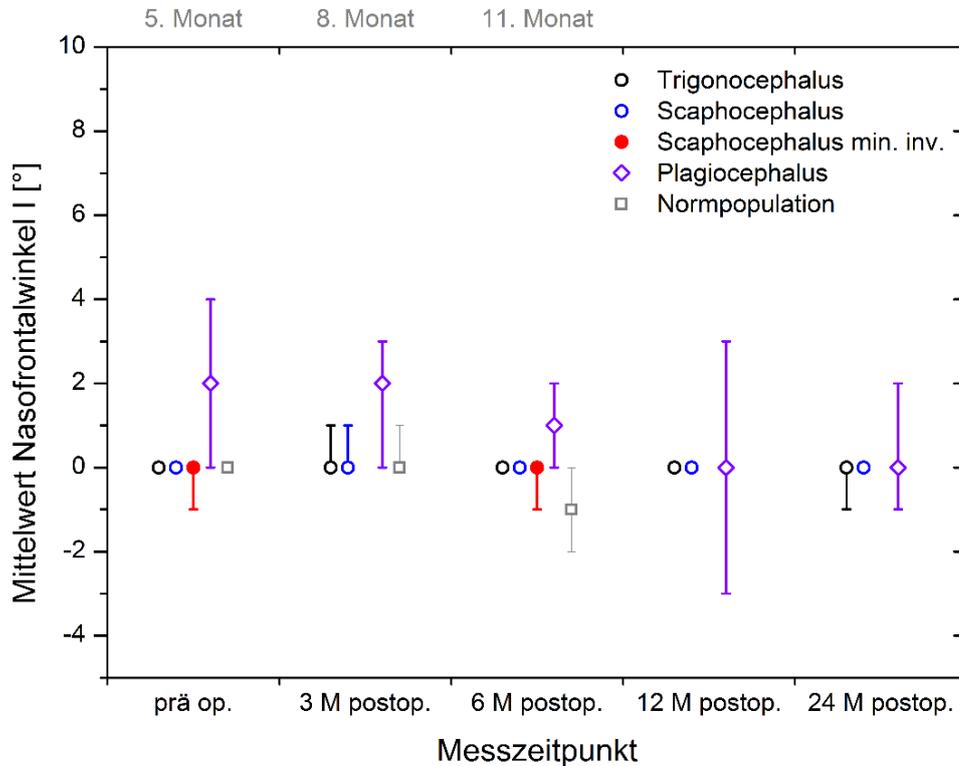


Abb. 19: Zusammenfassende Darstellung des Nasofrontalwinkels I zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Nasofrontalwinkels I in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 18 und 19 entnommen werden.

Der Nasofrontalwinkel I hält sich in der Gruppe der Trigenocephali und Scaphocephali (KP + MI) weitestgehend stabil bei 0 °. Gleiches gilt für die Brachycephali.

Bei den Plagiocephali stellt sich der Nasofrontalwinkel I präoperativ mit $2^\circ \pm 2^\circ$ dar und nähert sich im weiteren Verlauf $0^\circ \pm 1^\circ$ an.

3.1.5 b) Nasofrontalwinkel I der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Zur Normalpopulation unterscheiden sich die Kraniosynostosen statistisch nicht signifikant.

3.1.6 Nasofrontalwinkel II

3.1.6 a) Nasofrontalwinkel II der Kraniosynostosen

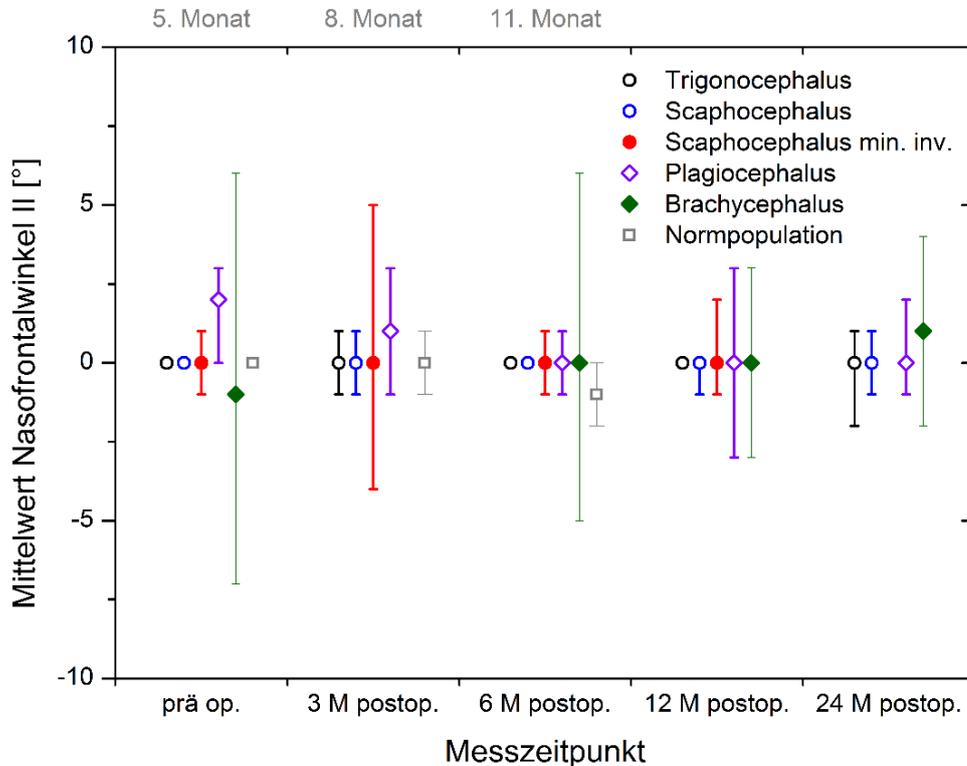


Abb. 20: Zusammenfassende Darstellung des Nasofrontalwinkels II zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Nasofrontalwinkels II in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 20 und 21 entnommen werden.

Der Nasofrontalwinkel II der Trionocephali und der Scaphocephali (KP+MI) kennzeichnet sich durch eine durchgehende Größe von $0^\circ \pm 1^\circ$.

Bei Betrachtung der plagiocephalen Kinder lässt sich ein signifikanter Unterschied von sechs Monaten postoperativ zu drei Monaten postoperativ feststellen. Zunächst liegt der Nasofrontalwinkel II bei $2^\circ \pm 2^\circ$, welcher im postoperativen Verlauf langsam abflacht. Vier der Plagiocephali haben eine Abweichung der Nasenspitze zur Stirn von 2° und nähern sich in den Follow-ups 0° an. Ein anderer Patient hat initial eine Abweichung von 5° , drei Monate postoperativ von 3° und 24 Monate postoperativ von 0° .

Der Nasofrontalwinkel II der brachycephalen Kinder stellt sich stabil bei $0^\circ \pm 1^\circ$ dar.

3.1.6 b) Nasofrontalwinkel II der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Zwischen den Kraniosynostosen und der Normpopulation besteht kein statistisch signifikanter Unterschied.

3.1.7 Nasofrontalwinkel III

3.1.7 a) Nasofrontalwinkel III der Kraniosynostosen

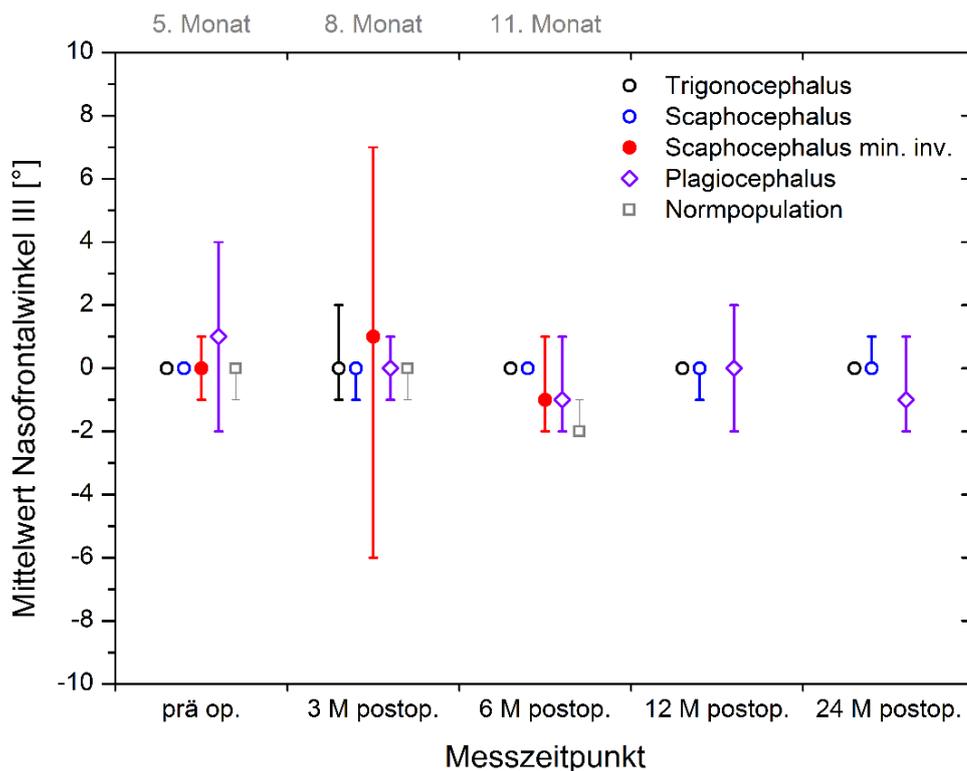


Abb. 21: Zusammenfassende Darstellung des Nasofrontalwinkels III zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Nasofrontalwinkels III in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 22 und 23 entnommen werden.

Der Nasofrontalwinkel III stellt sich bei den Trionocephali und Scaphocephali (KP und MI) Größenkonstant um $0^\circ \pm 1^\circ$ dar.

Die Gruppe der Plagiocephali liegt präoperativ bei $1^\circ \pm 4^\circ$, im postoperativen Verlauf bei 0° bis $1^\circ \pm 1^\circ$.

Die brachycephalen Kinder bieten geringe laterale Abweichung für diesen Parameter und liegen bei ca. 0° .

Im interindividuellen Vergleich der Kraniosynostosen bezüglich dieses Parameters gibt es zu keinem Zeitpunkt einen statistisch signifikanten Unterschied.

3.1.7 b) Nasofrontalwinkel III der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Der Nasofrontalwinkel III bietet keinen signifikanten Unterschied zwischen den Kraniosynostosen und der Normalpopulation.

3.1.8 Abstand der Supraorbitalpunkte

3.1.8 a) Abstand der Supraorbitalpunkte der Kraniosynostosen

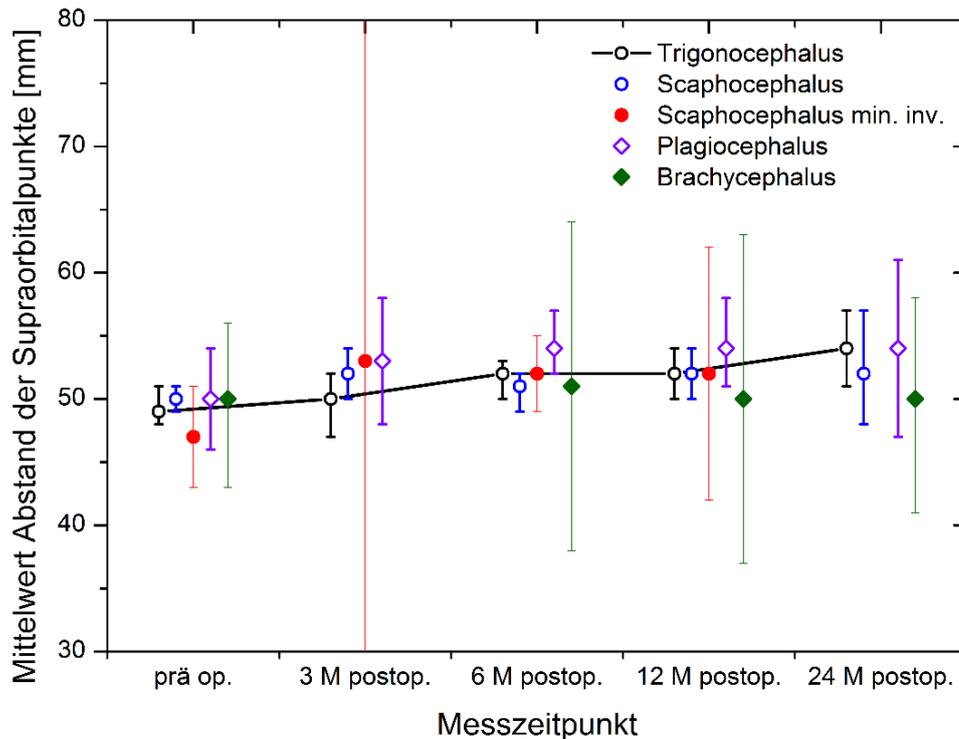


Abb. 22: Zusammenfassende Darstellung des Abstandes der Supraorbitalpunkte zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Abstandes der Supraorbitalpunkte in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 24 und 25 entnommen werden.

Beim Abstand der Supraorbitalpunkte imponiert in der Gruppe der Trionocephali eine statistisch nicht signifikante Zunahme des Abstandes von $49 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ auf $54 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ über den gesamten Untersuchungszeitraum.

In der Gruppe der Scaphocephali (KP) ist eine leichte postoperative Zunahme von initialen $50 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ hin zu $52 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ 24 Monate postoperativ ohne statistische Signifikanz zu sehen.

Eine postoperative Größenzunahme des Abstandes der Supraorbitalpunkte lässt sich ebenfalls bei den minimal invasiv operierten Scaphocephali feststellen. Präoperativ liegt der Wert bei $47 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ und steigt auf $52 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ sechs Monate postoperativ.

Der Abstand innerhalb der weiteren sechs Monate postinterventionell zu zwölf Monaten postoperativ ist stabil bei $52 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$.

Innerhalb der Gruppe der Plagiocephali nimmt der Abstand postoperativ von $50 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ auf $54 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ zu.

Die brachycephalen Kinder halten sich fast konstant um die $50 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Beide Patienten halten sich postoperativ nahezu stabil beim präoperativen Ausgangswert.

Beim Vergleich der einzelnen Kraniosynostosen zueinander fällt zu keinem Untersuchungszeitpunkt ein statistisch signifikanter Unterschied auf.

3.1.8 b) Abstand der Supraorbitalpunkte der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

In diesem Vergleich besteht während des gesamten Untersuchungszeitraums statistisch kein signifikanter Unterschied.

3.1.9 Augenbreite

3.1.9.1 a) Augenbreite rechts der Kraniosynostosen

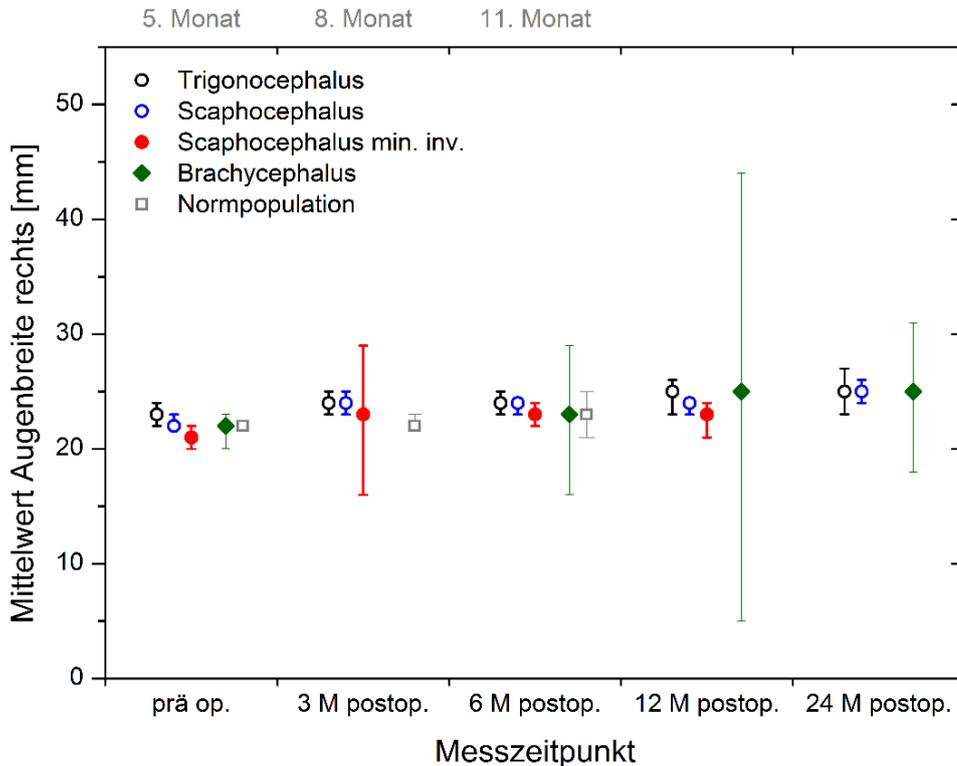


Abb. 23: Zusammenfassende Darstellung der rechten Augenbreite zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der rechten Augenbreite in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 26 und 27 entnommen werden.

Die rechte Augenbreite der Trionocephali beträgt präoperativ 23 mm ± 2 mm, im weiteren Verlauf kommt es zu einer stetigen Vergrößerung der Augenbreite.

Die Gruppe der Scaphocephali zeigt ebenfalls eine leichte Zunahme der rechten Augenbreite von 22 mm ± 1 mm präoperativ zu 25 mm ± 1 mm 24 Monate postoperativ.

Die minimal invasiv operierten Scaphocephali besitzen präoperativ eine Augenbreite von 21 mm ± 1 mm und 23 mm sechs bzw. zwölf Monate postoperativ.

Das männliche brachycephale Kind weist einen präoperativen Ausgangswert von 22 mm auf und entwickelt eine Zunahme der rechten Augenbreite um gute 3 mm innerhalb von 24 Monaten. Die rechte Augenbreite bei der weiblichen brachycephalen Patientin nimmt im gleichen Zeitraum insgesamt um ca. 2 mm von 22 mm auf 24 mm zu.

Im Vergleich der Kraniosynostosen besteht während des Untersuchungszeitraums kein signifikanter Unterschied im Bezug auf die rechte Augenbreite.

3.1.9.1 b) Augenbreite rechts der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Für diesen Parameter besteht zwischen den Kraniosynostosen und der Normpopulation statistisch kein signifikanter Unterschied.

3.1.9.2 Augenbreite links

3.1.9.2 a) Augenbreite links der Kraniosynostosen

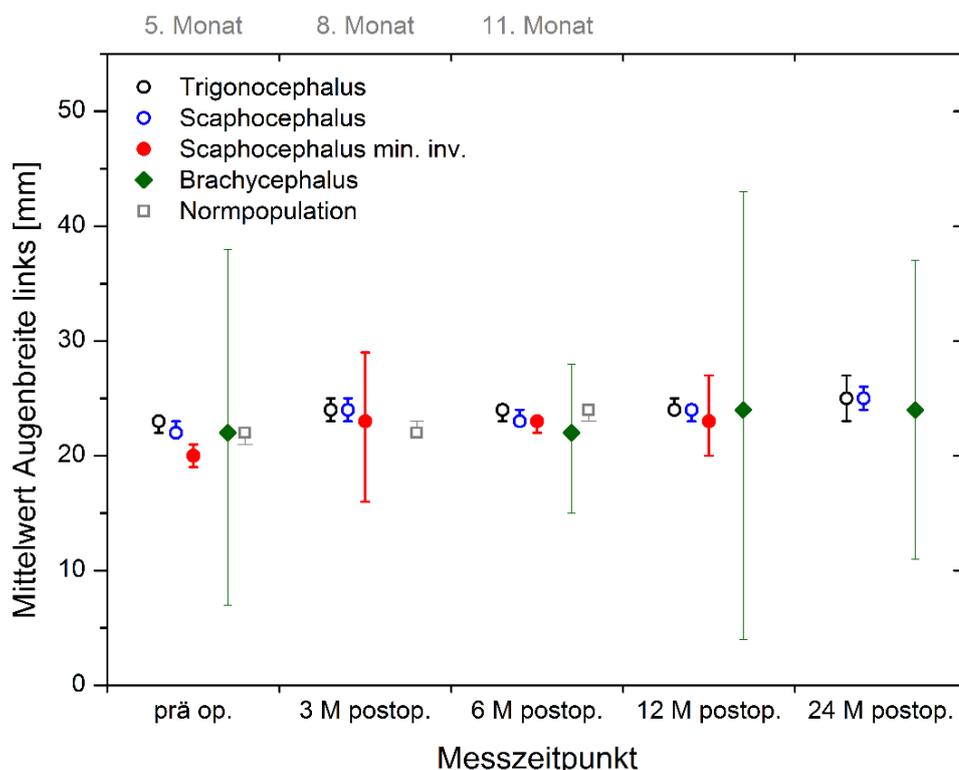


Abb. 24: Zusammenfassende Darstellung der linken Augenbreite zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der linken Augenbreite in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95%-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 28 und 29 entnommen werden.

Die Breite des linken Auges nimmt bei den Trigenocephali während des Untersuchungszeitraums 2 mm zu.

Die Gruppe der Scaphocephali verhält sich ähnlich der Gruppe der Trigenocephali. Die linke Augenbreite nimmt um 3 mm innerhalb von 24 Monaten zu.

Im Vergleich dazu ist der Parameter der minimal invasiv operierten Scaphocephali mit $20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ etwas kleiner, nimmt innerhalb des gleichen Zeitraums aber auch um 3 mm zu.

Die linke Augenbreite der brachycephalen Kinder stellt sich im Verlauf größenzunehmend dar. Bei der weiblichen Patientin ist initial die Augenbreite 23 mm groß, zwölf sowie 24 Monate postinterventionell 25 mm. Beim männlichen Brachycephali gestaltet sich die Größenzunahme ähnlich, von 21 mm präoperativ zu 23 mm zum Abschlussuntersuchungszeitpunkt von 24 Monaten.

Im interindividuellen Vergleich der Kraniosynostosen fällt präoperativ eine statistisch signifikant kleinere linke Augenbreite der minimal invasiv operierten Scaphocephali gegenüber den Scaphocephali (KP) und Trigenocephali auf. Postoperativ besteht dieser Unterschied nicht mehr.

3.1.9.2 b) Augenbreite links der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Für diesen Parameter besteht zwischen den Kraniosynostosen und der Normpopulation statistisch kein signifikanter Unterschied.

3.1.9.3 Augenbreite der Plagiocephali

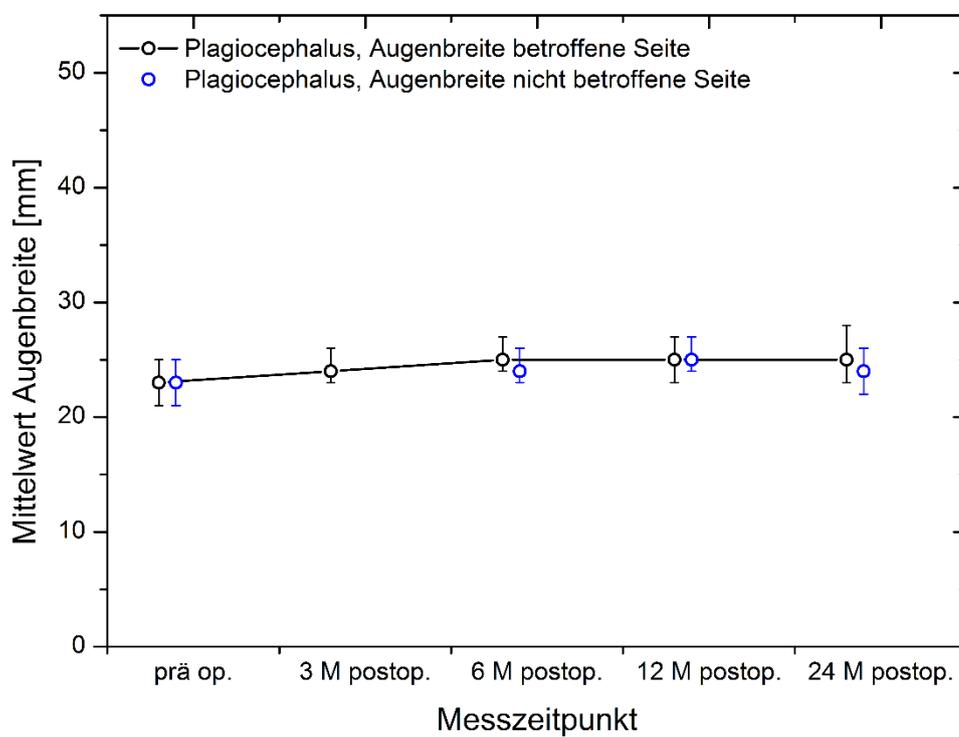


Abb. 25: Zusammenfassende Darstellung der Augenbreite zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Plagiocephali. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der Augenbreite in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 30 und 31 entnommen werden.

Die Analyse der Plagiocephali erfolgt äquivalent zum Frontoparietalwinkel anhand der Seitenklassifizierung in prämaturn stenotisiert (betroffene Seite) versus gesunder, nicht betroffener Seite.

Die Entwicklung der jeweiligen Seiten ist annähernd gleich. Präoperativ liegen die Augenbreiten bei $23 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, zwölf Monate postoperativ ist eine Größe von $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ zu verzeichnen.

Zu den anderen Kraniosynostosen und zur Normpopulation ist kein signifikanter Unterschied festzustellen.

3.1.10 Abstand der inneren Augenwinkel

3.1.11 a) Abstand der inneren Augenwinkel der Kraniosynostosen

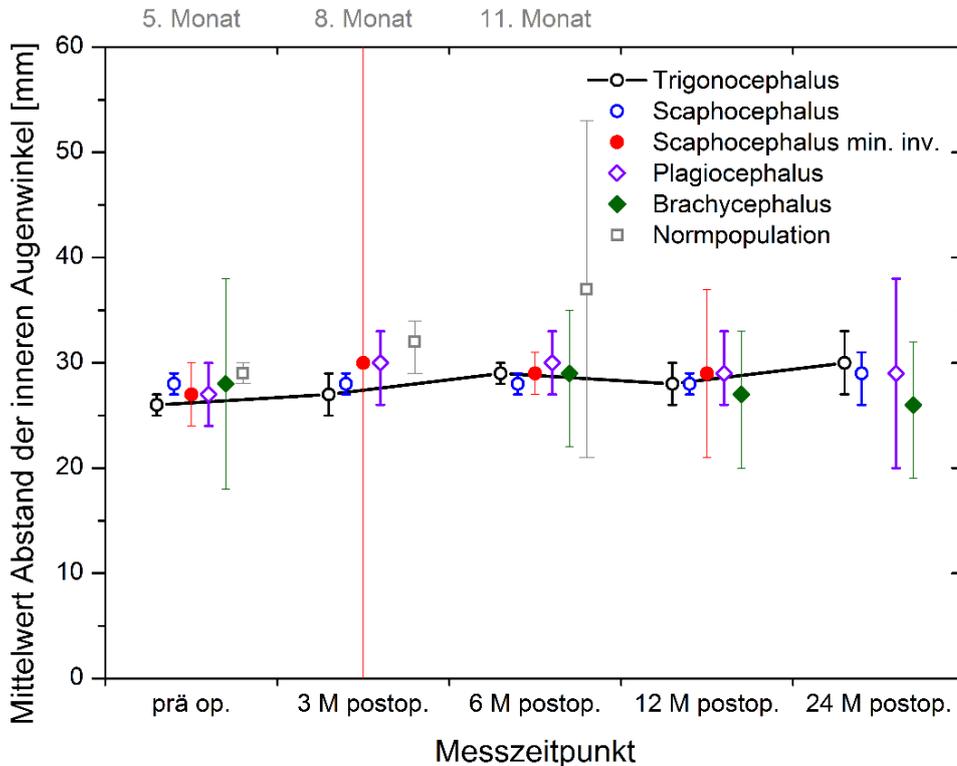


Abb. 26: Zusammenfassende Darstellung des Abstandes der inneren Augenwinkel zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Abstandes der inneren Augenwinkel in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 32 und 33 entnommen werden.

Der Abstand der inneren Augenwinkel (= interkanthaler Abstand) liegt bei den Trigonocephali zunächst bei $26 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$, nimmt innerhalb von sechs Monaten um 3 mm zu. Zum Abschlussuntersuchungszeitpunkt beträgt der interkanthale Abstand $30 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$.

Bei den Scaphocephali (KP) hält sich der interkanthale Abstand konstant bei $28 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ zu allen Untersuchungszeitpunkten.

Der präoperative Abstand der inneren Augenwinkel der minimal invasiv operierten Scaphocephali liegt bei $27 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ und nimmt drei Monate postoperativ um 3 mm zu. Anschließend ist der Parameter stabil bei $29 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$.

Bei der Gruppe der Plagiocephali verhält es sich ähnlich zu den Scaphocephali (MI). Initial liegt der Abstand bei $27 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$, vergrößert sich innerhalb von drei Monaten um 3 mm und hält sich in den weiteren Follow-ups stabil bei $30 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ bzw. $29 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$.

Die weibliche, brachycephale Patientin imponiert mit einem präoperativen Abstand von 29 mm , welcher sich annähernd innerhalb der nächsten sechs Monate konstant hält. Zwölf Monate postoperativ nimmt er leicht auf 27 mm und 24 Monate postoperativ auf 26 mm ab. Der männliche Brachycephalus bestätigt einen ähnlichen Verlauf. Präoperativ liegt der Abstand bei 27 mm , sechs Monate später bei 28 mm und in den weiteren Follow-ups bei 26 mm bzw. 25 mm .

Die Kraniosynostosegruppen unterscheiden sich zu keinem Untersuchungszeitpunkt signifikant voneinander.

3.1.11 b) Abstand der inneren Augenwinkel der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Präoperativ ist der interkanthale Abstand der Trigonocephali mit $26 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ statistisch signifikant kleiner als der der Normpopulation mit $29 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$. Postoperativ besteht dieser Unterschied nicht mehr.

Hinsichtlich der anderen Kraniosynostosegruppen existiert kein signifikanter Unterschied zur Normalpopulation.

3.1.11 Abstand der äußeren Augenwinkel

3.1.12 a) Abstand der äußeren Augenwinkel der Kraniosynostosen

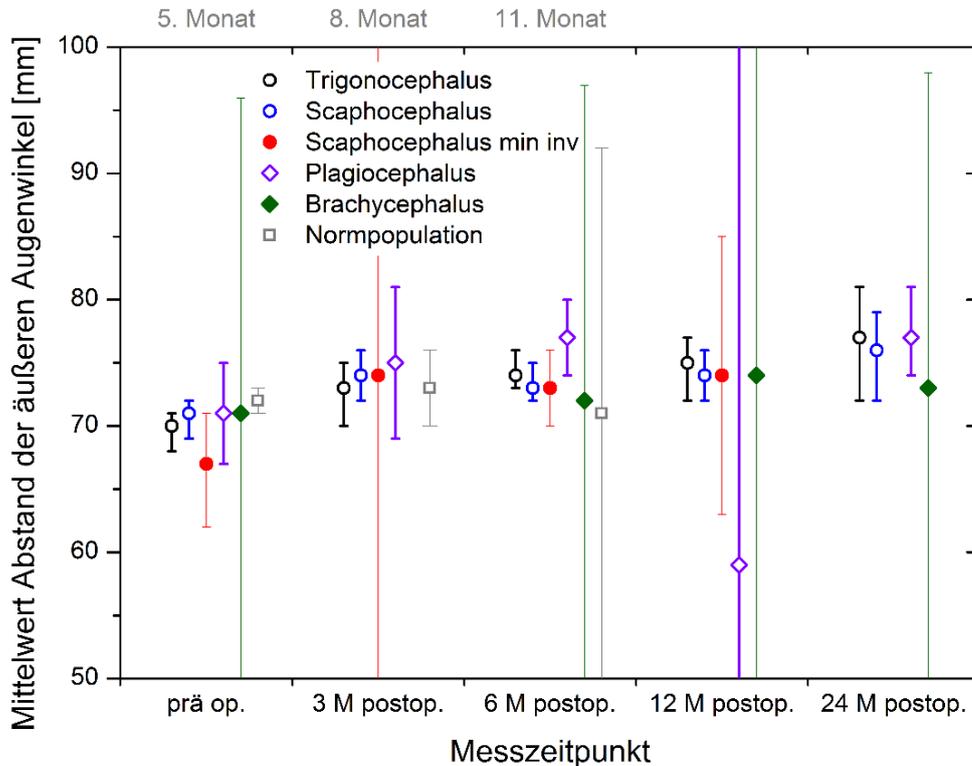


Abb. 27: Zusammenfassende Darstellung des Abstandes der äußeren Augenwinkel zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Abstandes der äußeren Augenwinkel in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 34 und 35 entnommen werden.

Der Abstand der äußeren Augenwinkel imponiert präoperativ bei den Trigonocephali mit $70 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$. Im weiteren Verlauf nimmt der Abstand stetig zu, wobei der Unterschied von $73 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ drei Monate postoperativ im Vergleich zum Abstand vor der Intervention signifikant ist. Die weiteren Follow-ups bleiben ohne statistisch signifikante Entwicklung. Zum Abschlussuntersuchungszeitpunkt liegt der Abstand bei $77 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$.

Bei den Scaphocephali ist eine analoge Entwicklung zu den Trigonocephali feststellbar. Präoperativ liegt der Abstand bei $71 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$, welcher innerhalb von drei Monaten auf

74 mm \pm 3 mm zunimmt. In den weiteren Follow-ups ist eine stetige Zunahme bis 76 mm \pm 2 mm 24 Monate postinterventionell zu verzeichnen.

Die minimal invasiv operierten Scaphocephali haben im Vergleich zu den Trigono- und Scaphocephali (KP) einen etwas geringeren Abstand von 67 mm \pm 6 mm vor dem chirurgischen Eingriff. Im Verlauf nimmt er an Größe zu und wächst auf 74 mm \pm 4 mm zwölf Monate postoperativ.

Hinsichtlich der Plagiocephali lässt sich eine signifikante Größenzunahme des Abstands der äußeren Augenwinkel bei der Gegenüberstellung der 75 mm \pm 6 mm drei Monate postoperativ zu 71 mm \pm 5 mm vor der Intervention feststellen. In den weiteren Follow-ups nimmt der Abstand ohne statistische Signifikanz zu.

Bei der geschlechtsspezifischen Betrachtung der brachycephalen Patienten lässt sich herausstellen, dass das Mädchen einen leicht vergrößerten präoperativen äußeren Augenabstand von 73 mm verglichen mit dem Jungen hat, dessen präoperativer Messwert bei 69 mm liegt. Diese Tendenz ist in den weiteren Follow-ups ebenfalls zu beobachten. Bei beiden nimmt der Abstand postinterventionell jeweils zu. Zum Abschlussuntersuchungszeitpunkt von 24 Monaten liegt der Parameter des Mädchens bei 75 mm, der des Jungen bei 71 mm.

In der interindividuellen Zusammenschau der Kraniosynostosen lässt sich auch beim Abstand der äußeren Augenwinkel, wie zuvor beim Abstand der inneren Augenwinkel, kein statistisch signifikanter Unterschied feststellen.

3.1.12 b) Abstand der äußeren Augenwinkel der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Hinsichtlich des Abstandes der äußeren Augenwinkel besteht zwischen den Kraniosynostosen und der Normpopulation während des Untersuchungszeitraums kein signifikanter Unterschied.

Der Abstand der Normalpopulation liegt zwischen 72 mm \pm 3 mm beim fünften Lebensmonat und 71 mm \pm 13 mm am elften Lebensmonat.

3.1.12 Vorverlagerungsstrecke

3.1.13 a) Vorverlagerungsstrecke der Kraniosynostosen

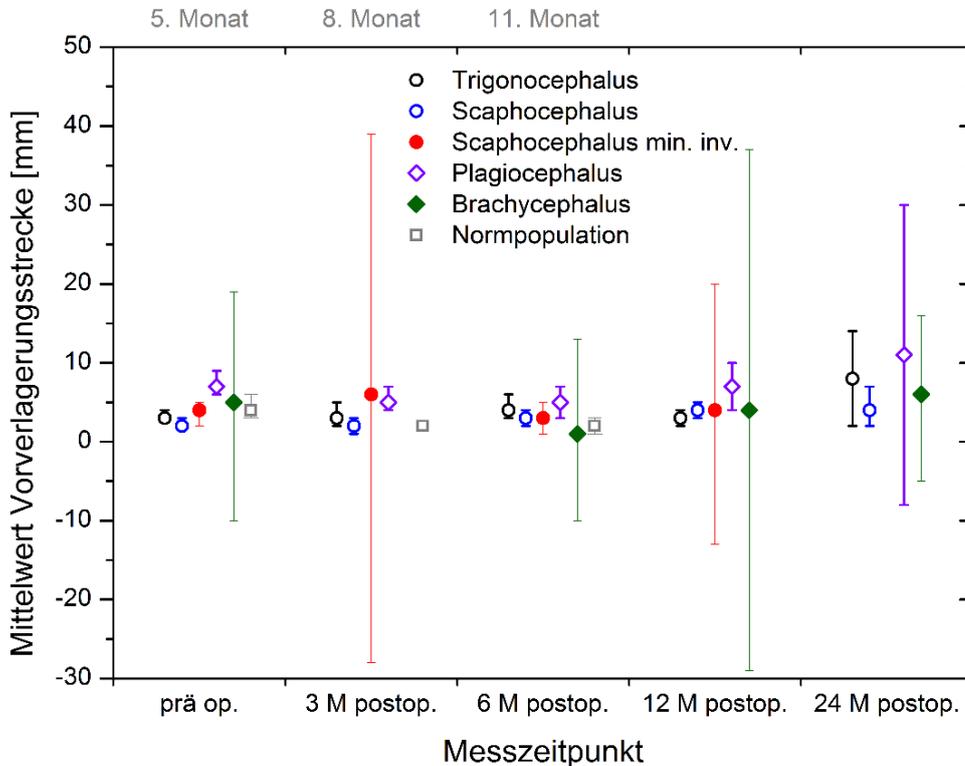


Abb. 28: Zusammenfassende Darstellung der Vorverlagerungsstrecke zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der Vorverlagerungsstrecke in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 36 und 37 entnommen werden.

Zunächst erfolgt die Beschreibung für die trigonocephalen Patienten. Präoperativ und innerhalb der ersten 12 Monate postoperativ liegt die Vorverlagerungsstrecke zwischen $3 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ bzw. sechs Monate postoperativ bei $4 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$. 24 Monate postoperativ ist eine Zunahme um fast das Doppelte auf $8 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ zu verzeichnen.

Für die Gesamtkohorte der Scaphocephali (KP) ergibt sich eine postoperative Zunahme um insgesamt 2 mm. Präoperativ beträgt die Vorverlagerungsstrecke $2 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, 24 Monate postoperativ liegt sie bei $4 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$.

Die minimal invasiv operierten Scaphocephali haben eine präoperative Vorverlagerungsstrecke von $4 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, drei Monate postoperativ von $6 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$.

Sechs bzw. zwölf Monate postoperativ ist die Vorverlagerungsstrecke $3 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ bzw. $4 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ lang.

Bei Betrachtung des Parameters in der Gruppe der Plagiocephali ist dieser mit $7 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ präoperativ signifikant größer als die Vorverlagerungsstrecke der Trigonocephali und der Scaphocephali (KP + MI). Drei Monate postoperativ besteht dieser signifikante Unterschied zwischen Plagiocephali und Scaphocephali (KP) weiterhin. Hier beträgt die Strecke der Plagiocephali $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Im weiteren postoperativen Verlauf besteht der Unterschied zwischen den Kraniosynostosegruppen nicht mehr. Die Vorverlagerungsstrecke der Plagiocephali nimmt zwölf Monate postoperativ wieder auf $7 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ zu.

Hinsichtlich des männlichen, brachycephalen Patienten imponiert präoperativ eine Vorverlagerungsstrecke von 6 mm, welche sich drei Monate postoperativ auf 4 mm und sechs Monate postoperativ auf 1 mm verkleinert. Zwölf Monate nach der chirurgischen Versorgung vergrößert sich die Strecke auf 7 mm und schließt 24 Monate postinterventionell mit 5 mm ab. Die weibliche brachycephale Patientin hat mit 4 mm eine kleinere präoperative Strecke, sechs und zwölf Monate postoperativ liegt sie jeweils bei 2 mm, 24 Monate postoperativ bei 6 mm.

Bis auf den bereits oben beschriebenen signifikanten Unterschied der Plagiocephali zu den anderen Kohorten, besteht bezüglich dieses Parameters beim Vergleich der anderen Kraniosynostosegruppen zueinander kein signifikanter Unterschied.

3.1.13 b) Vorverlagerungsstrecke der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation
Präoperativ besteht beim Vergleich der Kraniosynostosen zur Normalpopulation statistisch kein signifikanter Unterschied. Drei Monate postoperativ ist die Vorverlagerungsstrecke der Normalpopulation mit $2 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ statistisch signifikant kleiner als die der Plagiocephali mit $6 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$. Sechs Monate postoperativ überschneiden sich wieder die 95 %- Konfidenzintervalle, es gibt keinen signifikanten Unterschied mehr.

3.1.13 Maximale Schädellänge

3.1.14 a) Maximale Schädellänge der Kraniosynostosen

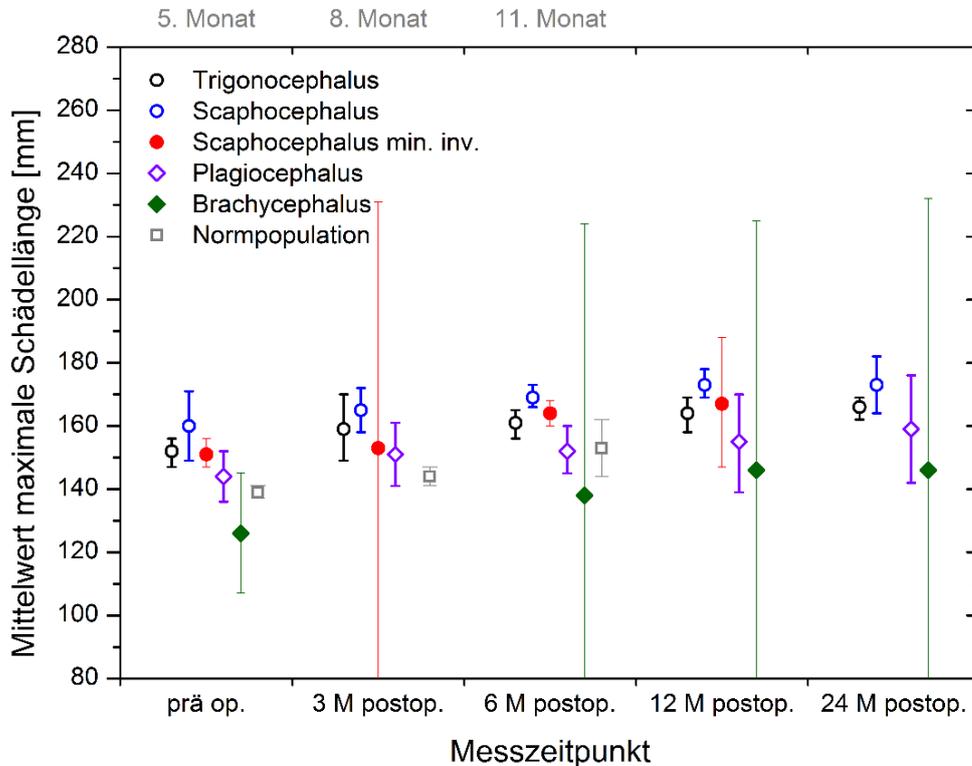


Abb. 29: Zusammenfassende Darstellung der maximalen Schädellänge zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der maximalen Schädellänge in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 38 und 39 entnommen werden.

Für die Gruppe der Trionocephali lässt sich eine stetige Zunahme der maximalen Schädellänge über den gesamten Beobachtungszeitraum feststellen. Präoperativ beträgt die Länge $152 \text{ mm} \pm 12 \text{ mm}$ und nimmt innerhalb von 24 Monaten um fast 20 % auf $166 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ zu. Bis auf den Zeitabschnitt zwischen dem dritten zu sechsten Monat ist die Zunahme der maximalen Schädellänge während des gesamten Untersuchungszeitraums statistisch signifikant.

Innerhalb der Gruppe der Scaphocephali (KP) imponiert während des Untersuchungszeitraums eine Wachstumstendenz der maximalen Schädellänge, welche von sechs ($169 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$) zu drei ($165 \text{ mm} \pm 11 \text{ mm}$) bzw. von zwölf ($173 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$) zu sechs Monaten statistisch signifikant ist. Zum

Abschlussuntersuchungszeitpunkt liegt der Parameter in der Gruppe der Scaphocephali (KP) bei $173 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$. Sechs Monate postoperativ ist die maximale Schädellänge der Scaphocephali (KP) mit $169 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$ statistisch signifikant kleiner als die der Trionocephali mit $161 \text{ mm} \pm 11 \text{ mm}$.

Die minimal invasiv operierten Scaphocephali weisen ebenfalls eine Größenzunahme der maximalen Schädellänge auf. Hier zeigt sich eine präoperative Größe von $151 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, zwölf Monate postoperativ liegt sie bei $167 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$.

Eine kleinere präoperative maximale Schädellänge bietet die Patientenkohorte der Plagiocephali, die mit $144 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ ca. 11 % kleiner ist als die der Scaphocephali (KP). Sechs Monate postoperativ ist ein signifikanter Größenunterschied festzustellen, bei dem die maximale Schädellänge der Scaphocephali (KP) weiterhin um 11 % größer ist als die der Plagiocephali. Der Parameter nimmt insgesamt bei den Plagiocephali stetig zu und liegt 24 Monate postinterventionell bei $159 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$.

In der Einzelbetrachtung der brachycephalen Patienten fällt auf, dass diese mit 127 mm (♀) respektive 124 mm (♂) eine statistisch signifikant kleinere präoperative maximale Schädellänge aufweisen, als die drei zuvor genannten Patientenkohorten (Trionocephali, Scaphocephali (KP) und Scaphocephali (MI)). Während des weiteren postoperativen Untersuchungszeitraums bleibt der Unterschied ohne statistische Signifikanz. Die maximale Schädellänge entwickelt sich bei beiden brachycephalen Patienten unterschiedlich: Es lässt sich jeweils eine Größenzunahme feststellen, welche bei der weiblichen Patientin schneller voranschreitet. Auch 24 Monate postoperativ verhält es sich ähnlich, hier ist der Parameter der weiblichen Patientin mit 153 mm fast 10 % größer als der des männlichen Patienten mit 139 mm .

3.1.14 b) Maximale Schädellänge der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Die maximale Schädellänge der Normalpopulation liegt zu Beginn der Untersuchung bei $139 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. Die Trionocephali, Scaphocephali (KP) und Scaphocephali (MI) weisen statistisch signifikant größere Schädellängen vor der chirurgischen Intervention auf. Drei Monate postoperativ persistiert dieser Unterschied weiterhin zwischen Normpopulation und Trionocephali respektive Scaphocephali (KP). Der Parameter der Normpopulation ist zu diesem Untersuchungszeitpunkt $144 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$ groß. Im elften Lebensmonat beträgt die maximale Schädellänge der Normalpopulation $153 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$, wohingegen

die der Scaphocephali (KP) sechs Monate postoperativ mit $169 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$ weiterhin signifikant größer bleibt.

3.1.14 Maximale Schädelbreite

3.1.15 a) Maximale Schädelbreite der Kraniosynostosen

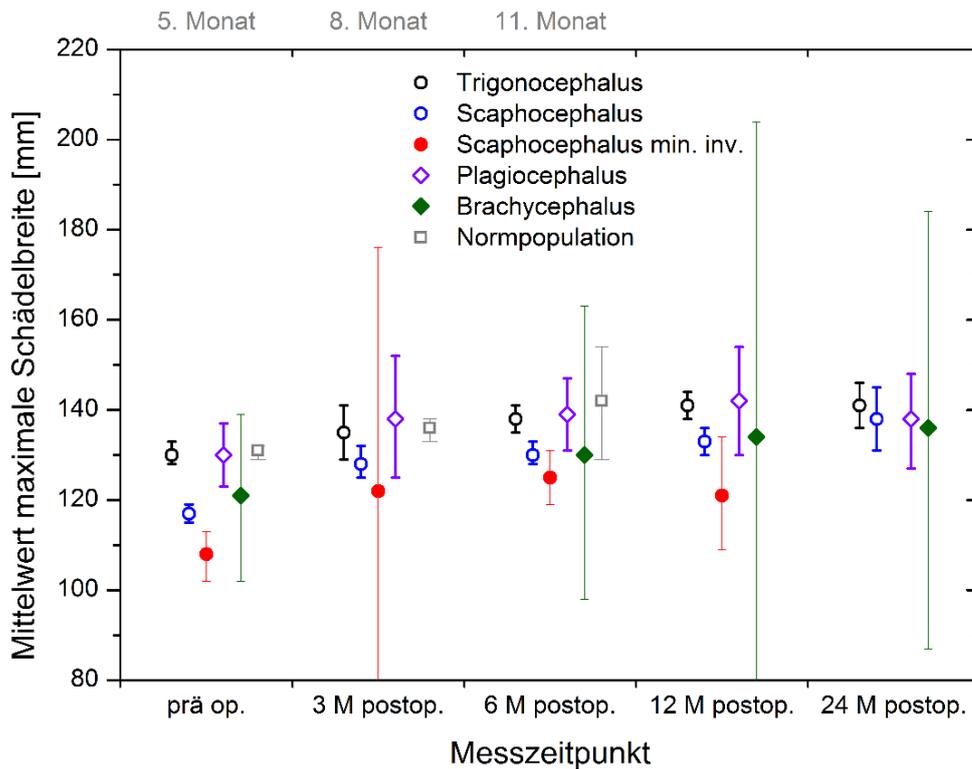


Abb. 30: Zusammenfassende Darstellung der maximalen Schädelbreite zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der maximalen Schädelbreite in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 40 und 41 entnommen werden.

Bei den Trionocephali ist eine stetige Zunahme der maximalen Schädelbreite festzustellen. Präoperativ liegt der Parameter bei $130 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$ und 24 Monate postoperativ bei $141 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$. Ein statistisch signifikanter Unterschied imponiert beim Vergleich drei Monate postoperativ zu präoperativ sowie beim Vergleich von zwölf zu sechs Monaten. Hierbei fällt auf, dass die $138 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$ sechs Monate postoperativ bzw. $141 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$ zwölf Monate postoperativ der maximalen Schädelbreite der Trionocephali weiterhin signifikant größer bleiben als die der Scaphocephali (KP+ MI),

wohingegen zu den Plagiocephali zu keinem Untersuchungszeitpunkt ein signifikanter Unterschied besteht.

Im Vergleich der Scapocephali (KP) zu den Trionocephali ebenso wie zu den Plagiocephali fällt eine statistisch signifikant kleinere maximale Schädelbreite von $117 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ vor der Intervention auf. Zu den minimal invasiv operierten Scaphocephali ist die präoperative maximale Schädelbreite der Scaphocephali (KP) signifikant größer, im weiteren postoperativen Verlauf besteht aber, äquivalent zu den Plagiocephali und im Gegensatz zu den Trionocephali, kein signifikanter Unterschied mehr. Insgesamt nimmt bei den Scaphocephali (KP) die maximale Schädelbreite während des Untersuchungszeitraums zu und steigt auf $138 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ 24 Monate postinterventionell. Das Wachstum von drei Monaten postoperativ zu präoperativ ist statistisch signifikant.

Eine statistisch signifikant kleinere maximale Schädelbreite von $108 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$ imponiert bei den Scaphocephali (MI) im Vergleich zu den Scaphocephali (KP), Trionocephali und Plagiocephali. Während des Untersuchungszeitraums ist eine Zunahme von 13 % innerhalb der ersten drei postoperativen Monate zu verzeichnen, welche aber ohne Signifikanz ist. Anschließend verändert sich der Parameter in dieser Kohorte nicht mehr wesentlich.

Wie bereits erwähnt, ist die präoperative maximale Schädelbreite der Plagiocephali mit $130 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$ signifikant größer als die der Scaphocephali (KP+ MI). Bis zwölf Monate postoperativ ist ein Wachstum der Schädelbreite zu verzeichnen, wobei die Zunahme um 6 % innerhalb der ersten drei Monate auf $138 \text{ mm} \pm 13 \text{ mm}$ signifikant ist. Innerhalb der zwölf postoperativen Monate postoperativ zu 24 Monate postoperativ kommt es zu einer statistisch signifikanten Abnahme der maximalen Schädelbreite von $142 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$ auf $138 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$.

Die weibliche brachycephale Patientin hat präoperativ eine maximale Schädelbreite von 122 mm, welche nach drei Monaten um ca. 10 % auf 135 mm zunimmt. Nach zwölf bzw. 24 Monaten bleibt die maximale Schädelbreite konstant bei 139 mm. Der Parameter beim männlichen Patienten dieser Kraniosynostose liegt präoperativ bei 119 mm und vergrößert sich insgesamt im Vergleich zur maximalen Schädelbreite der weiblichen Patientin etwas geringer, gesehen auf den gleichen Untersuchungszeitraum. Nach 24

Monaten beträgt der Messwert 132 mm. Im Vergleich zu den anderen Kraniosynostosen besteht kein statistisch signifikanter Unterschied.

3.1.15 b) Maximale Schädelbreite der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation
Die maximale Schädelbreite der Normpopulation liegt zum Beginn der Untersuchung bei $131 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. Sie ist statistisch signifikant größer als die der beiden scaphocephalen Gruppen (KP und MI). Zum achten Lebensmonat beträgt die Breite der Normpopulation $136 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, sie ist damit weiterhin statistisch signifikant größer als die der Scaphocephali (KP). Zum Abschlussuntersuchungszeitpunkt besteht zu keiner Kraniosynostosegruppe noch ein signifikanter Unterschied.

3.1.15 Cephalic Index

3.1.16 a) Cephalic Index der Kraniosynostosen

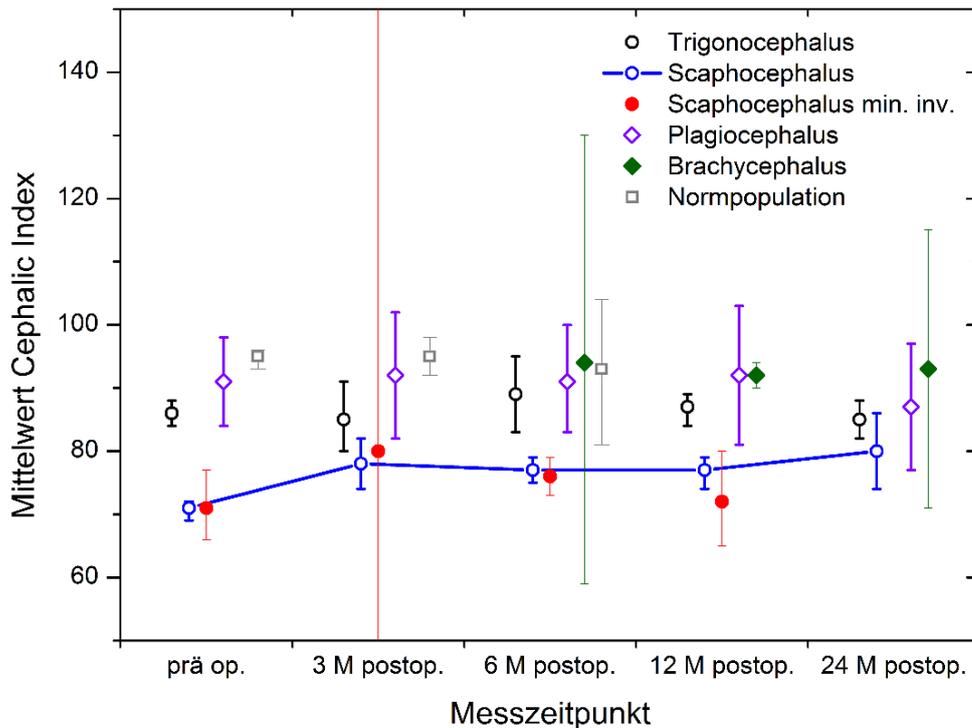


Abb. 31: Zusammenfassende Darstellung des Cephalic Index zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert des Cephalic Index in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95%- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 42 und 43 entnommen werden.

Der Cephalic Index der Trigonocephali liegt während des gesamten Untersuchungszeitraums zwischen 86 ± 6 und 89 ± 14 .

Bei Betrachtung der Scaphocephali (KP) imponiert im Vergleich von drei Monaten postinterventionell zu präoperativ eine signifikante Zunahme des Cephalic Index von initialen 71 ± 4 zu 78 ± 6 . Im weiteren Verlauf bleibt der Parameter konstant zwischen 77 ± 5 und 80 ± 4 . Verglichen mit den Trigonocephali und den Plagiocephali ist der Cephalic Index der Scaphocephali (KP) präoperativ, sechs und zwölf Monate postoperativ statistisch signifikant kleiner. Drei Monate und 24 Monate postoperativ besteht dieser Unterschied nicht.

Die Gruppe der minimal invasiv operierten Scaphocephali verhalten sich bezüglich des Cephalic Index äquivalent der konventionell operierten Scaphocephali und unterscheiden sich signifikant zu den Trionocephali und den Plagiocephali während der gleichen Messzeitpunkte. Zwölf Monate postoperativ ist ein signifikant kleinerer Cephalic Index im Vergleich zu den brachycephalen Patienten feststellbar. Präoperativ beträgt der Cephalic Index der minimal invasiv operierten Scaphocephali 71 ± 6 , drei Monate postoperativ 80 ± 6 . Zwölf Monate postoperativ liegt er bei 72 ± 3 .

Hinsichtlich der Plagiocephali lässt sich ein nahezu konstanter Cephalic Index während des gesamten Untersuchungszeitraums feststellen. Er liegt zwischen 87 ± 4 24 Monate postoperativ und 92 ± 10 drei Monate postoperativ bzw. 92 ± 7 zwölf Monate postoperativ. Zu den Trionocephali und auch zu den Brachycephali besteht kein signifikanter Unterschied.

Der Cephalic Index der Brachycephali beziffert sich präoperativ bei beiden Patienten auf 96. Postoperativ umfasst der Index 95 bzw. 92 bei der weiblichen Patientin, beim männlichen brachycephalen Patienten liegt er sechs Monate postoperativ bei 97 respektive 92 zwölf Monate postoperativ.

Im Vergleich zu den Trionocephali und den Scaphocephali (KP + MI) ist der Parameter der Brachycephali zwölf Monate postoperativ statistisch signifikant größer.

3.1.16 b) Cephalic Index der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Der Cephalic Index unserer Normalpopulation liegt zum Untersuchungszeitpunkt des fünften Lebensmonats bei 95 ± 4 .

Präoperativ ist der Parameter der Kohorte der Trionocephali und der beiden Sagittalnahtsynostosen statistisch signifikant kleiner als jener der Normalpopulation des fünften Lebensmonats.

Drei Monate postoperativ ist ein Fortbestehen dieses signifikanten Unterschieds zu den Trionocephali und den Scaphocephali (KP) zu verzeichnen.

Die Trionocephali unterscheiden sich sechs Monate postoperativ nicht mehr signifikant von der Normpopulation, wohingegen zu diesem Zeitpunkt die Sagittalnahtsynostosen (KP und MI) weiter einen signifikant kleineren Cephalic Index aufweisen.

3.1.16 Schädelbasislänge

3.1.16.1 a) Schädelbasislänge rechts der Kraniosynostosen

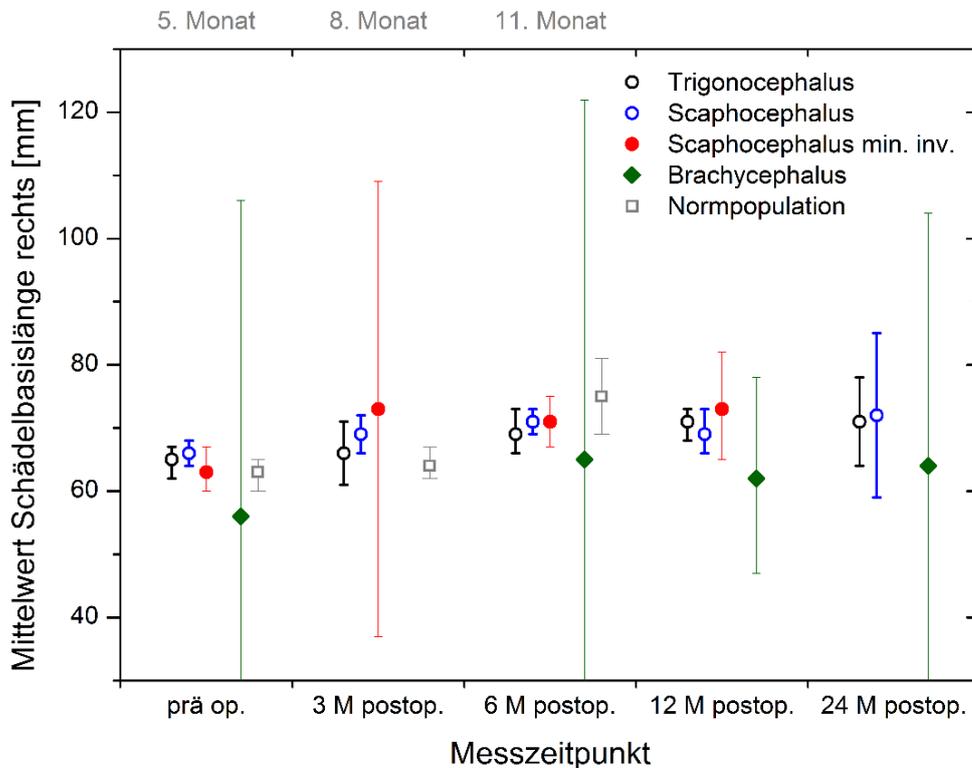


Abb. 32: Zusammenfassende Darstellung der Schädelbasislänge rechts zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der Schädelbasislänge rechts in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 44 und 45 entnommen werden.

Die rechte Schädelbasislänge der Trigonocephali nimmt während des Untersuchungszeitraums konstant, aber ohne statistische Signifikanz, zu. Präoperativ liegt sie bei $65 \text{ mm} \pm 7,5 \text{ mm}$, derweil sie von sechs bis 24 Monate postinterventionell zwischen $69 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$ und $71 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$ liegt.

In der Gruppe der Scaphocephali ist im Verlauf eine Zunahme der rechten Schädelbasislänge zu verzeichnen. Präoperativ liegt diese bei $66 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ und stabilisiert sich drei und zwölf Monate postoperativ auf $69 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$ bzw. 24 Monate postoperativ auf $72 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$.

Die präoperative rechte Schädelbasislänge der minimal invasiv operierten Scaphocephali liegt bei $63 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$. Postoperativ ist sie zwischen $71 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ sechs Monate postoperativ und $73 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ drei respektive zwölf Monate postoperativ groß.

Die weibliche brachycephale Patientin hat eine präoperative rechte Schädelbasislänge von 52 mm und nimmt im weiteren Verlauf auf 62 mm zu. Die Länge des männlichen brachycephalen Patienten liegt zwischen 60 mm präoperativ und 72 mm im postinterventionellen Zeitraum.

3.1.16.1 b) Schädelbasislänge rechts der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Zwischen den Kraniosynostosen und der Normpopulation besteht kein statistisch signifikanter Unterschied für diesen Parameter.

3.1.16.2 Schädelbasislänge links

3.1.16.2 a) Schädelbasislänge links der Kraniosynostosen

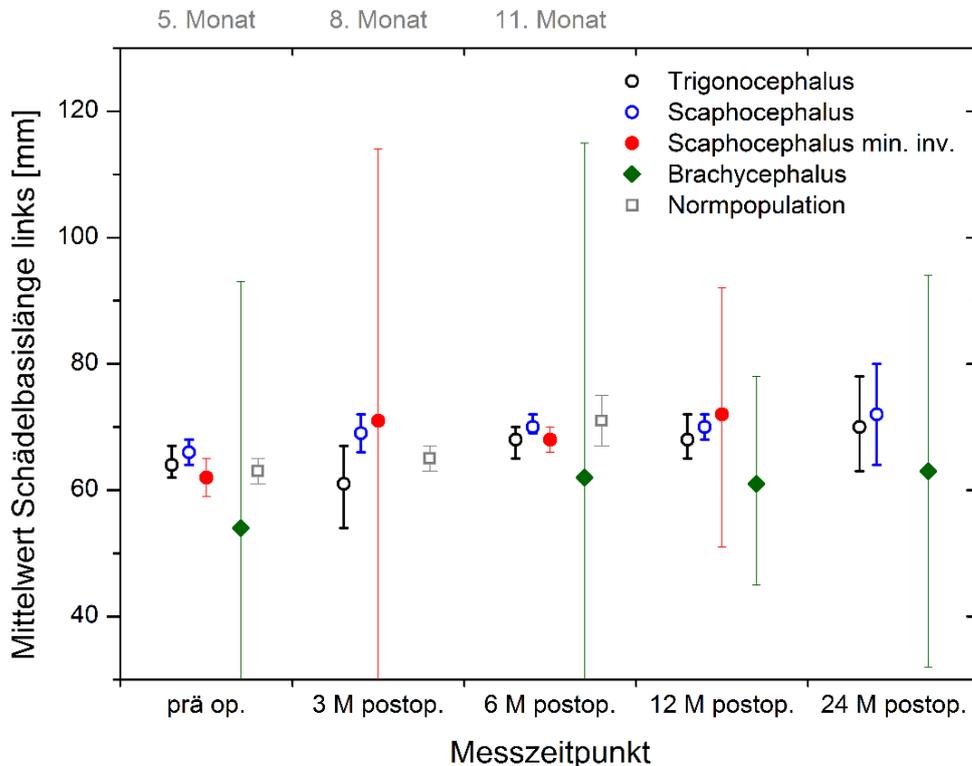


Abb. 33: Zusammenfassende Darstellung der Schädelbasislänge links zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der Schädelbasislänge links in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 46 und 47 entnommen werden.

Die linke Schädelbasislänge liegt bei den Trigenocephali annähernd in der gleichen Höhe wie bei der rechten Schädelbasislänge, zu Beginn des Untersuchungszeitraums bei $64 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$, zum Abschluss bei $70 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$.

In der Kohorte der Scaphocephali (KP) lassen sich hinsichtlich der linken Schädelbasislänge ähnliche Mittelwerte wie die der rechten Schädelbasislänge feststellen. Zunächst liegt die Länge bei $66 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$ und nimmt im weiteren Verlauf auf bis zu $72 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ zu.

Die minimal invasiv operierten Scaphocephali bieten präoperativ eine linke Schädelbasislänge von $62 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$, welche sich innerhalb von 12 Monaten postinterventionell auf $72 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$ vergrößert.

Für die Plagiocephali ist in der Entwicklung der linken Schädelbasislänge, im Unterschied zur rechten Schädelbasislänge, ein signifikanter Unterschied zwischen 62 mm \pm 8 mm präoperativ und drei Monate postoperativen 65 mm \pm 5 mm feststellbar. Der weitere Verlauf ist allerdings ohne statistisch signifikanten Unterschied. In der Unterscheidung zwischen rechts- und linksseitig betroffenen Plagiocephali besteht für die linksseitig betroffenen Plagiocephali präoperativ eine statistisch signifikant kleinere linke Schädelbasislänge als bei den Trionocephali und Scaphocephali (KP), was für die rechtsseitig betroffenen und den postoperativen Untersuchungszeitraum nicht gilt.

Die weibliche brachycephale Patientin hat eine etwas kleinere linke Schädelbasislänge im Vergleich zu rechts. Zu Beginn der Untersuchung liegt eine Länge von 57 mm vor, welche sich postoperativ auf 66 mm 24 Monate nach der chirurgischen Intervention vergrößert. Dem gegenüber weist der männliche brachycephale Patient im Bezug auf die linke Schädelbasislänge annähernd kongruente Werte auf, denn diese liegt präoperativ bei 50 mm und 24 Monate postoperativ bei 61 mm.

3.1.16.2 b) Schädelbasislänge links der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Hinsichtlich der linken Schädelbasislänge ist zwischen beiden Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied feststellbar.

3.1.16.3 Schädelbasislänge der Plagiocephali

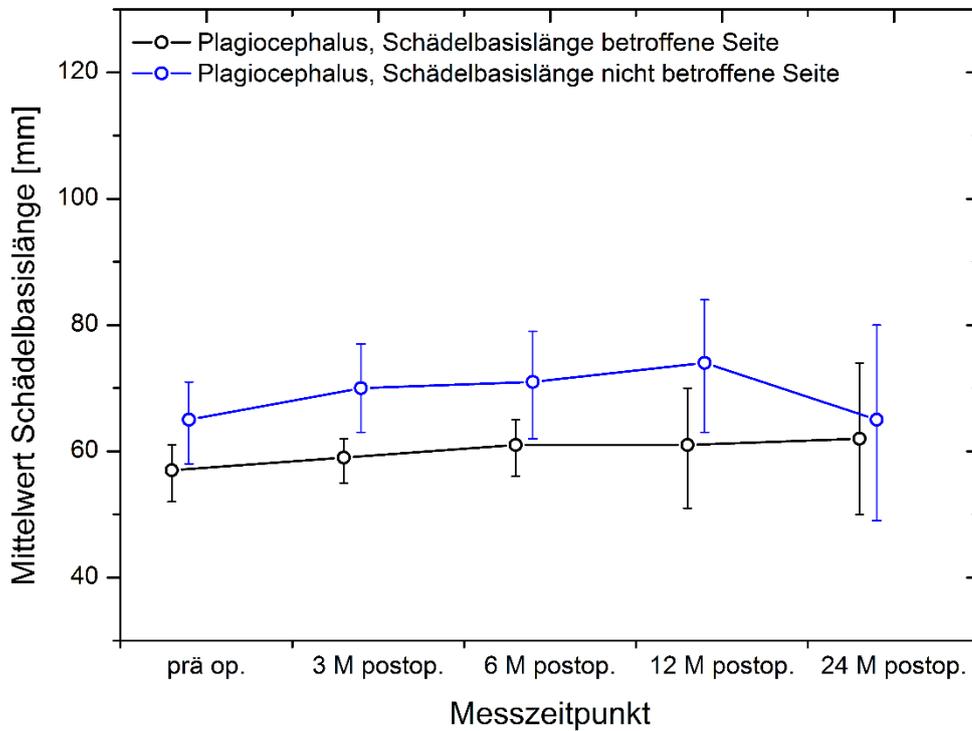


Abb. 34: Zusammenfassende Darstellung der Schädelbasislänge zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Plagiocephali. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der Schädelbasislänge in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95%- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 48 und 49 entnommen werden.

Die Schädelbasislänge der Plagiocephali wird hier erneut anhand der betroffenen und nicht betroffenen Seite klassifiziert.

Auf der betroffenen Seite nimmt die Schädelbasislänge von 57 mm ± 5 mm präoperativ auf 62 mm ± 5 mm 24 Monate postoperativ zu. Dem gegenüber ist die Schädelbasislänge der nicht betroffenen Seite mit 65 mm ± 8 mm präoperativ und 74 mm ± 7 mm größer, allerdings ohne statistische Signifikanz.

Im Vergleich zu den Scaphocephali (KP) besteht auf der betroffenen Seite der Plagiocephali sowohl präoperativ als auch drei und sechs Monate postoperativ eine statistisch signifikant kleinere Schädelbasislänge, die im nächsten Untersuchungsintervall von zwölf postoperativen Monaten nicht mehr besteht. Die rechte Schädelbasislänge der

minimal invasiv operierten Scaphocephali ist sechs Monate postoperativ mit $71 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ ebenfalls statistisch signifikant größer als die betroffene Seite der Plagiocephali zum gleichen Untersuchungszeitpunkt ($61 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$). Zu den anderen Kraniosynostosegruppen und zur Normpopulation gibt es keinen statistisch signifikanten Unterschied.

3.1.17 Schädelbasisbreite

3.1.17 a) Schädelbasisbreite der Kraniosynostosen

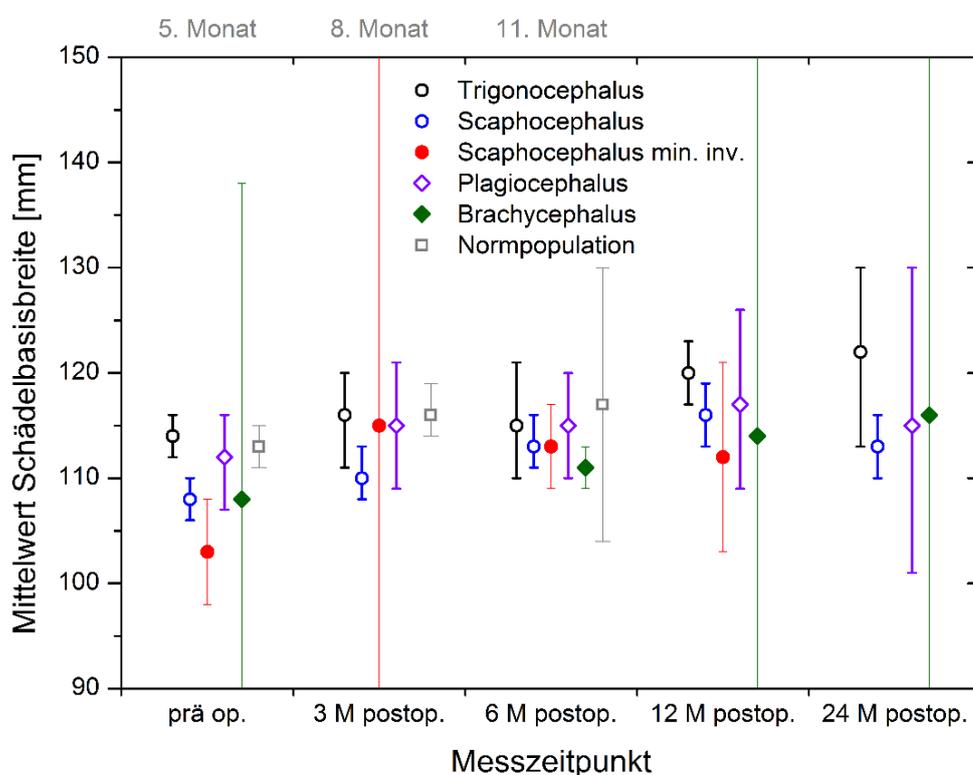


Abb. 35: Zusammenfassende Darstellung der Schädelbasisbreite zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der Schädelbasisbreite rechts in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 50 und 51 entnommen werden.

Die Schädelbasisbreite des Kollektivs der Trionocephali beträgt präoperativ $114 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$ und ist damit signifikant größer als die der Scaphocephali (KP und MI). Postoperativ besteht ein konstantes Größenwachstum bis zu $122 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$ 24 Monate

nach der Intervention. Bereits drei Monate nach der chirurgischen Intervention besteht kein signifikanter Unterschied mehr zu den anderen Kraniosynostosen.

In der Betrachtung der Kohorte der Scaphocephali (KP) liegt präoperativ eine Schädelbasisbreite von $108 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ vor. Drei Monate postoperativ wächst die Breite statistisch signifikant auf $110 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$. Die weitere postoperative Entwicklung in unserem Untersuchungszeitraum bleibt ohne Signifikanz.

Die Schädelbasisbreite der minimal invasiv operierten Scaphocephali ist zu Beginn etwas kleiner als die der konventionell Operierten. Mit $113 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ sechs Monate postoperativ liegen die Mittelwerte der Schädelbasisbreite der beiden scaphocephalen Patientenkollektive beieinander.

Daneben ist die präoperative Schädelbasisbreite der Plagiocephali bei $112 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ und nimmt im postoperativen Verlauf auf $117 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ zu.

Die Auswertung der Schädelbasisbreite der beiden brachycephalen Kinder ergibt Werte zwischen 106 mm und 111 mm präoperativ. Während sich die Schädelbasisbreite des Mädchens innerhalb von zwölf Monaten von 106 mm auf 119 mm vergrößert, liegt der männliche brachycephale Patient sechs Monate und auch 24 Monate postoperativ bei 111 mm .

3.1.17 b) Schädelbasisbreite der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

In der Gegenüberstellung der Kraniosynostosen zur Normpopulation fällt hinsichtlich dieses Parameters ein statistisch signifikanter präoperativer Unterschied zwischen der Normpopulation zu den scaphocephalen Patientenkohorten (KP und MI) auf. Dabei ist die Schädelbasisbreite der Normalpatienten mit $113 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ größer als die der Scaphocephali ($108 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ bzw. $103 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$). Drei Monate postoperativ besteht dieser Unterschied noch zu den Scaphocephali (KP), sechs Monate postoperativ besteht zwischen der Normalpopulation und den Kraniosynostosen kein signifikanter Unterschied mehr.

3.1.18 Maximale Circumferenz

3.1.18 a) Maximale Circumferenz der Kraniosynostosen

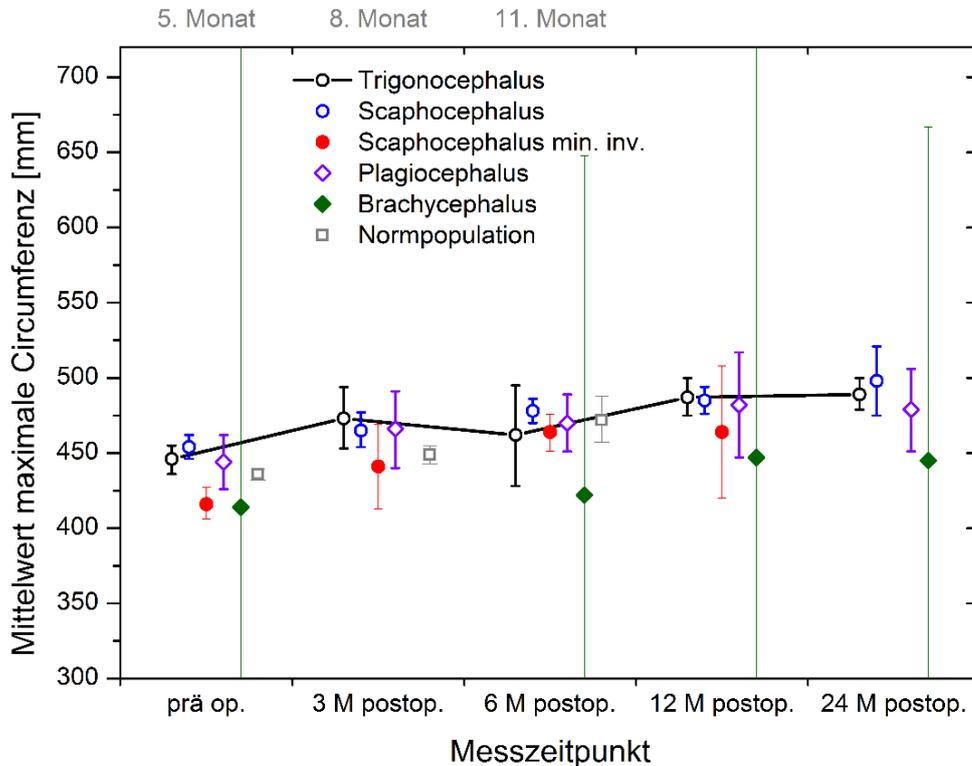


Abb. 36: Zusammenfassende Darstellung der maximalen Circumferenz zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der maximalen Circumferenz in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 52 und 53 entnommen werden.

Die Analyse der maximalen Circumferenz der Trionocephali zeigt signifikante Unterschiede zwischen den präoperativen $446 \text{ mm} \pm 24 \text{ mm}$ und den $473 \text{ mm} \pm 24 \text{ mm}$ drei Monate postoperativ. Das Wachstum des Parameters um 6 % von $462 \text{ mm} \pm 78 \text{ mm}$ der sechs Monate postoperativ auf $487 \text{ mm} \pm 23 \text{ mm}$ zwölf Monate postoperativ ist ebenso signifikant.

Die Scaphocephali (KP) haben präoperativ eine maximale Circumferenz von $454 \text{ mm} \pm 21 \text{ mm}$. Im weiteren Verlauf ist ein stetiges Wachstum dieses Parameters zu verzeichnen, welches die ersten sechs Monate zu den jeweils vorher gemessenen Werten signifikant ist. Sechs Monate postoperativ beträgt die maximale Circumferenz $478 \text{ mm} \pm 17 \text{ mm}$.

Den konventionell operierten Scaphocephali stehen die minimal invasiv operierten Scaphocephali gegenüber, welche mit $416 \text{ mm} \pm 13 \text{ mm}$ präoperativ eine signifikant kleinere maximale Circumferenz aufweisen als die Scaphocephali (KP) und die Trigonocephali. Die Zunahme des Parameters auf $464 \text{ mm} \pm 14 \text{ mm}$ sechs bzw. $\pm 18 \text{ mm}$ zwölf Monate postoperativ innerhalb dieses Patientenkollektivs ist ohne statistische Signifikanz.

Bei den Plagiocephali beträgt der Kopfumfang präoperativ $444 \text{ mm} \pm 21 \text{ mm}$ und wächst nach drei Monaten signifikant um 5 % auf $466 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}$. Im weiteren Verlauf nimmt der Kopfumfang weiter zu. Zwölf Monate postinterventionell liegt die maximale Circumferenz der Plagiocephali bei $482 \text{ mm} \pm 22 \text{ mm}$.

Bei den Brachycephali imponiert eine deutlich kleinere maximale Circumferenz über den gesamten Untersuchungszeitraum des männlichen Patienten. Dieser bietet präoperativ eine Größe von 380 mm. Nach der chirurgischen Intervention wächst der Kopfumfang auf 404 mm, 421 mm und 428 mm nach sechs, zwölf und 24 Monaten. Die der weiblichen brachycephalen Patientin hingegen ist bereits präoperativ mit 447 mm deutlich größer. 24 Monate postoperativ ist der Kopfumfang 463 mm groß.

3.1.18 b) Maximale Circumferenz der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation
Anhand der maximalen Circumferenz wurde, wie bereits im Patienten- und Methodenteil beschrieben, unser Normkollektiv erstellt.

Sowohl verglichen mit unserer Normpopulation als auch verglichen mit den Perzentilen aus der KiGGS-Studie von Neuhauser et al. des Robert-Koch-Instituts (2013), ist für die konventionell operierten Scaphocephali ein deutlich größerer, präoperativer Kopfumfang von $454 \text{ mm} \pm 21 \text{ mm}$ zu sehen. Ferner liegt der Median mit 456 mm ebenfalls über der 90. Perzentile der Kinder, welche in der KiGGS-Studie sechs Monate alt waren. Im weiteren postoperativen Verlauf besteht zu unserer Normpopulation kein signifikanter Unterschied mehr. Drei Monate postoperativ liegen die Scaphocephali (KP) mit dem Mittelwert der maximalen Circumferenz auf Höhe der 75. Perzentile, während das 95 %- Konfidenzintervall von der 50. bis zur 90. Perzentile reicht (im Bezug auf 9 Monate alte Kinder der KiGGS-Studie). Dieser Trend ist auch sechs Monate postoperativ zu erkennen verglichen mit den 12 Monate alten Kindern der KiGGS-Studie.

Dem gegenüber ist die präoperative maximale Circumferenz der minimal invasiv operierten Scaphocephali mit $416 \text{ mm} \pm 13 \text{ mm}$ bzw. 418 mm im Median der 3. Perzentile der sechs Monate alten Kinder der KiGGS-Studie am nächsten und ist signifikant kleiner als unsere Normpopulation, welche zu diesem Untersuchungszeitpunkt eine maximale Circumferenz von $436 \text{ mm} \pm 9 \text{ mm}$ hat.

Drei Monate postoperativ liegen die minimal invasiv operierten Scaphocephali weiterhin im Bereich der 10. Perzentile der 9 Monate alten Kinder, da ihr Kopfumfang im Median bei 441 mm liegt. Sechs Monate postoperativ liegen sowohl der Median als auch der Mittelwert für die Scaphocephali (MI) zwischen der 25. und 50. Perzentile, insgesamt näher an der 50. Perzentile der 12 Monate alten Kinder aus der KiGGS-Studie.

Die übrigen Kraniosynostosen unterscheiden sich zu unserer Normpopulation zu keinem Untersuchungszeitpunkt. Im Bezug auf die KiGGS-Studie liegen die Trigonocephali und Plagiocephali präoperativ, drei und sechs Monate postoperativ mit ihrer maximalen Circumferenz überwiegend zwischen der 50. und 75. Perzentile.

3.1.19 Sagittale Circumferenz

3.1.19 a) Sagittale Circumferenz der Kraniosynostosen

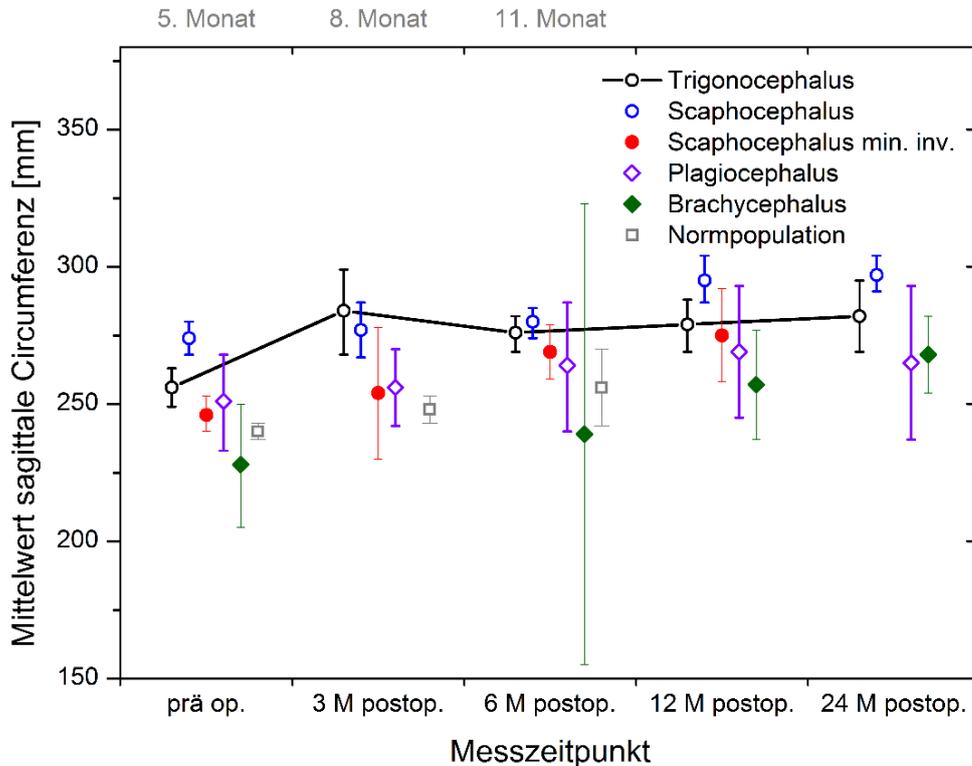


Abb. 37: Zusammenfassende Darstellung der sagittalen Circumferenz zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der sagittalen Circumferenz in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 54 und 55 entnommen werden.

Die sagittale Circumferenz der Trionocephali nimmt drei Monate postoperativ signifikant um rund 11 % zu. Präoperativ liegt sie bei $256 \text{ mm} \pm 19 \text{ mm}$, drei Monate postoperativ bei $284 \text{ mm} \pm 19 \text{ mm}$.

Die Gruppe der Scaphocephali (KP) hat präoperativ eine um ca. 7 % signifikant größere sagittale Circumferenz als die Trionocephali. Im weiteren Verlauf besteht dieser Unterschied zwischen den beiden Kraniosynostosegruppen nicht mehr. Innerhalb des Untersuchungszeitraums der sagittalen Circumferenz der Scaphocephali (KP) ist ein statistisch signifikanter Unterschied zwölf zu sechs Monate postoperativ zu verzeichnen. Sechs Monate postinterventionell ist der Parameter $280 \text{ mm} \pm 13 \text{ mm}$ groß und entwickelt sich innerhalb der nächsten sechs Monate auf eine Größe von $295 \text{ mm} \pm 17 \text{ mm}$.

Auch gegenüber der minimal invasiv operierten Scaphocephali ist die sagittale Circumferenz der Scaphocephali (KP) präoperativ mit $274 \text{ mm} \pm 16 \text{ mm}$ im Gegensatz zu $246 \text{ mm} \pm 8 \text{ mm}$ der Scaphocephali (MI) signifikant größer. Postoperativ besteht dieser Unterschied nicht.

Die sagittale Circumferenz der minimal invasiv operierten Scaphocephali wächst innerhalb der ersten zwölf postoperativen Monate auf $275 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$.

Die Plagiocephali bieten präoperativ eine sagittale Circumferenz von $251 \text{ mm} \pm 21 \text{ mm}$, zwölf Monate postoperativ liegt diese bei $269 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$.

Die beiden brachycephalen Patienten haben präoperativ eine sagittale Circumferenz von 229 mm bzw. 226 mm . Sechs Monate postoperativ liegt sie bei 246 mm und 233 mm . Das Wachstum um rund 4 % innerhalb der Brachycephali 24 Monate postoperativ zu zwölf Monate postoperativ ist statistisch signifikant.

Die Brachycephali weisen präoperativ, zwölf sowie 24 Monate postoperativ eine statistisch signifikant kleinere sagittale Circumferenz als die Scaphocephali (KP) auf.

3.1.19 b) Sagittale Circumferenz der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation
Bei der Gegenüberstellung der sagittalen Circumferenz der Normpopulation zu den Kraniosynostosen fällt sowohl präoperativ als auch drei Monate postoperativ ein signifikanter Unterschied zu den Trionocephali und den Scaphocephali (KP) auf. Beide weisen eine größere sagittale Circumferenz auf als die Normpopulation. Sechs Monate postoperativ besteht dieser Unterschied noch zu den Scaphocephali (KP), welche mit $280 \text{ mm} \pm 13 \text{ mm}$ oberhalb der $256 \text{ mm} \pm 9 \text{ mm}$ der Normpopulation liegen.

3.1.20 Transversale Cirumferenz

Die transversale Circumferenz verbindet den obersten Punkt der Ohrwurzel mit dem der Gegenseite und ist damit ein Marker für die Schädelhöhe.

3.1.20 a) Transversale Cirumferenz der Kraniosynostosen

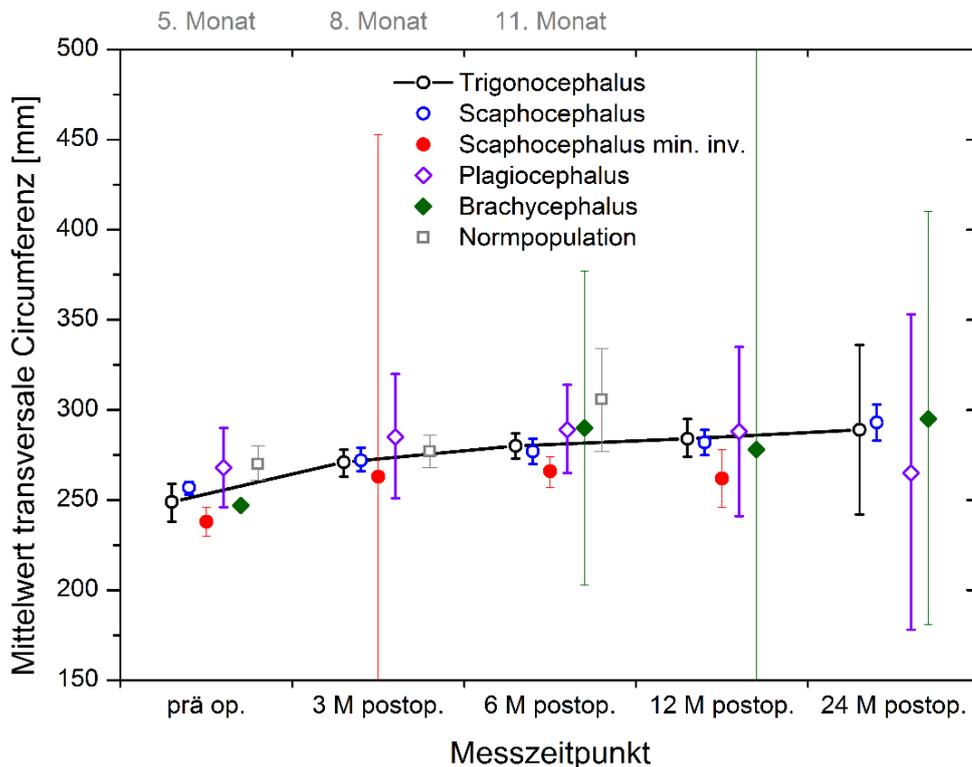


Abb. 38: Zusammenfassende Darstellung der transversalen Circumferenz zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation. Aufgetragen ist der jeweilige Mittelwert der transversalen Circumferenz in Abhängigkeit des Messzeitpunkts. Die Fehlerbalken verdeutlichen das zugehörige 95 %- Konfidenzintervall. Weitere Informationen können Tab. 56 und 57 entnommen werden.

Die Kohorte der trigonocephalen Patienten zeigt präoperativ eine transversale Circumferenz von $249 \text{ mm} \pm 28 \text{ mm}$. Drei Monate postoperativ wächst diese statistisch signifikant um ca. 8 % auf $271 \text{ mm} \pm 9 \text{ mm}$. Sechs Monate postinterventionell ist ebenfalls eine signifikante Zunahme auf $280 \text{ mm} \pm 16 \text{ mm}$ zu verzeichnen. Die weitere Vergrößerung der transversalen Circumferenz innerhalb des Untersuchungszeitraums ist ohne statistische Signifikanz.

Ähnlich zu den Trigenocephali ist bei den Scaphocephali (KP) hinsichtlich der transversalen Circumferenz innerhalb der ersten sechs Monate ein statistisch signifikantes Wachstum zu eruieren. Präoperativ ist sie bei den Scaphocephali $257 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ groß. Drei Monate nach der Intervention nimmt die Kopfhöhe signifikant auf $272 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ zu, sechs Monate postoperativ liegt sie bei $277 \text{ mm} \pm 16 \text{ mm}$.

Die minimal invasiv operierten Scaphocephali imponieren präoperativ mit einer signifikant kleineren transversalen Circumferenz von $238 \text{ mm} \pm 9 \text{ mm}$ als die konventionell operierten Scaphocephali. Im postoperativen Verlauf liegt der Parameter zwischen $262 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$ zwölf Monate postoperativ und $266 \text{ mm} \pm 9 \text{ mm}$ sechs Monate postoperativ.

Die präoperative transversale Circumferenz der Plagiocephali beträgt $268 \text{ mm} \pm 27 \text{ mm}$. Innerhalb der ersten drei postoperativen Monate wächst der Parameter signifikant auf $285 \text{ mm} \pm 33 \text{ mm}$, sechs und zwölf Monate postoperativ stabilisiert er sich in diesem Bereich. 24 Monate postoperativ ist ein Abfall der Kopfhöhe auf $265 \text{ mm} \pm 35 \text{ mm}$ zu erfassen.

Bei Betrachtung der brachycephalen Patienten ist präoperativ eine Kopfhöhe von $247 \text{ mm} \pm 0 \text{ mm}$ zu beobachten, welche damit signifikant kleiner ist als die der Scaphocephali (KP). Während die transversale Circumferenz des männlichen Brachycephalus konstant über den postoperativen Zeitraum auf 283 mm sechs Monate bzw. 304 mm 24 Monate postoperativ zunimmt, ist bei der weiblichen Patientin das Größenmaximum von 297 mm bei sechs Monaten postoperativ. Zwölf Monate postoperativ umfasst die transversale Circumferenz eine Größe von 259 mm und 24 Monate postoperativ von 286 mm .

3.1.20 b) Transversale Circumferenz der Kraniosynostosen im Vergleich zur Normpopulation

Präoperativ sind die transversalen Circumferenzen der Trigenocephali, der Scaphocephali (KP + MI) und der Brachycephali signifikant kleiner als die unserer Normalpopulation zum fünften Lebensmonat. Drei Monate postoperativ besteht dieser Unterschied nicht mehr. Im weiteren Verlauf imponiert bei den Scaphocephali (MI) mit $266 \text{ mm} \pm 9 \text{ mm}$ sechs Monate postoperativ eine signifikant kleinere Kopfhöhe als zur

Normalpopulation des 11. Lebensmonats. Die anderen Kraniosynostosen unterscheiden sich zu diesem Untersuchungszeitraum nicht von den Normalpatienten.

4. Diskussion

4.1 Frontalwinkel

Der Frontalwinkel dient in dieser Studie vor allem der Darstellung der strukturellen frontalen Deformität im Bereich des orbitalen Bandeaus. Die Stirnmorphometrie wird mittels Frontoorbitalem Advancement mit dem Ziel korrigiert im weiteren Verlauf sich der Norm anzupassen.

Insbesondere bei den trigonocephalen Patienten, bei denen ein frühzeitiger Verschluss der Sutura frontalis und damit einhergehend ein kielförmig deformiertes Stirnbein mit schmaler bitemporaler Distanz imponiert, liegt eine Veränderung des Frontalwinkels im Sinne einer Zuspitzung vor.

In unserer Analyse konnte dargestellt werden, dass die Trigonocephali vor der chirurgischen Intervention mit $128^\circ \pm 5^\circ$ einen signifikant kleineren Frontalwinkel als die übrigen Kraniosynostosetypen (Scaphocephali, Plagiocephali, Brachycephali) und als die Normalpopulation aufweisen. Mittels FOA konnten die Deformierungen harmonisiert werden. Der Frontalwinkel der Trigonocephali vergrößert sich im ersten Follow-up statistisch signifikant zum präoperativen Zustand und gleicht sich den Größen der anderen Kraniosynostosen und der Normalpopulation im weiteren Verlauf an.

Bei den Scaphocephali (KP) imponiert durch einen prämaternen Verschluss der Sutura sagittalis ein enger, insgesamt verlängerter Hirnschädel mit konsekutiv resultierender schmaler bitemporaler Distanz. Der Frontalwinkel sollte gegenüber der Norm daher nur gering abweichen. Aus der Studie geht präoperativ für die konventionell operierten Scaphocephali ein statistisch signifikant größerer Frontalwinkel im Vergleich zu den Trigonocephali hervor, für den der Winkel pathognomonisch klein ist. Allerdings ist er im Vergleich zu den anderen Kraniosynostosen und zur Normalpopulation annähernd gleich groß. Durch die Korrektur zeigt sich postoperativ kein Unterschied zur Norm und die Winkelgröße bleibt auch im weiteren Schädelwachstum annähernd konstant.

Dem gegenüber kann bei den minimal invasiv operierten Scaphocephali im postoperativen Verlauf eine Verkleinerung des Frontalwinkels festgestellt werden, allerdings ohne statistische Signifikanz.

Bei Betrachtung der Plagiocephali ist auf der betroffenen Seite aufgrund der unilateralen Koronarnahtsynostose eine verminderte anteriore Positionierung des Stirnbeines mit

Retrusion des Orbitaaberrandes zu beobachten, während kompensatorisch auf der nicht betroffenen Seite das Stirnbein im Sinne eines „frontal bossing“ nach anterior entwickelt. Die dadurch entstehende Asymmetrie des Vorderkopfes hat aufgrund der in der Definition des Frontalwinkels als Scheitelpunkt festgelegte Glabella in der Mittellinie des Schädels, prä- und auch postoperativ wenig Einfluss auf diesen Parameter, da der gesamte Stirnkomplex eine gleich gerichtete Rotation erfährt. Durch den Ausgleich der pathologischen ipsilateralen Abflachung und kontralateralen Vorwölbung des Os frontale durch das Frontoorbitale Advancement bleibt der Frontalwinkel der Plagiocephali über den Beobachtungszeitraum nahezu konstant. Durch die operative Korrektur erfährt die Stirnpartie quasi eine entgegen der Pathologie gerichtete Rotation der Gesamtstirn (FOA). Bei beidseitigem prämaturnen Verschluss der Sutura coronalis, wie er bei brachycephalen Patienten vorliegt, führt hingegen zu einer deutlichen Vergrößerung des Frontalwinkels im Vergleich zu gesunden Kindern. Bei einer sehr geringen Fallzahl konnte dies in der vorliegenden Analyse bei einem der beiden Patienten in den ersten sechs Monaten postoperativ bestätigt werden. Hier verkleinert sich der Winkel von 149° präoperativ auf 144° sechs Monate postoperativ, allerdings liegt zwölf Monate postoperativ wieder der Ausgangswert von 149° vor. Damit ist der Winkel zwar immer noch kleiner als der der Normalpopulation, es spricht aber dafür, dass durch die chirurgische Versorgung eine Harmonisierung des frontalen Bandeaux erreicht werden konnte, jedoch der potentiell begleitende und fortbestehende pathologische Einfluss im Bereich der Schädelbasis zu einem Teilrezidiv führte. Eine zukünftige Untersuchung des Parameters an einem größerem Patientenkollektiv zur Bestätigung der vermuteten Verkleinerung des Frontalwinkels mithilfe der operativen Versorgung ist wünschenswert.

Analog des hier dargestellten Winkels wurde historisch bei unzureichender Beurteilung der prämaturnen metopischen Stenosierung mittels klinischer Morphologie von Oi und Matsumoto bereits 1987 anhand computertomographischer Messungen der über knöcherne Strukturen gebildeten Nasopteronialwinkel entwickelt, der Auskunft über den Schweregrad des kielförmig deformierten Stirnbeinschädels bei trigonocephalen Patienten geben sollte (Oi und Matsumoto, 1987). Waitzman et al. zeigten zunächst, dass anthropometrische, manuelle Messungen vergleichbar sind mit Messungen an computertomographischen Scans (Waitzman et al., 1992a). Anhand dessen erstellten sie

Normwerte für die interkoronale Distanz. Auf Basis dieser Wertetabelle demonstrierten Posnik et al., dass das transversale bitemporale Defizit durch die Kranioplastik bei den Trigenocephali verbessert werden konnte (Posnick et al., 1994).

Bottero et al. erweiterten dies um den Quotienten aus interparietaler und interkoronaler Distanz, der Grad der frontalen Stenosierung konnte nun ohne Alterskorrektur ermittelt werden (Bottero et al., 1998).

Die bisher dargestellten Studien bewerteten den Schweregrad des trigonocephalen Krankheitsbildes auf Grundlage von CT-Scans. Aber gerade die Strahlenbelastung im Kindesalter erhöht das Risiko an Leukämie oder Hirntumoren zu erkranken (Pearce et al., 2012).

Ferner erfolgte die Analyse bisher unter Einsatz von zweidimensionalen Bildgebungsverfahren, dabei sind Messungen an dreidimensionalen Modellen exakter und somit der planaren Bildgebung zu bevorzugen (Frühwald et al., 2008; Reuben et al., 2005). Auch in der Studie von Havlik et al. wurden axiale CT-Scans zur Darstellung eines Zentralwinkels verwendet, welcher sich aus dem hemisupraorbitalen Segment, gebildet aus der Mittellinie und zwei symmetrischen, lateralen Punkten, unmittelbar posterior des lateralen Orbitabandes, ergibt und somit den Schweregrad der pathologischen frontalen Verengung der Trigenocephali definiert (Havlik et al., 1999). Durch die operative Versorgung konnte eine Erweiterung des Zentralwinkels von präoperativen $110^\circ \pm 4^\circ$ auf $145^\circ \pm 6^\circ$ postoperativ erreicht werden. Dies entspricht annähernd den Mittelwerten des Frontalwinkels unseres trigonocephalen Patientenkollektivs, welches präoperativ einen $128^\circ \pm 5^\circ$ großen Frontalwinkel aufweist und drei Monate postoperativ bei $146^\circ \pm 4^\circ$ liegt.

2014 eruierten Gociman et al. einen Frontalwinkel ebenfalls anhand eines Laserscans, welcher es ermöglichte, den Schädelumriss zu mehreren Untersuchungszeitpunkten in verschiedenen Ebenen darzustellen (Gociman et al., 2014). Dabei wurde eine Referenzebene aus den Weichteilreferenzpunkten Tragus und Nasenwurzel definiert, wobei die eigentliche Messebene in 3/10 der gesamten Kopfhöhe lag. Anhand eines von anterior nach posterior gebildeten Durchmesser und einer perpendicularen Linie in Höhe des Stirnbeins zu diesem Durchmesser, konnte mittels Tangenten zum Stirnbein der Frontalwinkel gebildet werden. Anhand dessen konnte eine Vergrößerung des Frontalwinkels von präoperativen $105^\circ \pm 3^\circ$ auf $115^\circ \pm 3^\circ$ ein Jahr postoperativ durch

die minimal invasive operative Versorgung erzielt werden, was die Ergebnisse unserer 3D-Analyse bestätigt. Durch die Angulation der Referenzebene zu der in dieser Studie präferierten horizontal in der FOA Ebene gelegenen Ebene lassen sich die kleineren Winkelmaße erklären. Da die in dieser Studie analysierten Winkelmaße in der FOA-Ebene liegen, können die Winkelmaße auch intraoperativ dem Operateur bei der Umformung der Stirn eine Hilfe geben.

Nguyen et al. benutzten 2015 den von Kellogg et al. validierten interfrontalen Winkel für eine Gegenüberstellung der klassischen Operation mittels FOA zur endoskopischen Intervention bei Trigenocephali (Kellogg et al., 2012; Nguyen et al., 2015). Dabei konnte der Winkel durch ersteres Verfahren innerhalb eines Jahres um ca. 18 ° verkleinert werden, bei zweiterem um ca. 13 °. Dies entspricht den ungefähren Verbesserungen in unserer Studie (Verkleinerung um 15 °).

Eine weitere Studie zum Frontalwinkel, ermittelt durch dreidimensionale Laserscans, wurde 2015 von Martini et al. veröffentlicht (Martini et al., 2015). Sie definierten bereits den in unserer Analyse verwendeten Frontalwinkel durch die Glabella und den rechten und linken Frontotemporalpunkt, der Winkel liegt dabei auf dem ossären frontoorbitalen Bandeau. Hier maß der Frontalwinkel präoperativ einen Median von 122 °, während er drei Monate postoperativ 143 ° und zwölf Monate postoperativ 146 ° betrug. Die Ergebnisse der damals erhobenen Studie anhand von sieben Trigenocephali können durch unser erweitertes Patientenkollektiv von 30 Trigenocephali bestätigt werden. Auch dass es in der Gruppe der Plagiocephali keine signifikanten postoperativen Veränderungen gibt, kann durch das hier verwendete Kollektiv von sieben plagiocephalen Patienten unterstrichen werden.

Zur besseren Validierung der plagiocephalen und auch der brachycephalen Kohorte wäre eine Untersuchung mit einem größeren Patientenkollektiv sinnvoll.

4.2 Frontoparietaler Winkel

Der Frontoparietale Winkel, der sich aus der Glabella sowie den errechneten Frontotemporal- und Parietalpunkten der jeweiligen Seiten ergibt, ist wichtig zur Beurteilung des frontoorbitoparietalen Konturübergangs und sollte sich postoperativ stabil halten, als Zeichen einer Formkonstanz der chirurgisch erzielten Konturverbesserung. Da der Frontalwinkel sich bedingt durch seine Weichteilreferenzpunkte in Wechselbeziehung

zum Frontoparietalwinkel befindet (Glabella und Frontotemporalpunkte), werden beide Winkel durch die operative Versorgung mittels FOA verändert.

Die prämatüre Stenosierung der metopischen Naht führt zu einer Verschmälerung der bitemporalen Distanz und somit zu einem kielförmig deformierten Stirnbein. Daraus resultiert ein im Vergleich zur Normalpopulation größerer präoperativer Frontoparietalwinkel rechts und links. Durch die operative Versorgung mittels FOA kann eine statistisch signifikante Verkleinerung des Frontoparietalwinkels auf beiden Seiten unmittelbar postoperativ erzielt werden. Dabei ist die Verkleinerung der Winkel auf beiden Seiten nahezu symmetrisch, rechts von präoperativen $148^\circ \pm 7^\circ$ auf $137^\circ \pm 5^\circ$ bzw. links von präoperativen $148^\circ \pm 5^\circ$ auf $138^\circ \pm 5^\circ$ drei Monate postoperativ. In den weiteren Follow-ups hält sich der Winkel beidseits stabil auf dem Niveau der Normalpatienten. Dies bestätigt die bereits bei Martini et al. 2015 erhobenen Daten bezüglich des Verhaltens des Frontoparietalwinkels bei trigonocephalen Patienten (Martini et al., 2015).

Bedingt durch die schmale bitemporale Distanz bei Patienten mit prämatürer Stenosierung der Pfeilnaht, ist hier ein im Vergleich zur Normalpopulation verkleinerter Frontoparietalwinkel zu erwarten. Mittels Kranioplastik und auch minimal invasiv wird die bitemporale Verengung behoben, der Frontoparietalwinkel nimmt postoperativ statistisch signifikant zu.

Interessanterweise besteht zwischen den Trigonocephali und den Scaphocephali (KP) präoperativ sowie sechs und zwölf Monate postoperativ ein signifikanter Größenunterschied, bei dem sich der Frontoparietalwinkel der Trigonocephali sowohl rechts als auch links größer darstellt, wohingegen dieser Unterschied drei Monate und 24 Monate postoperativ nicht besteht. Zur Normalpopulation besteht postoperativ bei beiden Kraniosynostosegruppen aber kein Unterschied mehr. Ursächlich hierfür könnte sein, dass durch die operative Versorgung zunächst ein Optimum dieses Parameters erzielt werden konnte, wohingegen sich in den weiteren Untersuchungszeiträumen die ursprüngliche Pathologie möglicherweise subklinisch durchsetzt und im Vergleich dieser in Bezug auf diese Parameter komplett konträr verhaltenden Kraniosynostosetypen wieder Auffälligkeiten im unmittelbaren Vergleich zeigt. Auffällig ist ebenfalls, dass zum Untersuchungszeitpunkt 24 Monate nach der Operation kein signifikanter Unterschied mehr besteht. Hier ist bei beiden Patientengruppen nur noch eine Fallzahl von vier in die

Studie eingegangen, wobei die Standardabweichung mit jeweils $\pm 3^\circ$ dem der vorherigen Zeitpunkte entspricht.

Hinsichtlich der Brachycephali ist aufgrund der bilateralen Synostose der Sutura coronalis und der damit einhergehenden Abflachung der Stirn eine kompensatorische Ausdehnung der bitemporalen Distanz zu erwarten. Dies bedeutet für den Frontoparietalwinkel präoperativ größere Werte als postoperativ. Dies kann durch unsere Studie nur zum Teil bestätigt werden. Bei kleiner Fallzahl hält sich der männliche brachycephale Patient während des Untersuchungszeitraums nahezu konstant, weist sogar von prä- zu 24 Monate postoperativ eine Vergrößerung des rechten frontoparietalen Winkels von 140° auf 141° auf. Bei der weiblichen Patientin ist durch die operative Versorgung eine leichte Verkleinerung von 140° auf 138° zu erzielen. Auf der linken Seite ist es etwas anders, hier kann der Winkel des männlichen Patienten gesehen über den gesamten Untersuchungszeitraum von 140° auf 137° verkleinert werden, wohingegen bei der weiblichen Patientin keine eindeutige Tendenz zu erkennen ist. Insbesondere im Hinblick auf das verwendete Computerprogramm zur Analyse der Parameter, bei der die benötigten Weichteilpunkte zur Bildung eines Parameters nicht Millimeter genau gesetzt werden können, ist eine Entwicklung, welche in der Einzelbetrachtung nur einen bis zwei Grad ausmacht, eher kritisch zu bewerten, so dass bei den brachycephalen Patienten von einer Konstanz des Frontoparietalwinkels während des Untersuchungszeitraums auszugehen ist. Daraus lässt sich schließen, dass entweder die Auswirkung der prämaternen Stenosierung auf diesen Parameter nicht besonders groß ist oder mittels operativer Korrektur im Hinblick auf jenen Winkel nicht die entsprechend gewünschte Verkleinerung erzielt werden kann.

Gleich der publizierten und dieser Studie vorausgegangenen Untersuchung von Patienten mit einem anterioren Plagiocephalus konnte nunmehr bei einem deutlich größeren Patientenkollektiv und zusätzlicher Untersuchung eines Normkollektivs bestätigt werden, dass präoperativ ein größerer Frontoparietalwinkel auf der ipsilateralen Seite und kontralateral ein kleinerer Frontoparietalwinkel vorlag (Martini et al., 2015). Bezüglich der betroffenen Seite fand sich eine statistisch signifikante Veränderung von präoperativen Winkelmaßen mit $146^\circ \pm 4^\circ$, die drei Monate postoperativ sich auf $140^\circ \pm 5^\circ$ verkleinert hatten. Dabei fällt, ähnlich zum Vergleich der Trionocephali zu den Scaphocephali (KP),

dass beim unmittelbar postoperativen Ergebnis, sprich drei Monate postinterventionell, zwischen dem Frontoparietalwinkel der betroffenen Seite der Plagiocephali und dem Frontoparietalwinkel der Scaphocephali (KP und MI), kein statistisch signifikanter Unterschied besteht, präoperativ sowie sechs Monate postoperativ hingegen schon. Dies unterstreicht die Annahme, dass durch die operative Intervention ein optimales Ergebnis erzielt werden aber im weiteren postoperativen Verlauf das „natürliche“ Schädelwachstum dieser Patienten wieder zu einem leichten Rezidiv führen kann.

Die kontralaterale Seite weist zwar die zu erwartende leichte Zunahme des Winkels auf, die Veränderung ist aber statistisch nicht signifikant. Zu beachten ist allerdings, dass hier der Frontoparietalwinkel der Trigenocephali präoperativ statistisch signifikant kleiner ist, als jener der betroffenen Seite der Plagiocephali. Dies führt noch einmal vor Augen, dass der Frontoparietalwinkel durch die prämatüre Stenosierung der metopischen Naht deutlich vergrößert ist.

Auch im Vergleich zur Normalpopulation kann die anfangs aufgeführte Annahme des vergrößerten Frontoparietalwinkels der kranken Seite und des verkleinerten Winkels der gesunden Seite bestätigt werden, denn hier liegen präoperativ entsprechend signifikante Unterschiede vor, welche postoperativ nicht mehr bestehen.

Der minimal invasiv operierte Plagiocephalus bietet bis sechs Monate postoperativ die gleiche Entwicklung wie die konventionell operierten Plagiocephali (betroffene Seite präoperativ 148 °, nicht betroffene Seite 130 °; sechs Monate postoperativ betroffene Seite 143 °, nicht betroffene Seite 136 °). Allerdings verhält es sich zwölf Monate postoperativ umgekehrt, da sich dort die betroffene Seite auf 146 ° vergrößert und die nicht betroffene Seite wieder auf 133 ° verkleinert. Hier ist am ehesten von einem Rezidiv auszugehen. Um nähere Aussagen zum Vergleich der konventionell operierten Plagiocephali zu den minimal invasiv operierten treffen zu können, wäre aber eine größer angelegte Studie vonnöten.

Insgesamt sind zur Validierung des Parameters bei derzeit nur einer anderen Studie (Martini et al., 2015), welche diesen Messwert untersucht, weitere Untersuchungen mit größeren Patientenkollektiven erstrebenswert.

4.3 Nasosagittalwinkel

Der Nasosagittalwinkel wird über die Weichteilreferenzpunkte Glabella, Nasion und Nasenspitze definiert und dient der Begutachtung der orbitonasalen Gesichtsregion in der sagittalen Ebene (Profilansicht).

Die Vorverlagerung des FOA in der Gruppe der Plagiocephali und Trionocephali findet primär in den lateralen Orbitabereichen statt. Die Veränderungen des Os frontale in der Nasenwurzelregion hingegen fällt gering aus. Dies spiegelt sich im Nasosagittalwinkel wider, bei dem keine statistisch signifikante Änderung über den Untersuchungszeitraum festgestellt werden kann. Ebenso sind keine signifikanten Unterschiede zur Normalpopulation zu beobachten. Der Weichteilreferenzpunkt Glabella dient als Scheitelpunkt des Vorderkopfes. Knapp kranial bzw. durch diesen Punkt hindurch verläuft der kaudale Sägeschnitt des frontoorbitalem Bandeaues und somit ist die Glabella zentraler Referenzpunkt, an dem kranial die Erweiterung des frontotemporalen Schädels inklusive der supraorbitalen Stirnpartie durchgeführt wird.

Im Fall der Scaphocephali, bei denen das sagittale Wachstum aufgrund des frühzeitigen Verschlusses der Sutura sagittalis kompensatorisch verstärkt ist, findet sich daher präoperativ ein verkleinerter Nasosagittalwinkel. Postoperativ vergrößert er sich initial in Richtung der Norm. Allerdings kommt es nach den ersten sechs postoperativen Monaten zu einem Teilrezidiv, d.h., dass sich der Nasosagittalwinkel bis zum zwölften postoperativen Monat statistisch signifikant verkleinert hat und mit $138^\circ \pm 5^\circ$ fast wieder beim präoperativen Ausgangswert von $137^\circ \pm 5^\circ$ liegt. Dieses Ergebnis könnte zu der Überlegung führen, dass die operative Versorgung mittels Kranioplastik hinsichtlich des krankhaften Längenwachstums bei den Scaphocephali nicht ausreichend ist, da die Patienten innerhalb eines Jahres in ihre Pathologie zurückverfallen. Ferner zeigen die minimal invasiv operierten Scaphocephali über den gesamten Untersuchungszeitraum eher eine Tendenz zur Winkelvergrößerung, wenn auch ohne statistische Signifikanz. Dies mag seine Begründung in der früh terminierten Operationsindikation mit der Möglichkeit einer frühen Wachstumsregulation finden oder aber eventuell in einer potentiell großzügiger gestellten Indikation, aufgrund der weniger invasiven Operationstechnik. Jedoch liegen die Mittelwerte für den Nasosagittalwinkel für beide Scaphocephali (Kranioplastik und Minimalinvasiv) präoperativ im annähernd gleichen Bereich ($137^\circ \pm 5^\circ$ vs. $136^\circ \pm 5^\circ$), so dass hinsichtlich dieses Parameters bei den

Kohorten sowohl prä- als auch postoperativ kein statistisch signifikanter Unterschied besteht.

Die Physiognomie brachycephaler Patienten weist im Profil eine Abflachung der Stirnregion mit vergrößertem Nasosagittalwinkel auf. Durch das FOA und die damit einhergehende Verlagerung des Orbitabandeaus nach anterior kann der Parameter von $145^\circ \pm 6^\circ$ auf $139^\circ \pm 7^\circ$ zwölf Monate postoperativ verkleinert werden.

Insgesamt liegen damit die nasofrontalen Winkelwerte aller Patientenkohorten postoperativ über denen von Farkas (1994) beschriebenen Normwerten (klassische 2D-FRS-Analyse). Dies wurde bereits in der Dissertationsschrift von Fr. Dr. Schulz (2014) festgestellt. Die Begründung hierzu liegt am ehesten an den leicht differierenden Weichteilreferenzpunkten, den unterschiedlichen Rohdatensätzen (vormals 2D versus aktuell 3D), möglicherweise aber auch an der unterschiedlichen Fallzahl ($n=28$, Mittelwert $125,5^\circ \sigma$ bzw. $124,7^\circ \varphi$) und Grundpopulation. Die Messwerte von Farkas wurden zwischen 1973 und 1976 erfasst, während die Größe der Menschen generell in den letzten dreißig Jahren zugenommen hat (vgl. Dissertation Fr. Schulz 2014).

4.4 Profilwinkel Nase zu Kinn

Der Profilwinkel dient der Analyse der nasomentalen Region in der Sagittalebene und wird über die Weichteilreferenzpunkte Nasion, Nasenspitze und Weichteilpogonion gebildet.

Da in der Sagittalebene keine Verschiebungen der genannten Referenzpunkte bei den Kraniosynostosen nach anterior oder posterior zu erwarten ist, liegen in unserer Studie dementsprechend ebenfalls keine statistisch signifikanten Veränderungen über den Untersuchungszeitraum vor.

Lediglich beim Vergleich der beiden Scaphocephaligruppen (Kranioplastik versus Minimalinvasiv) kann präoperativ sowie sechs Monate postoperativ ein statistisch signifikant kleinerer Profilwinkel bei den minimal invasiv Operierten detektiert werden. Auch zur Normalpopulation besteht vor der chirurgischen Intervention bei den Scaphocephali (MI) ein signifikant kleinerer Profilwinkel. Eine mögliche Ursache hierfür könnte ein nach posterior verlagertes Kinn oder ein nach kaudal verlagertes Nasion sein, wobei faziale Veränderungen bei sagittalen Synostosen bisher nicht beschrieben wurden. Diese bis dato nicht beschriebene Pathologie, die nur bei den minimal invasiv operierten Kindern in dem untersuchten Kollektiv beobachtet wurde, gilt es zukünftig hinsichtlich

Validität und Entwicklungsverlauf näher zu untersuchen. Auch die rechtsseitig betroffenen Plagiocephali wiesen sechs Monate postoperativ einen größeren Profilwinkel als die Trigenocephali und Scaphocephali (MI) auf; zur Normalpopulation besteht dieser Unterschied zum elften Lebensmonat aber nicht, was möglicherweise an der geringen Patientenzahl der Normalpopulation lag. Es könnte ein Hinweis auf eine Persistenz der oft in der en face Ansicht zu beobachtenden Gesichtasymmetrie der Plagiocephali auch in der Sagittalebene sein.

Vergleichbare Parameter, welche die nasomentale Region in der Sagittalebene beschreiben, wurden bisher in der Literatur nicht behandelt.

4.5 Nasofrontalwinkel I und II

Der Nasofrontalwinkel I wird auf der Frontalebene, also der en face Ansicht, definiert durch die Weichteilreferenzpunkte Nasion, Glabella und Subnasale und gibt einen Anhalt für die laterale Abweichung der subnasalen Region zur Stirn. Der Nasofrontalwinkel II liegt ebenfalls auf der Frontalebene und definiert über die Weichteilpunkte Nasion, Glabella und Nasenspitze primär die Nasendeviation in Bezug auf die Stirn, während der Nasofrontalwinkel die Mittelgesichtslage bestimmt. Die in beiden Winkeln enthaltene Glabella, welche sich als einzige der Referenzpunkte im Bereich des orbitalen Bandeaues befindet, wird zwar in der Frontalebene durch das FOA nur unwesentlich verändert, könnte aber Schlussfolgerungen auf den indirekten Einfluss der chirurgischen Versorgung auf das Mittelgesicht zulassen.

Da bei den überwiegenden Formen der Kraniosynostosen eine faziale Symmetrie vorliegt, stellen sich die Winkel bei den Trigenocephali, Scaphocephali und auch Brachycephali stabil bei 0° dar.

Dem gegenüber liegt bei den Plagiocephali eine Gesichtasymmetrie vor, da das Os nasale nach ipsilateral und die Nasenspitze nach kontralateral abweicht. Allerdings lassen sich für beide Winkel keine statistisch signifikanten Änderungen während des Untersuchungszeitraumes feststellen, auch wenn drei plagiocephale Patienten einen präoperativen Nasofrontalwinkel I von mind. 4° aufweisen. Es gilt aber in jedem Fall festzuhalten, dass diese Kohorte, im Vergleich zu den anderen Kraniosynostosegruppen, in den ersten sechs Monaten des Untersuchungszeitraumes nicht stabil bei 0° liegt. Insgesamt deutet die Studie aber auf eine Verbesserung der fazialen Asymmetrie durch

die operative Versorgung hin, da postoperativ keine signifikanten Unterschiede zur Normalpopulation oder den anderen Kraniosynostosen mehr bestehen. Weitere Analysen anhand größerer Patientenkollektive sind hier angezeigt.

Zur plagiozephalen Gesichtasymmetrie wurde in der Literatur bereits viel geschrieben. Hierbei beruhten erste Untersuchungen auf klinischen Interpretationen oder zweidimensionalen Fotografien (Bartlett et al., 1990), wohingegen im weiteren Verlauf zur Beurteilung der fazialen Ausprägungen 3D-CT-Scans verwendet wurden (Pelo et al., 2011).

4.6 Nasofrontalwinkel III

Zur Beurteilung der lateralen Abweichung des Kinns zur Stirnregion wurde der Nasofrontalwinkel III über die Weichteilreferenzpunkte Glabella, Nasion und Weichteilpogonion in der Frontalebene festgelegt. Somit dient dieser Parameter als Maß der Deviation des unteren Gesichtsdrittels im Verhältnis zur Stirn und als hilfreicher Indikator für die oft bei Plagiocephali zu beobachtende Zunahme der Gesichtsskoliose a) nach kaudal sowie b) mit fortschreitendem Kindesalter.

Bei allen Kohortengruppen kann über den Beobachtungszeitraum keine statistisch signifikante Veränderung festgestellt werden. Eine höhergradige Asymmetrie in diesem Bereich konnte somit binnen der ersten drei Lebensjahre ausgeschlossen werden. Interessant ist aber gerade das sich anschließende Vorschulalter, mit dem langsam einsetzendes Mittelgesichtswachstum (Harzer, 2011). Dieses führt bekanntlich bei Kindern mit Plagiocephalus häufig zu einer Gesichtsskoliose (s.u.). Dieses Alterskollektiv war jedoch nicht im Studiendesign vorgesehen und muß zukünftigen Untersuchungen obliegen.

Für die Plagiocephali kann in der Betrachtung der Patienten eine Verbesserung der präoperativen Abweichung von vereinzelt 4° Richtung 0° durch die operative Versorgung erzielt werden. Allerdings ist dies ohne statistische Signifikanz. Tendenziell scheint durch die Operation eine Verbesserung der Gesichtasymmetrie erzielt werden zu können, doch um dies auch statistisch verifizieren zu können, ist eine höhere Fallzahl vonnöten

In der sagittalen Ebene wurde die Rotation des Untergesichts zur kontralateralen Seite bereits 2008 durch Oh et al. untersucht, allerdings bei einem mittleren Patientenalter von 14 Jahren und nur mittels postoperativer 3D-Scans anhand hochauflösender

Digitalkameras (Oh et al., 2008). Die Tiefe des Untergesichts wurde durch lineare Messungen von Tragion zu Gnathion bestimmt. Abschließend konnte hier eine geringere Untergesichtstiefe auf der ipsilateralen Seite festgestellt werden, was einer Abweichung des Kinns, welches ja über das Gnathion einbezogen wird, in der Sagittalebene zur kontralateralen Seite entspricht.

Gasparini et al. zeigten 2013 mit postoperativ erstellten, rekonstruierten dreidimensionalen CT-Scans, dass eine Abweichung des Kinns zur betroffenen Seite der prämaturnen koronalen Stenosierung bei Plagiocephali besteht (Gasparini et al., 2013). Die Untersuchung erfolgte dabei über axiale und auch frontale Ebenen unter Verwendung von mehreren Weichteilreferenzpunkten an der Mandibula, so dass lineare Parameter erstellt werden konnten. Hier stellte sich heraus, dass die Abstände zwischen den Weichteilreferenzpunkten auf der ipsilateralen Seite im Vergleich zur kontralateralen Seite verkürzt waren und somit für eine faziale Asymmetrie im Bereich des Kinns sprachen.

In der Literatur sind bisher nur lineare Messungen zur frontomentalen Region zu finden. Dementsprechend sind auch hier weitere Studien mit größeren Patientenkohorten wünschenswert.

4.7 Abstand der Supraorbitalpunkte

Primär wird bei der Verformung des frontoorbitalem Bandeaus die Stirn in toto oder partiell nach anterior verlagert, und das lineare Verhältnis der Supraorbitalpunkte nur sekundär durch die Osteotomie in der Medianen durch Veränderung des Frontalwinkels quasi indirekt verändert. Dies führt klassischerweise bei den Trigono- und Plagiocephali zu einer Vergrößerung des Winkels. Somit wäre zumindest bei diesen beiden Patientengruppen eine Zunahme des Abstandes der Supraorbitalpunkte zu erwarten und ist von Interesse, da oft bei den Trigonocephalie ein Hypotelorismus vorliegt.

Dies spiegelt sich in der durchgeführten Analyse wider, wenn auch ohne statistische Signifikanz. In der Kohorte der Trigonocephali kommt es innerhalb von 24 Monaten postoperativ zu einer Abstandsvergrößerung von $49 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ auf $54 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$. Die Plagiocephali weisen eine ähnliche Vergrößerung im gleichen Zeitraum von $50 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ auf $54 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ auf. Die Brachycephali und Scaphocephali (KP) halten sich wie zu erwarten auf dem präoperativen Niveau stabil. Die minimal invasiv operierten

Scaphocephali hingegen bieten ebenfalls eine Abstandsvergrößerung von $47 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ hin zu $52 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ binnen zwölf Monaten.

Zur Abbildung des Abstandes der Supraorbitalpunkte gibt es derzeit keine äquivalente Untersuchung in der Literatur. Lediglich zum Abstand der inneren bzw. äußeren Augenwinkel gibt es weitere Untersuchungen (s.u.).

4.8 Augenbreite rechts und links

Durch die Operationstechnik ist hinsichtlich der Augenbreite, gemessen als Abstand zwischen Exo- und Endokanthion, keine wesentliche Veränderung zu erwarten. In der Regel wurde keine weitere Osteotomie im Bereich des supraorbitalen Bandausegmentes vorgenommen, sondern lediglich in der Gruppe der Plagiocephalie zum Ausgleich der Torquierung im Bedarfsfall eine Segmentierung mit Derotation durchgeführt. Dies spiegelt sich in unserer Studie wider, es besteht während des Untersuchungszeitraums kein signifikanter Unterschied in der Entwicklung.

Bereits 2006 untersuchten Farkas et al. bei Patienten mit rechtsseitiger Koronarnahtsynostose unter anderem die Augenbreite (Farkas und Forrest, 2006). Dabei verglichen sie die durch anthropometrische Messungen gewonnenen präoperativen Werte von Kindern zwischen dem ersten bis zwölften Lebensmonat mit denen zwischen dem ersten und zehnten Lebensjahr. Der Mittelwert des Augenabstandes \pm zwei Standardabweichungen entsprach dabei den Normalwerten. Darüber hinaus abweichende Werte wurden als subnormal bzw. als supernormal bezeichnet. Im Säuglingsalter imponierten vermehrt subnormale Werte, wohingegen in der Kindheit bei diesem Patientenkollektiv nur normale Messgrößen erhoben werden konnten. Hierdurch wird bestätigt, dass trotz fehlender operativer Versorgung eine Normalisierung des Augenabstandes durch das Wachstum des Kindes möglich ist.

4.9 Abstand der inneren Augenwinkel

Der Abstand der inneren Augenwinkel (interkanthaler Abstand) ist insbesondere bei den Trigonocephali von Bedeutung, da häufig ein Hypotelorismus vorliegt. Verglichen mit unserer Normalpopulation fällt präoperativ bei den Trigonocephali ein statistisch signifikant kleinerer interkanthaler Abstand auf und bestätigt das Vorliegen eines präoperativen Hypotelorismus.

In der Studie von Dekaban wurden von über 1000 Patienten Normwerte anthropometrisch erhoben (Dekaban, 1977). Der interkanthale Abstand der Kinder liegt allerdings in der Gegenüberstellung zu unseren Patienten mit trigonocephaler Schädelform im Mittelwert leicht unterhalb unserer gemessenen Werte (Dekaban sechster Lebensmonat: ♂: 2,5 cm ± 0,3 cm; ♀: 2,4 cm ± 0,22 cm, unsere Studie präoperativ: 2,6 cm ± 0,3 cm). Dies widerspricht der Annahme eines verringerten Abstandes vor der operativen Versorgung von Patienten mit prämaturer Stenosierung der metopischen Naht. Allerdings gilt hier zu bedenken, dass nur eine Gegenüberstellung der absoluten Werte möglich ist und die Studie bereits über 30 Jahre alt ist. Ferner decken die jeweiligen Standardabweichungen die gemessenen Werte in unserer Studie mit ab, so dass der Parameter formal gesehen mit in dem Bereich der Studie von Dekaban liegt.

Durch das FOA wird keine unmittelbare chirurgische Korrektur des klinischen Hypotelorismus vorgenommen, sondern lediglich eine diskrete Erweiterung der kranialen Interorbitalregion durch das Aufbiegen des orbitalen Bandeaus im Bereich der medianen Osteotomielinie erreicht. Postoperativ besteht zwischen den Trigonocephali und unserer Normalpopulation kein signifikanter Unterschied. Der interkanthale Abstand wurde somit durch die Operation korrigiert. Hinsichtlich der bei Dekaban erhobenen Normwerte des neunten bis 18. Lebensmonats ist der interkanthale Abstand der Trigonocephali im Bezug auf die absoluten Werte aber weiterhin vergrößert. Jedoch liegen die Messwerte aller anderen Kraniosynostosen unserer Studie ebenfalls über den gemessenen Werten von Dekaban. Hier besteht aber klinisch kein Hinweis für einen Hyper- oder Hypotelorismus. In der Literatur wird die direkte chirurgische Korrektur des Hypotelorismus ohnehin kontrovers diskutiert. Marchac und Renier z.B. hielten eine chirurgische Modifizierung in diesem Bereich für unnötig, da eine Normalisierung des interkanthalen Abstandes zum einen durch eine Begradigung des supraorbitalen Bandeaus im Rahmen des FOAs erreicht werden kann und zum anderen durch eine spontane Remission gefördert wird (Marchac und Renier, 1981). Dominguez et al. beschrieben, dass unkomplizierte Formen der Trigonocephali selbstlimitierend und selbstkorrigierend sind, was über den singulären Hypotelorismus sogar hinausgeht (Dominguez et al., 1981).

In der Studie von Nguyen et al. konnte anhand von CT-Scans bei metopischen Synostosen gezeigt werden, dass durch endoskopische (n = 13) und offen operative (n = 15) Verfahren eine gleichwertige Verbesserung des Hypotelorismus innerhalb eines

postoperativen Jahres erzielt werden konnte (Nguyen et al., 2015). Die präoperativen Werte für diesen Parameter liegen bei den offen operierten Patienten bei $26,6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ und für die endoskopisch operierten bei $23,0 \text{ mm} \pm 0,8 \text{ mm}$. Ein Jahr nach der chirurgischen Versorgung erweitert sich der interkanthale Abstand auf $31,0 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ (offen operiert) bzw. $30,3 \text{ mm} \pm 0,7 \text{ mm}$ (endoskopisch operiert). Dies entspricht präoperativ nahezu unserem Patientenkollektiv. Ein Jahr postoperativ liegt der Abstand mit $28 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ leicht unter denen von Nguyen et al. gemessenen Werten.

Per direkten anthropometrischen Messungen konnten Patel et al. eruieren, dass nach dem operativen Einsatz eines Knochentransplantats zur Erweiterung des lateralen Orbitarandes der interkanthale Abstand postoperativ weiterhin im Normbereich liegt (Patel et al., 2016). Untersucht wurden 16 Patienten vor der chirurgischen Intervention und $8,9 \text{ Jahre} \pm 3,8 \text{ Jahre}$ nach der Intervention. Abschließend wird konstatiert, dass eine operative Korrektur des orbitalen Hypotelorismus nicht indiziert ist. Auch die vorliegende Untersuchung zeigte, dass eine zusätzliche postoperative Erweiterung des interkanthalen Abstandes bei trigonocephalen Patienten scheinbar unnötig ist.

Dem gegenüber resümierten Fearon et al., dass eine direkte operative Korrektur des Hypotelorismus bei trigonocephalen Patienten von Nutzen sei, gaben aber zu bedenken, dass eine unoperierte Kontrollgruppe in ihrer Studie fehle und zudem ein höheres intraoperatives Risiko bestünde (Fearon et al., 1996). Posnick et al. interponierten in der Medianebene ein Knochentransplantat in das geteilte Bandeau zur Vergrößerung des interkanthalen Abstandes (Posnick et al., 1994). So konnte eine Verbesserung des Hypotelorismus bei Patienten mit prämaturer Stenosierung der metopischen Naht von 13 mm präoperativ auf 15 mm ein Jahr postoperativ erzielt werden, wie die Auswertung der CT-Scans zeigte. Aber sowohl bei Posnick als auch bei Hilling et al. bestand postoperativ eine Unterkorrektur des Abstandes der inneren Augenwinkel im Vergleich zu Normwerten (Hilling et al. 2006b).

Viele der genannten Studien verwenden für ihre Auswertung des interkanthalen Abstandes direkte anthropometrische Messungen (Fotos) oder Computertomographien, die mit einer erhöhten Strahlenexposition für die Patienten einhergehen. In unserer Analyse konnten die Messwerte strahlungsfrei und vor allem gut reproduzierbar im 3D-Raum erhoben werden. Projektionsfehler auf die zweidimensionale Fläche konnten somit sicher ausgeschlossen werden.

4.10 Abstand der äußeren Augenwinkel

Äquivalent zum interkanthalen Abstand spielt der Abstand der äußeren Augenwinkel vor allem eine Rolle bei den Trionocephali, da hier präoperativ ein Hypotelorismus vorliegt. Im Gegensatz dazu kann bei Patienten mit einem Plagiocephalus ein Hypertelorismus vorliegen. Während in der Gruppe der Trionocephali eine Größenzunahme des Parameters wünschenswert wäre, wäre bei den Plagiocephali potentiell eine Größenreduktion anzustreben.

Der Abstand der äußeren Augenwinkel nimmt durch die operative Korrektur, die auch eine modellierende Ostektomie im Falle der Trionocephalie beinhaltet, wie gewünscht bei den trionocephalen Patienten signifikant zu. Gleiches gilt auch für die Gruppe der Plagiocephali, wobei beide Gruppen postoperativ im Vergleich zu unserer Normalpopulation keinen signifikanten Unterschied zeigten und daher von einer Angleichung an die Norm durch die Operation ausgegangen wurde.

Insbesondere bei syndromalen Kraniosynostosen wie dem Apert-, Crouzon- und Pfeiffer-Syndrom findet sich häufiger ein Hypertelorismus und daher ist der Abstand der äußeren Augenwinkel vor allem für dieses Patientenkollektiv von großer Wichtigkeit. In der Regel wird die faziale Korrektur eines Hypertelorismus erst ab dem 4. – 6. Lebensjahr im Rahmen einer zweiten Operation durchgeführt (z.B. Converse Technik) (Renier et al., 2000), so dass die Analyse über einen mehrjährigen Beobachtungszeitraum bei diesen Patienten erstrebenswert ist.

In der Studie von Metzler et al. wurden bei Patienten mit metopischer Stenosierung zwei operative Verfahren (u.a. FOA), gegenübergestellt und dabei der interzygomaticofrontale Suturenabstand anhand von CT-Scans betrachtet. Diese knöcherne Struktur entspricht annähernd den von uns gewählten Weichteilpunkte Exokanthion rechts und links (Metzler et al., 2014a). Sie stellten präoperativ einen Abstand von 69,55 mm und ca. 1,5 Monate postoperativ von 76,38 mm fest. Die gemessenen Werte können durch unsere Studie mit $70 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ präoperativ und $73 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ drei Monate postoperativ in der Gruppe der Trionocephali annähernd durch das von uns gewählte Messverfahren ohne Strahlenbelastung bestätigt werden und zeigen gleichfalls eine Verbesserung der ursprünglichen Pathologie. Auch Havlik et al. untersuchten diesen Parameter bei sieben Trionocephali mit stark ausgeprägter Pathologie, in dem auf Höhe der Augenlinsen in CT-Scans der Abstand zwischen den beiden lateralen Orbitaländern in der

Transversalebene vermessen wurden. Präoperativ betrug die Distanz $71 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ (Havlik et al., 1999). In den Follow-ups (von unmittelbar postoperativ bis neun Monate postoperativ reichend, im Mittel 3,3 Monate) imponierte eine Breite von $87 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$, welche deutlich über unseren gemessenen Werten liegt. Neben einer speziellen Patientenselektion mit besonders gravienderen Formen eines Trigonocephalus liegt die Wertedifferenz zum hiesigen Kollektiv sicherlich an dem verwendeten Knocheninterponat zur Verbreiterung des Bandeaus, die in Bonn / Sankt Augustin keine Anwendung fand. Es sei zudem darauf hingewiesen, dass auch hier der Abstand während des Untersuchungszeitraumes im eigenen Patientenkollektiv zunimmt.

Zu den bei Waitzman et al. erhobenen Normwerten, welche anhand von 3D-CT-Scans an 187 Patienten erhoben wurden, besteht zu keinem unserer Kraniosynostosegruppen ein statistisch signifikanter Unterschied, was durch den Vergleich zu unserer Normalpopulation bestätigt wird (Waitzman et al., 1992b).

4.11 Vorverlagerungsstrecke

Die Vorverlagerungsstrecke dient als Maß für die in der Horizontalebene nach anterior verlagerte Protrusion der Stirnregion (des frontoorbitalem Bandeaus) auf Höhe der Nasenwurzel.

In der Gruppe der Scaphocephali (KP) war über den Beobachtungszeitraum eine Vergrößerung der Vorverlagerungsstrecke zu verzeichnen. Auch die minimal invasiv operierten Scaphocephali weisen zunächst in der ersten postoperativen Untersuchung noch eine Zunahme der Strecke auf. Außerdem ist der Parameter in der Kohorte der Plagiocephali sowohl präoperativ als auch drei Monate postoperativ statistisch signifikant größer als der der Scaphocephali (KP + MI), aber auch als der Trigonocephali. Dementsprechend scheint er als Maßstab für das Längenwachstum im Vergleich der Kraniosynostosenformen untereinander ungeeignet und dient allein der intraindividuellen Verlaufsbeurteilung.

Um die Veränderung des frontalen bossings in der Gruppe der Scaphocephali besser abzubilden, wäre hingegen die Position der Glabella in der Sagittalen ein geeigneterer Parameter und müßte in der Software Onyx Ceph™ neu implementiert und gesondert analysiert werden. Ein Parameter, welcher die Stirnregion in dieser Form abdeckt, ist bisher in der Literatur nicht zu finden. Zur Abdeckung des Wachstums in der Sagittalebene

eignet sich die maximale Schädellänge, auf welche im Folgenden näher eingegangen werden soll.

4.12 Maximale Schädellänge

Die maximale Schädellänge ist die Verbindung aus Glabella und Opisthocranion und eignet sich zur Beurteilung der Schädelformveränderung aller Kraniosynostosen. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei den Patienten mit sagittaler Stenosierung, da sie ein kompensatorisches Längenwachstum aufweisen, und vice versa den brachycephalen Patienten, die einen verkürzten Schädel innehaben.

Bei allen Kraniosynostosegruppen ist über den Beobachtungszeitraum eine stetige Zunahme der Schädellänge zu beobachten. Hier ist im Speziellen der Vergleich zur Normalpopulation interessant, da die Schädellänge der Trigonocephali und der Scaphocephali (KP + MI) präoperativ statistisch signifikant größer sind. Der Größenunterschied persistiert drei Monate postoperativ bei den Trigono- und Scaphocephali (KP) und sechs Monate postoperativ bei den Scaphocephali (KP). Während diese spezielle Pathologie durch die unveränderte Position der Glabella mit Schaffung einer Breitenentwicklung im Falle der Scaphocephali (KP) auch über die operative Korrektur hinaus initial weiterhin vergrößert ist, gleichen sich die Werte postoperativ für die Trigonocephali innerhalb von sechs Monaten der Normalpopulation an. Verglichen mit den bei Waitzman et al. erhobenen Normwerten von 100 Patienten mittels CT-Scans kann für die Kraniosynostosen weder präoperativ noch bis sechs Monate postoperativ ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden (Waitzman et al., 1992b). Bei allen drei Untersuchungszeitpunkten überschneiden sich die 95 %- Konfidenzintervalle. Hingegen besteht bei allen Kraniosynostosegruppen bis auf die Brachycephali präoperativ eine signifikant größere Schädellänge im Vergleich zu den Normwerten von Delye et al., die mittels dreidimensionaler CT-Scans an 187 Patienten gewonnen wurden (Delye et al., 2015). Der signifikante Unterschied bleibt bei den Scaphocephali (KP) bis sechs Monate postoperativ bestehen. Dies wird auch durch die vorliegende Studie bestätigt. Allerdings liegt ein Unterschied in den Altersgruppierungen bei Delye et al. und der vorliegenden Studie vor, so dass eine Übertragung der Werte nur eingeschränkt möglich ist.

Insgesamt scheint die knöcherne Neumodellation der Kraniosynostosen vor allem innerhalb der ersten sechs postoperativen Monate stattzufinden. Die Scaphocephali bieten zu diesem Zeitpunkt eine signifikant kleinere Schädellänge als die Trigonocephali, gleichzeitig aber eine signifikant größere als die Plagiocephali. Ein besonderer Umstand, der weder zu früheren oder späteren Zeitpunkten zu beobachten ist. Wünschenswert ist in diesem Zusammenhang einen deutlich längeren Beobachtungszeitraum als die vorgegebenen 3 Jahre zu evaluieren, um insbesondere die Schädelentwicklung der Scaphocephali nach Kranioplastik näher zu analysieren.

Entsprechend seiner Definition ist bei den Patienten mit bilateraler Stenosierung der Kranznähte vor der Operation eine statistisch signifikant verkürzte Schädellänge im Vergleich zu den Trigono- und Scaphocephali (KP + MI) festzustellen. Dieser nähert sich nach operativer Korrektur den Werten der anderen Kraniosynostoseformen postoperativ an. Allerdings ist bei einer Fallzahl von 2 Patienten die Interpretation nur sehr eingeschränkt möglich, wie das sehr große 95 %- Konfidenzintervall bereits zeigt.

Fearon et al. konnten in ihren Untersuchungen mit Hilfe von anthropometrischen Messungen bei 248 Patienten mit singulärer Kraniosynostose innerhalb von sechs Wochen postoperativ eine Normalisierung des Schädelwachstums in der Sagittalen feststellen (Fearon et al., 2009). Die Follow-ups berücksichtigen Kinder im Mittel bis zum vierten Lebensjahr. Die Autoren schlossen aus ihren Ergebnissen, dass zur Vermeidung weiterer Korrekturoperationen eine Überkorrektur im Rahmen der Primäroperation zur Schaffung einer final normalen Schädelform nötig sei.

Unter Bezugnahme auf eine Vorstudie zur Definition von Normperzentilkurven verglichen von Wilbrand et al. verschiedene präoperative Parameter von Patienten mit einer Kraniosynostose (Wilbrand et al., 2012, 2014). Sie zeigten, dass sowohl Patienten mit Stenosierung der Sagittalnaht als auch der metopischen Naht eine über die 90. Perzentile hinaus bestehende Schädellänge aufweisen, wohingegen Plagiocephali als auch Kinder mit Stenosierung der Lambdanaht im Normbereich zwischen der zehnten und 90. Perzentile liegen. Dieses Ergebnis wird durch unsere Analyse bestätigt.

4.13 Maximale Schädelbreite

Die maximale Schädelbreite entspricht dem Abstand der in der Transversalebene am weitesten auseinanderliegenden Weichteilpunkten, also der Strecke zwischen dem

rechten und linken Eurion. Da bei den Patienten mit prämaturer Stenosierung der Sagittalnaht das transversale Schädelwachstum eingeschränkt ist, resultiert eine verminderte Schädelbreite. Im Gegensatz dazu bieten die Trigonocephali aufgrund der Stenosierung der Sutura frontalis ein kompensatorisch verstärktes transversales Wachstum, so dass ihre Schädelbreite im Vergleich zu den Scaphocephali vergrößert ist. Beide Annahmen werden in unserer Analyse bestätigt.

Präoperativ liegt eine signifikant kleinere Schädelbreite bei den Scaphocephali, sowohl vor offener Kranioplastik als auch vor minimal invasiver Intervention, im Vergleich zu den Trigono- und Plagiocephali sowie zur Normalpopulation im fünften Lebensmonat vor. Aber auch innerhalb der beiden Scaphocephaligruppen findet sich ein signifikanter Unterschied. Die zum Operationszeitpunkt deutlich jüngeren Kinder vor minimal invasiver Intervention (im Durchschnitt mit 3,36 Monate alt) weisen präoperativ eine kleinere Schädelbreite als die drei Monate älteren Kinder vor offener Kranioplastik auf. Auch nach der operativen Korrektur bleibt die Breitenentwicklung zunächst zur Norm deutlich zurück und erst ein halbes Jahr nach Operation findet sich kein statistisch signifikanter Unterschied zur Normalpopulation. Das bedeutet, dass die Scaphocephali (KP) in ihrer Entwicklung länger brauchen, um ein normales Niveau ihrer maximalen Schädelbreite zu erreichen, was auch dadurch unterstrichen wird, dass die Trigonocephali zwölf Monate postoperativ weiterhin eine signifikant größere Schädelbreite als die Scaphocephali (KP + MI) aufweisen.

Bei den Plagiocephali liegt bis zum zwölften postoperativen Monat eine Wachstumszunahme der Schädelbreite vor. Innerhalb des nächsten Jahres allerdings kommt es zu einer signifikanten Verkleinerung, was am ehesten einem Rückgang in die ursprüngliche Pathologie entspricht.

Die maximale Schädelbreite der von uns untersuchten und operierten Kraniosynostosen unterscheidet sich nicht statistisch signifikant von den Normwerten, welche von Waitzman et al. 1992 erhoben wurde (Waitzman et al., 1992b). Dem gegenüber liegen aber die Werte sowohl der Trigonocephali als auch der Plagiocephali vor der chirurgischen Intervention statistisch signifikant über denen der Normwerte von Delye et al., wohingegen die beiden scaphocephalen Gruppen im Bereich der Normalwerte liegen (Delye et al., 2015). Drei und sechs Monate postoperativ ist die maximale Schädelbreite der

Trigonocephali sogar weiterhin statistisch signifikant größer, was ein Fortbestehen der Pathologie bedeutet.

Bei Wilbrand et al. lagen präoperativ rund 71 % der Scaphocephali und 83 % der Trigonocephali mit der Schädelbreite im Normbereich bzw. knapp 30 % der Scaphocephali und 17 % der Trigonocephali wiesen eine verkleinerte Schädelbreite unter der zehnten Perzentile auf (Wilbrand et al., 2014). Die im Vergleich zur vorliegenden Studie teils kleineren Werte mögen zum einem in dem messbedingten Anpressdruck mittels Zirkel (Martini et al., 2018b), zum anderen an der Patientenselektion des Kollektives mit anderer Verteilung des Ausprägungsgrades der jeweiligen Dysmorphie liegen.

In den Untersuchungen von Fearon et al. konnten innerhalb von vier postoperativen Jahren Einschränkungen im Wachstum der Schädelbreite der Scaphocephali erhoben werden, mit Tendenz zur initialen Schädeldeformität, was die Annahme bestätigt, dass die Patientengruppe für diesen Parameter eine Rezidivneigung hat (Fearon et al., 2009). Dem gegenüber wurde durch Patel et al. über einen Beobachtungszeitraum von rund neun Jahren eine Abnahme der maximalen Schädelbreite bei den Trigonocephali festgestellt (Patel et al., 2016). In den ersten drei Lebensjahren wurde in unserer Analyse hingegen eine stetige Zunahme im Sinne einer physiologischen Schädelgrößenentwicklung gesehen, die sogar im Vergleich zur eigenen Normalpopulation zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied aufzeigte. In der Zusammenschau der eigenen Ergebnisse wie denen der Literatur (Patel et al., 2016) ist mit einer Verbesserung der Schädelbreite in den weiteren Jahren zu rechnen, was längere Follow-up-Zeiträume rechtfertigen würde.

4.14 Cephalic Index

Der Cephalic Index (CI), welcher aus dem Quotienten der maximalen Schädelbreite und maximalen Schädellänge ($SB \times 100 / SL$) gebildet wird, spielt besonders bei verkürzten (z.B. den Brachycephali) bzw. verlängerten symmetrischen Schädeln (z.B. Scaphocephali), die durch pathologische Veränderungen des Quotientenzählers bzw. –nenners auffallen, eine wichtige diagnostische Rolle.

Der CI war bereits Bestandteil vieler Studien (u.a. Martini et al., 2015; Martini et al., 2018b; Tenhagen et al., 2016; Wilbrand et al., 2012) und bietet dennoch, oder gerade deswegen,

uneinheitliche Einordnungen in Kategorien und vor allem in der Klassifikation von Normwerten. Likus et al. definierten anhand von 180 polnischen Kindern kaukasischer Herkunft unter drei Jahren die Kategorien dolicho- (CI bis 75,9), meso- (CI von 76 – 80,9), brachy- (CI von 81 – 85,4) und hyperbrachycephal (CI > 85,5) (Likus et al., 2014). Die Messungen erfolgten durch CT-Scans. Sie lagen mit ihren Ergebnissen über den anthropometrischen Messungen von Farkas et al., wo beispielsweise der CI für Mädchen unter einem Jahr bei 75,14 und für Jungen 75,3 lag, wohingegen Likus et al. in diesem Alter für Mädchen Werte von $80,8 \pm 7,37$ und für Jungen von $85,59 \pm 7,63$ erhoben (Farkas et al., 1992). Eine mögliche Begründung der Autoren war, dass die Studie von Farkas et al. bereits vor 20 Jahren erhoben wurde. Die gemessenen Werte von Likus et al. lagen ebenfalls über den Ergebnissen für den CI von Waitzman et al., allerdings wurden die CT-Scans hier an Skelettschädeln vorgenommen (Waitzman et al., 1992b). Die häufigste Schädelform bei Kindern unter drei Jahren ist der mesocephale Typ, die brachycephale Form hingegen am seltensten (Likus et al., 2014).

In unserer Analyse wurden gemäß der Klassifikation von Likus et al. für die drei Kraniosynostosenuntergruppen Trigono-, Plagio- und Brachycephali hyperbrachycephale kephalische Indices gemessen. Sie lagen nahezu alle über den gesamten Untersuchungszeitraum bei Werten über 85 (Likus et al., 2014). Beide scaphocephalen Gruppen lagen präoperativ wie zu erwarten im Bereich der dolichocephalen Kategorie, postoperativ aber im mesocephalen Bereich. Trotzdem waren die CIs verglichen mit unserer Normalpopulation über den gesamten Beobachtungszeitraum statistisch signifikant kleiner, was damit zusammenhängen könnte, dass die Normalpopulation für den CI Werte von überwiegend 95 aufweist, was den Ergebnissen von Likus et al. und Collett et al. entsprach (Collett et al., 2012; Likus et al., 2014). Durch die operative Intervention unterschieden sich die Scaphocephali (KP und MI) drei Monate und 24 Monate nicht von den übrigen Patientenkohorten der Kraniosynostosen, lagen aber im Durchschnitt grundsätzlich unterhalb der anderen Synostosenformen sowie der Norm. Bei den minimal invasiv Operierten mag dies an der kleinen Patientenzahl zum ersten postoperativen Zeitpunkt liegen. Im weiteren Verlauf nahm der initial erreichte Benefit der minimal invasiv operierten Kinder im Vergleich zu den anderen Gruppen zunehmend ab, so dass hier neben einer zu fordernden Langzeituntersuchung die Frage gestellt werden

dürfte, ob die offene späte Kranioplastik der frühen minimal invasiven Technik langfristig überlegen ist.

Es sei zudem in diesem Zusammenhang auf die Untersuchung von Dvoracek et al. hingewiesen, der den CI für die Verlaufsbeurteilung generell nach klassischer Definition in Frage stellt. Der CI sei, so seine Feststellung, für die präoperative Schweregradeinteilung und postoperative Erfolgseinschätzung ungeeignet, da das Eurion im weiteren Wachstum nach anterokaudal verschoben wird. Sie schlagen einen „normativen CI“ vor, bei dem die ideale Lokalisation des Eurions verwendet werden soll (Dvoracek et al., 2015).

Die Trigenocephali weisen präoperativ und drei Monate postoperativ ebenso kleinere kephalische Indices auf als unsere Normalpopulation, obwohl die Pathologie des Trigenocephalus durch den CI allein nicht ausreichend abgedeckt wird (Marcus et al., 2008; Schaller et al., 2012). Möglicherweise ist die Begründung auch hier in den hyperbrachycephalen Werten der Normpopulation zu suchen oder aber, dass die physiologische Schädelexpansion nach operativer Korrektur deutlich länger als 3 Monate nach OP benötigt.

Bisherige Studien verwendeten die klassische Anthropometrie zur Bestimmung des kephalischen Indexes (Fearon et al., 2009; Metzler et al., 2013; Schaller et al., 2012) oder die zwei- bzw. dreidimensionale Computertomographie (Likus et al., 2014; Marcus et al., 2008; Waitzman et al., 1992b). Dreidimensionale, strahlenfreie Analysen sind seltener zu finden (Wilbrand et al., 2012) oder beziehen sich auf lagerungsbedingte Deformitäten (Collett et al., 2012).

4.15 Schädelbasislänge rechts und links

Die Schädelbasislänge ist die Strecke zwischen Nasion und rechten bzw. linken Tragion und bietet im Seitenvergleich Hinweise für Asymmetrien der vorderen und mittleren Schädelgrube. Im Falle syndromaler Kraniosynostosen mit vorzeitigem Verschluss des sphenoethmoidalen circumaxillären suturalen Systems werden die Veränderungen durch diesen Parameter abgebildet.

Im Falle einer unilateralen Koronarnahtsynostose ohne Schädelbasisbeteiligung zeigten die Plagiocephali in unserer Studie keinen signifikanten präoperativen Unterschied im Vergleich zur Normalpopulation. Auch alle anderen Patientengruppen wiesen zwar eine

Vergrößerung des Parameters über den Untersuchungszeitraum auf, aber zeigten keine Asymmetrie bezüglich der beiden Messwerte. Möglicherweise ist die Strecke zwischen Nasion und Tragon zur Bestimmung der Asymmetrie im Bereich der Schädelbasis für die Plagiocephali kein ausreichend sensibler Parameter, da in der bisherigen Literatur durchaus Veränderungen in diesem Bereich für diese Form von Kraniosynostosen beschrieben worden sind. So konnten Captier et al. mittels dreidimensionaler CT-Scans eine Asymmetrie der vorderen und mittleren Schädelgrube bei Patienten mit unilateraler Coronarnahtsynostose feststellen, die hintere Schädelgrube blieb unauffällig (Captier et al., 2003).

Di Rocco und Velardi nannten 1988 eine Klassifikationsmöglichkeit für Plagiocephali unter Bezugnahme auf die Stellung von Vomer und Felsenbein im CT (Di Rocco und Velardi, 1988). Typ I wies weder eine Abweichung des Vomers noch des Felsenbeins auf. Typ II wurde in die beiden Unterkategorien A und B eingeteilt, wobei Typ A bei normal stehenden Vomer ein minimal bis moderat nach anterior verschobenes Felsenbein zeigt. Bei Typ II B liegt eine moderate Abweichung des Vomers nach ipsilateral sowie eine schwere Verschiebung des Felsenbeins vor, die ihre Steigerung in Typ III mit deutlichen Abweichungen sowohl des Vomers als auch des Felsenbeins findet. Zudem wird eine detaillierte Beschreibung in diesem Zusammenhang zu frontalen und orbitalen Anomalien aufgeführt.

Unter Einsatz von verschiedenen knöchernen Landmarken in 3D-CTs erstellten Yang et al. lineare und anguläre Parameter, über welche sie eine präoperative Asymmetrie der Schädelbasis, besonders der vorderen und mittleren Schädelgrube, bei anterioren Plagiocephali postulierten (Yang et al., 2018). Ca. fünf Jahre nach der chirurgischen Versorgung mittels FOA stellten sie eine Verbesserung jener Asymmetrie fest.

Für Kinder mit metopischer Stenosierung stellten Naran et al. eine transversale Lateralisation von Strukturen der vorderen Schädelgrube in Bezug auf die Mittellinie fest (Naran et al., 2017).

4.16 Schädelbasisbreite

Die Schädelbasisbreite wird definiert als Abstand zwischen den beiden Weichteilpunkten Traguspunkt rechts und links in der Horizontalebene. Sie stellt somit einen empfindlichen Parameter für die defizitäre Transversalentwicklung der Scaphocephali dar. So zeigt sich

in der vorliegenden Studie für beide Gruppen der Scaphocephali, unabhängig ob ein minimal invasiver Eingriff oder eine offene Kranioplastik durchgeführt wurde, ein signifikanter Unterschied zur Normalpopulation.

Im weiteren Verlauf nach offener Kranioplastik scheint sich die vormals eingeschränkte transversale Kalottenentwicklung zu normalisieren und die Schädelbreite nimmt in den ersten drei Monaten postoperativ statistisch signifikant von $108 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ auf $110 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ zu. Trotzdem bleibt die Schädelbreite drei Monate postoperativ weiterhin kleiner als die der Normalpopulation. Grundsätzlich wird hier der gleiche Sachverhalt in der Gruppe der minimal invasiv operierten Kinder gesehen. Es gilt jedoch zu bedenken, dass diese Kinder zum Operationszeitpunkt durchschnittlich 3 Monate jünger als die übrigen klassisch operierten Kinder sind. Die physiologische Schädelentwicklung ist somit in allen drei Richtungen des Raumes (inklusive der Schädelbreite) den anderen operierten Kindern um 3 Monate voraus und entsprechend kleiner. Trotzdem fällt im weiteren postoperativen Verlauf auf, dass wie bereits beim Cephalic Index beschrieben, die Breitenentwicklung nicht mit den offen operierten Kindern mithält und sich verlangsamt. Ob sich die Schädelbasisbreite der Scaphocephali (KP und MI) wirklich über das erste Lebensjahr hinaus normalisiert kann auf Grund der geringen Patientenzahl unseres Normkollektivs zum elften Lebensmonat mit $n = 4$ nicht sicher konstatiert werden.

Farkas erhob zwischen 1973 und 1976 an über 2000 gesunden kaukasischen Nordamerikanern unter anderem die Schädelbasisbreite, definiert von Tragion zu Tragion, welche zwischen dem sechsten und zwölften Lebensmonat zwischen $94,7 \text{ mm} \pm 4,1 \text{ mm}$ und $99,1 \text{ mm} \pm 4,7 \text{ mm}$ groß war (Farkas 1995). Im Vergleich zu unseren präoperativen sowie den ersten beiden postoperativ gewonnenen Werten liegen sowohl alle Kraniosynostosegruppen als auch die Normalpopulation im Mittelwert über denen von Farkas gemessenen Werten und ist höchstwahrscheinlich, wie bereits erwähnt, dem Umstand geschuldet, dass die Messwerte bereits vor dreißig Jahren erfasst wurden und die Menschheit im Laufe der Zeit generell größer geworden ist.

Die Schädelbasisbreite, referenziert auf Weichteilpunkte oder CT basiert, ist ein idealer Parameter für die Schädelentwicklung, insbesondere für die Gruppe der Scaphocephalie.

4.17 Maximale Circumferenz

Die Messungen des Kopfumfanges dienen der Evaluation des altersgemäßen Wachstums des Schädels und des Gehirns und sind eine etablierte Messgröße in der Anthropometrie (Bartholomeusz et al., 2002; Bray et al., 1969; Farkas, 1995; Martini et al., 2018b). Da es eine einfache und kostengünstige Methode ist, können so schon relativ früh pathologische Schädeldeformitäten detektiert werden. Ferner wird die maximale Circumferenz für Rückschlüsse auf das Schädelvolumen verwendet (Bartholomeusz et al., 2002; Cooke et al., 1977; Lindley et al., 1999). Dabei gilt es allerdings zu bedenken, dass sie vor allem die Expansion der Schädelbasis widerspiegelt (Martini et al., 2018b).

In der bereits unter 4.13 beschriebenen Studie von Wilbrand et al. wurde auch die maximale Circumferenz untersucht (Wilbrand et al., 2014). 68 % der Scaphocephali fielen auf oder über die 90. Perzentile, wohingegen bei den Trigonocephali nur 18 % über der 90. Perzentile lagen. Die Kinder unserer Analyse mit sagittaler Synostose (KP) weisen präoperativ einen Kopfumfang auf, welcher ebenfalls überwiegend über der 90. Perzentile der KiGGS-Studie liegt und die Ergebnisse von Wilbrand et al. unterstreicht (Wilbrand et al., 2014). Auffallend ist aber, dass die minimal invasiv operierten Scaphocephali mit ihrer maximalen Circumferenz im Bereich der 3. Perzentile liegen und statistisch signifikant kleinere Werte aufwiesen als unsere Normalpopulation. Ursächlich dafür ist höchstwahrscheinlich der Altersunterschied dieser beiden Kollektive von eineinhalb Monaten.

Festzuhalten gilt, dass durch die operative Versorgung eine Normalisierung der maximalen Schädelcircumferenz innerhalb des ersten Jahres erreicht werden kann.

Allerdings beobachteten Fearon et al. (wie bereits bei der maximalen Schädellänge), dass es vier Jahre nach der chirurgischen Intervention bei den Trigono-, Scapho- und Plagiocephali zu einer signifikant verminderten Entwicklung des Schädelumfanges kommt (Fearon et al., 2009). Ähnliche Feststellungen machten Metzler et al. bei 41 syndromalen und nichtsyndromalen multisuturalen Kraniosynostosen über einen Nachbeobachtungszeitraum von fünf Jahren, wobei vor allem im ersten postoperativen Jahr eine Einschränkung des Wachstums festzustellen war (Metzler et al., 2013). Dementsprechend ist hier eine postoperative Verlaufsbeobachtung von mehreren Jahren indiziert, um den Beginn und die Ursachen der beeinträchtigten cephalen Entwicklung detektieren zu können.

4.18 Sagittale Circumferenz

Die sagittale Circumferenz verläuft von Nasion zu Opisthocranion über den Vertex und ist somit ein Maß für die Schädellänge und Schädelhöhe, wobei letztere durch die transversale Circumferenz, gemessen über den Scheitel, besser abgebildet wird. Da durch die operative Versorgung eine Verringerung der Schädellänge bei den Scaphocephali erreicht werden soll, wäre postoperativ bei weiterer physiologischer Schädelgrößenzunahme, eine Größenkonstanz oder ggf. sogar verminderte sagittale Circumferenz zu erwarten. Im Gegensatz dazu sollten sich die Schädellänge und die sagittale Circumferenz bei den Brachycephali vergrößern.

In unserer Studie ist indes bei allen Patientenkohorten über den gesamten Untersuchungszeitraum eine Vergrößerung der sagittalen Circumferenz zu messen, z.T. mit statistischer Signifikanz. Dies ist am ehesten durch das physiologische Schädelwachstum zu erklären. Bei den Scaphocephali (KP) blieb sie jedoch trotz Operation über den kompletten Beobachtungszeitraum größer als bei der Normalpopulation, während die Korrektur bei den übrigen drei Kraniosynostoseentitäten (Trigono-, Plagio- und Brachycephalus) im weiteren Verlauf keinen Unterschied zur Normalpopulation mehr zeigte. Die operative Korrektur in der Gruppe der Trigonocephali führte jedoch nicht unmittelbar, sondern erst im weiteren physiologischen Schädelwachstum zu einer Normalisierung des Wertes.

Martini et al. analysierten bei 44 gesunden Kindern die Schädellänge definiert durch die Weichteilreferenzpunkte Glabella und Opisthocranion auf Basis des gleichen Verfahrens der vorliegenden Untersuchung (Martini et al., 2018b). Sie stellten eine Länge von $23,6 \text{ cm} \pm 13 \text{ cm}$ zum vierten Lebensmonat und von $25,3 \pm 13 \text{ cm}$ zum zwölften Lebensmonat fest. Bezogen auf den Mittelwert liegen alle Patientengruppen bis auf die Brachycephali über den gemessenen Werten von Martini et al. Es gilt jedoch zu beachten, dass als frontaler Weichteilreferenzpunkt nicht das Nasion, sondern die Glabella verwendet wurde und dies die größeren Messwerte erklärt.

Tenhagen et al. stellten in ihrer Studie über einen Untersuchungszeitraum von drei Wochen keine signifikante Veränderung der sagittalen Circumferenz bei neun scaphocephalen Patienten fest (Tenhagen et al., 2016). Auf Basis dreidimensionaler Lichtscans wurde das operative Verfahren einer Feder-assistierten Kranioplastik analysiert. Auch wenn die zur Anwendung gekommenen operativen Verfahren

grundsätzlich unterschiedlich sind, so fanden auch wir unmittelbar 3 Monate post- Op keinen signifikanten Unterschied zum präoperativen Ausgangswert.

In der bereits erwähnten Studie von Wilbrand et al. wurde die sagittale Circumferenz von Nasion zu Inion berechnet (Wilbrand et al., 2014). Präoperativ wiesen 75 % der Scaphocephali und 45,8 % der Trigonocephali Werte über der 90. Perzentile auf, was durch die Ergebnisse unserer Studie für die Messwerte vor der Operation bestärkt wird. Eine Vereinheitlichung der Referenzpunkte für die Bestimmung der sagittalen wie auch der nachfolgend zu besprechenden transversalen Circumferenz, wäre nach Sichtung der Literatur erstrebenswert.

4.19 Transversale Circumferenz

Die transversale Circumferenz wird als Maß für die Schädelbreite sowie der Schädelhöhe angesehen. Sie wird definiert als Verbindung der Referenzpunkte Präaurale rechts und links über den Vertex.

Für die Trigonocephali, Scaphocephali (KP) und Plagiocephali ist innerhalb der ersten drei postoperativen Monate eine signifikante Zunahme der transversalen Circumferenz zu beobachten. Dies wird durch die offene Kranioplastik mit Umformung der Kalotte und der Entfernung der restriktiven verknöcherten Naht ermöglicht. Durch die operative Korrektur findet neben der Harmonisierung der Schädelform eine Veränderung der Schädelhöhe statt. Insbesondere wird aber dem sich ausdehnendem Gehirn die Möglichkeit geboten modellierend die Schädelausformung vorzunehmen und nach kranial wie transversal zu expandieren.

Sowohl die minimal invasiv operierten Scaphocephali als auch die Brachycephali bieten präoperativ eine signifikant kleinere Kopfhöhe als die Scaphocephali (KP). Während die minimal invasiv operierten Kinder deutlich jünger sind, lässt der beidseitige prämatüre Verschluss der Kranznaht ein perpendikuläres Wachstum des Schädels zur involvierten Naht nicht zu. Generell scheint der vorzeitige Nahtverschluss auch bei den übrigen Kraniosynostoseformen im Vergleich zur Normalpopulation zu einer geringeren Schädelhöhe. So sind die präoperativen Messwerte der Trigonocephali, Scaphocephali (KP + MI) und Brachycephali signifikant kleiner als die der Normalpopulation.

Tenhagen et al. fanden in bereits unter 4.18 genannter Studie bei scaphocephalen Patienten eine signifikante Zunahme der coronalen Breite binnen drei Wochen, gemessen

von Tragon zu Tragon über den Scheitel (Tenhagen et al., 2016). Bereits unmittelbar postoperativ war ebenfalls eine Zunahme zu verzeichnen. Zumindest bei Verwendung einer anderen Technik gilt dies auch über die drei Wochen hinaus bis zu den ersten sechs Monaten postoperativ, wie die vorliegenden Daten zeigen.

Im Gegensatz dazu ermittelten Wilbrand et al. anhand der Strecke von Otobasion rechts zu Otobasion links, welche leicht kranial des bei uns verwendeten Weichteilreferenzpunktes Präaurale liegen, dass die Scaphocephali für diesen Parameter nur zu 8,7 % Werte oberhalb der 90. Perzentile und zu 7 % unterhalb der 10. Perzentile aufwiesen (Wilbrand et al., 2014). Die Definition der Untergrenze unserer Normalpopulation erfolgte anhand der dritten Perzentile der maximalen Circumferenz. Wenn man dies auf die anderen Parameter überträgt, bedeutet dies für die transversale Circumferenz, dass präoperativ im Mittel die Scaphocephali Werte unterhalb der dritten Perzentile aufweisen, was wiederum den Ergebnissen von Wilbrand et al. widerspricht (Wilbrand et al., 2014). Gleiches gilt für die operierten Fälle eines Trigono- und Plagiocephalus, die mit 57,9 % bzw. 83,3 %, überhalb der 90. Perzentile lagen. Möglicherweise hängt dies mit den differierenden Weichteilreferenzpunkten (Otobasion im Vergleich zu Präaurale) zusammen. Zudem beziehen sich die Werte auf den Untersuchungszeitraum eines gesamten Jahres, wohingegen unsere Werte exakt nach Lebensmonaten aufgeteilt sind.

Martini et al. eruierten bei ihrer Schädelhöhe, die ebenfalls gemessen von Präaurale links über den Scheitel des Kopfes zu Präaurale rechts geht, bei 44 gesunden Kindern eine Vergrößerung von $263 \text{ mm} \pm 210 \text{ mm}$ auf $316 \text{ mm} \pm 180 \text{ mm}$ zum vierten bzw. zwölften Lebensmonat (Martini et al., 2018b). Da die Mittelwerte des entsprechenden Untersuchungszeitpunktes (präoperativ sowie sechs Monate postoperativ) aller Patientenkohorten bis auf die der Plagiocephali unserer Studie unterhalb der bei Martini et al. gemessenen Mittelwerte liegen, scheint dies zumindest die präoperativen Ergebnisse verglichen mit unserer Normalpopulation zu unterstreichen.

5. Zusammenfassung

Patienten mit einer prämaturnen Stenosierung einer oder mehrerer Schädelnähte weisen ein unnatürliches Schädelwachstum auf, was neben erhöhtem Hirndruck auch kosmetische Veränderungen mit psychosozialen Faktoren nach sich ziehen kann. Aus diesem Grund werden die betroffenen Kinder in der zweiten Hälfte ihres ersten Lebensjahres einer operativen Behandlung unterzogen.

Aufgrund fehlender und objektivierbarer Kriterien des präoperativen Fehlbildungsgrades und der postoperativen Entwicklung insbesondere im Vergleich zu Normalwerten wurden zwischen den Jahren 2008 und 2012 166 Patienten mit syndromalen und nicht-syndromalen Kraniosynostosen interdisziplinär durch die Kinderneurochirurgie der Asklepios Kinderklinik Sankt Augustin und die Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Bonn chirurgisch durch eine offene Kranioplastik mit und ohne bilaterales frontoorbitales Advancement versorgt. Im Rahmen des prospektiv angelegten Studiendesigns erfolgte die perioperative Datenerhebung mittels dreidimensionalen lichtoptischen Scans und die kephalometrische Weichteilanalyse auf Basis von 13 Weichteilreferenzpunkten. Die hieraus gewonnenen Messwerte der Kraniosynostosen wurden mit 50 gesunden Kindern ohne Kraniosynostose aus der Praxisklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Dr. Dr. Holger Maas und Dr. Dr. Stephan Rottke in Bonn- Bad Godesberg verglichen. Der postoperative Beobachtungszeitraum betrug bis zu 36 Monate.

Insgesamt wurden acht anguläre und 14 lineare Parameter sowie der Cephalic Index für die verschiedenen Kraniosynostosegruppen beurteilt. Dabei ließen sich durch die operative Versorgung über den genannten Untersuchungszeitraum für die meisten Parameter Messwerte erheben, die dem eines normalisierten Schädelwachstums entsprachen. Ferner konnte auch gezeigt werden, dass andere Parameter keiner postoperativen Veränderung folgten und somit durch die chirurgische Intervention nicht beeinflusst werden.

Zusammenfassend kann das Analyseverfahren zur objektivierbaren Dokumentation der Schädelformveränderungen im Rahmen der bei Kraniosynostosen erfolgten Operation verwendet werden, was die Operationsplanung sowie die weitere Bewertung der Therapieresultate vereinfacht. Die bei dieser Analyse verwendete Methodik ergab sich

zudem über eine Aufnahmetechnik, die schnell und ohne Strahlenexposition für das Kind ablaufen konnte. Ein Kritikpunkt ist hier allerdings, dass manche Weichteilreferenzpunkte, insbesondere das Trignon, aufgrund von Bewegungsartefakten nicht immer sicher detektiert werden können.

Jenseits der hier durchgeführten Untersuchungen sind weitere Analysen an einem größeren Normkollektiv und einem größeren Patientenkollektiv, vor allem der Plagiocephali und Brachycephali sowie der syndromalen Patienten, auch über einen erweiterten Untersuchungszeitraum erstrebenswert. So kann noch besser beurteilt werden, in welchem Ausmaß durch die operative Korrektur von Kraniosynostosen physiologisches Schädelwachstum erreicht werden kann und inwiefern über die Operation hinaus bestehende Formdefizite auf unzureichender chirurgischer Korrektur oder auf pathologischem Schädelwachstum basieren.

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema des standardisierten frontoorbitalen Advancements nach Mühling (Horch 1998).....	17
Abbildung 2: Die am dreidimensionalen Datensatz markierten medianen und bilateralen Weichteilreferenzpunkte in der Frontalebene.....	26
Abbildung 3: Die am dreidimensionalen Datensatz markierten Referenzpunkte im Halbprofil.....	27
Abbildung 4: Darstellung des Frontotemporalpunktes (frontotemporalpoint) und des Parietalpunktes (parietalpoint) im Halbprofil aus Martini et al. (2015).....	29
Abbildung 5: Darstellung des Frontalwinkels (frontal angle) und des rechten und linken Frontoparietalwinkels (frontoparietal angle right/ left) im Halbprofil aus Martini et al. (2015).....	32
Abbildung 6: Nasosagittalwinkel im Profil.....	33
Abbildung 7: Profilwinkel Nase zu Kinn im Profil.....	34
Abbildung 8: Nasofrontalwinkel I in der Frontalebene.....	35
Abbildung 9: Nasofrontalwinkel II in der Frontalebene.....	36
Abbildung 10: Nasofrontalwinkel III in der Frontalebene.....	37
Abbildung 11: Vorverlagerungsstrecke im Profil.....	38
Abbildung 12: Sagittalebene S (sagittal plane) und Horizontalebene H (horizontal plane) aus Martini et al. (2015).....	40
Abbildung 13: Zusammenfassende Darstellung des Frontalwinkels zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	43
Abbildung 14: Zusammenfassende Darstellung des rechten Frontoparietalwinkels zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	45
Abbildung 15: Zusammenfassende Darstellung des linken Frontoparietalwinkels zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	47
Abbildung 16: Zusammenfassende Darstellung des Frontoparietalwinkels der Plagiocephali zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten.....	50

Abbildung 17: Zusammenfassende Darstellung des Nasosagittalwinkels zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	52
Abbildung 18: Zusammenfassende Darstellung des Profilwinkels Nase zu Kinn zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	54
Abbildung 19: Zusammenfassende Darstellung des Nasofrontalwinkels I zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	56
Abbildung 20: Zusammenfassende Darstellung des Nasofrontalwinkels II zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	57
Abbildung 21: Zusammenfassende Darstellung des Nasofrontalwinkels III zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	58
Abbildung 22: Zusammenfassende Darstellung des Abstandes der Supraorbitalpunkte zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	60
Abbildung 23: Zusammenfassende Darstellung der rechten Augenbreite zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	62
Abbildung 24: Zusammenfassende Darstellung der linken Augenbreite zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	63
Abbildung 25: Zusammenfassende Darstellung der Augenbreite zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Plagiocephali	65
Abbildung 26: Zusammenfassende Darstellung des Abstandes der inneren Augenwinkel zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	66
Abbildung 27: Zusammenfassende Darstellung des Abstandes der äußeren Augenwinkel zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	68

Abbildung 28: Zusammenfassende Darstellung der Vorverlagerungsstrecke zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	70
Abbildung 29: Zusammenfassende Darstellung der maximalen Schädellänge zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	72
Abbildung 30: Zusammenfassende Darstellung der maximalen Schädelbreite zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	74
Abbildung 31: Zusammenfassende Darstellung des Cephalic Index zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	77
Abbildung 32: Zusammenfassende Darstellung der Schädelbasislänge rechts zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	79
Abbildung 33: Zusammenfassende Darstellung der Schädelbasislänge links zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	81
Abbildung 34: Zusammenfassende Darstellung der Schädelbasislänge zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Plagiocephali	83
Abbildung 35: Zusammenfassende Darstellung der Schädelbasisbreite zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	84
Abbildung 36: Zusammenfassende Darstellung der maximalen Circumferenz zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	86
Abbildung 37: Zusammenfassende Darstellung der sagittalen Circumferenz zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	89
Abbildung 38: Zusammenfassende Darstellung der transversalen Circumferenz zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten der Kraniosynostosen und der Normpopulation.....	91

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mediane Referenzpunkte und deren Definition	25
Tabelle 2: Bilaterale Referenzpunkte und deren Definition	25
Tabelle 3: Aus den bilateralen Referenzpunkten generierte Referenzpunkte aus Martini et al. (2015).....	28
Tabelle 4: Anguläre Messungen und deren Definition.....	31
Tabelle 5: Lineare Parameter und deren Definition.....	39
Tabelle 6: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Frontalwinkel....	132
Tabelle 7: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Frontalwinkel.....	133
Tabelle 8: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den rechten Frontoparietalwinkel	133
Tabelle 9: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den rechten Frontoparietalwinkel	134
Tabelle 10: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den linken Frontoparietalwinkel	135
Tabelle 11: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den linken Frontoparietalwinkel	136
Tabelle 12: Messwerte der 3D-Analyse für den Frontoparietalwinkel prä matur sten osiert, betroffene Seite der Plagiocephali	136
Tabelle 13: Messwerte der 3D-Analyse für den Frontoparietalwinkel der gesunden, nicht betroffenen Seite der Plagiocephali	136
Tabelle 14: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Nasosagittalwinkel	137
Tabelle 15: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Nasosagittalwinkel	138
Tabelle 16: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Profilwinkel Nase zu Kinn	139
Tabelle 17: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Profilwinkel Nase zu Kinn.....	140
Tabelle 18: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Nasofrontalwinkel I	140

Tabelle 19: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Nasofrontalwinkel I	141
Tabelle 20: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Nasofrontalwinkel II	141
Tabelle 21: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Nasofrontalwinkel II	142
Tabelle 22: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Nasofrontalwinkel III	143
Tabelle 23: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Nasofrontalwinkel III	144
Tabelle 24: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Abstand der Supraorbitalpunkte	144
Tabelle 25: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Abstand der Supraorbitalpunkte	145
Tabelle 26: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die rechte Augenbreite	146
Tabelle 27: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die rechte Augenbreite	147
Tabelle 28: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die linke Augenbreite	147
Tabelle 29: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die linke Augenbreite	148
Tabelle 30: Messwerte der 3D-Analyse für die Augenbreite der betroffenen Seite der Plagiocephali	148
Tabelle 31: Messwerte der 3D-Analyse für die Augenbreite der nicht betroffenen Seite der Plagiocephali	149
Tabelle 32: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Abstand der inneren Augenwinkel	149
Tabelle 33: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Abstand der inneren Augenwinkel	150
Tabelle 34: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Abstand der äußeren Augenwinkel	151

Tabelle 35: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Abstand der äußeren Augenwinkel.....	152
Tabelle 36: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die Vorverlagerungsstrecke	152
Tabelle 37: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die Vorverlagerungsstrecke	153
Tabelle 38: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die maximale Schädellänge	154
Tabelle 39: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die maximale Schädellänge	155
Tabelle 40: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die maximale Schädelbreite	155
Tabelle 41: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die maximale Schädelbreite	156
Tabelle 42: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Cephalic Index	157
Tabelle 43: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Cephalic Index ..	158
Tabelle 44: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die rechte Schädelbasislänge	158
Tabelle 45: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die rechte Schädelbasislänge	159
Tabelle 46: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die linke Schädelbasislänge	160
Tabelle 47: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die linke Schädelbasislänge.....	161
Tabelle 48: Messwerte der 3D-Analyse der betroffenen Seite der Plagiocephali für die Schädelbasislänge	161
Tabelle 49: Messwerte der 3D-Analyse der nicht betroffenen Seite der Plagiocephali für die Schädelbasislänge	161
Tabelle 50: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die Schädelbasisbreite	162
Tabelle 51: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die Schädelbasisbreite	163

Tabelle 52: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die maximale Circumferenz	163
Tabelle 53: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die maximale Circumferenz	164
Tabelle 54: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die sagittale Circumferenz.....	165
Tabelle 55: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die sagittale Circumferenz	166
Tabelle 56: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die transversale Circumferenz.....	166
Tabelle 57: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die transversale Circumferenz.....	167

8. Anhang

Tab. 6: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Frontalwinkel

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	12	8	21	15	3
	Mittelwert	128	146	146	143	147
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert					
	Untergrenze	125	143	144	141	145
	Obergrenze	131	149	147	146	150
	Median	129	146	145	144	148
	Varianz	22	14	10	23	1
	Standardabweichung	5	4	3	5	1
	Maximum	135	151	152	151	148
Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	16	4
	Mittelwert	147	146	145	145	145
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert					
	Untergrenze	144	142	142	143	140
	Obergrenze	150	150	148	147	149
	Median	148	145	144	145	145
	Varianz	55	41	43	16	7
	Standardabweichung	7	6	7	4	3
	Maximum	157	155	154	153	147
Scaphocephalus minimal invasiv	Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	152	148	148	141	
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert					
	Untergrenze	150	141	143	131	
	Obergrenze	154	154	153	151	
	Median	152	148	147	141	
	Varianz	4	1	28	17	
	Standardabweichung	2	1	5	4	
	Maximum	149	147	141	137	
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	7	4	2
	Mittelwert	147	150	149	149	152
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert					
	Untergrenze	143	147	144	140	145
	Obergrenze	147	150	149	158	158
	Median	148	150	150	150	152
	Varianz	23	14	24	32	1
	Standardabweichung	5	4	5	6	1
	Maximum	139	147	141	141	151

Brachycephalus	Fallzahl		2		2	2	2
	Mittelwert		148		147	147	150
	95 %	Untergrenze	135		109	134	143
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	161		185	160
	Median		148		147	147	150
	Varianz		2		18	2	1
	Standardabweichung		1		4	1	1
	Minimum		147		144	146	149
	Maximum		149		150	148	150

Tab. 7: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Frontalwinkel

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte			
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat	
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4	
	Mittelwert	152	151	153	
	95 %	Untergrenze	150	149	147
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	154	153
	Median	152	152	152	
	Varianz	25	18	15	
	Standardabweichung	5	4	4	
	Minimum	140	142	151	
	Maximum	160	158	159	

Tab. 8: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den rechten Frontoparietalwinkel

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Trigonocephalus	Fallzahl	13	8	22	15	4	
	Mittelwert	148	137	137	139	136	
	95 %	Untergrenze	144	134	136	138	131
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	151	140	139	141
	Median	148	136	138	140	135	
	Varianz	39	13	11	5	9	
	Standardabweichung	6	4	3	2	3	
	Minimum	134	132	129	135	133	
	Maximum	156	144	142	143	139	
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	17	4
Mittelwert		129	132	133	133	134	
95 %		Untergrenze	127	129	131	131	130
Konfidenzintervall für Mittelwert			Obergrenze	130	134	135	134

	Median		128	131	133	133	134
	Varianz		21	18	22	10	7
	Standardabweichung		5	4	5	3	3
	Minimum		121	126	124	128	131
	Maximum		139	140	140	137	137
Scaphocephalus minimal invasiv	Fallzahl		8	2	7	3	
	Mittelwert		126	127	130	132	
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	123	114	127	118	
		Obergrenze	129	140	134	147	
	Median		126	127	132	134	
	Varianz		12	2	14	35	
	Standardabweichung		3	1	4	6	
	Minimum		120	126	125	126	
	Maximum		132	128	134	137	

Tab. 9: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den rechten Frontoparietalwinkel

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	135	136	134
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 134	134	130
		Obergrenze 137	137	138
	Median	135	136	134
	Varianz	17	10	6
	Standardabweichung	4	3	2
	Minimum	128	130	131
	Maximum	146	142	137

Tab. 10: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den linken Frontoparietalwinkel

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Trigonocephalus	Fallzahl	15	8	22	16	3	
	Mittelwert	148	138	137	139	137	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	146	134	136	137	132
	Mittelwert		Obergrenze	151	142	139	141
	Median	148	138	138	138	137	
	Varianz	21	22	12	13	3	
	Standardabweichung	5	5	3	4	2	
	Minimum	141	132	130	135	135	
	Maximum	158	147	144	146	139	
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	17	4
Mittelwert		130	133	134	135	137	
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	128	130	133	134	135
Mittelwert			Obergrenze	132	135	136	137
Median		129	132	134	135	138	
Varianz		20	15	11	12	2	
Standardabweichung		4	4	3	3	1	
Minimum		123	128	128	129	136	
Maximum		143	139	140	142	139	
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	127	133	129	130		
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	124	119	126	123	
	Mittelwert		Obergrenze	129	147	132	137
	Median	126	133	129	131		
	Varianz	10	2	10	8		
	Standardabweichung	3	2	3	3		
	Minimum	123	132	126	127		
	Maximum	131	134	135	132		
	Brachycephalus	Fallzahl	2		2	2	2
Mittelwert		141		141	141	138	
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	128		134	127	130
Mittelwert			Obergrenze	154		147	156
Median		141		141	141	138	
Varianz		2		1	3	1	
Standardabweichung		1		1	2	1	
Minimum		140		140	140	138	
Maximum		142		141	142	139	

Tab. 11: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den linken Frontoparietalwinkel

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	135	136	135
	95 % Untergrenze	134	134	126
	Konfidenzintervall für Mittelwert Obergrenze	136	138	143
	Median	135	136	137
	Varianz	8	16	28
	Standardabweichung	3	4	5
	Minimum	128	129	127
	Maximum	141	143	138

Tab. 12: Messwerte der 3D-Analyse für den Frontoparietalwinkel prä-matur stenosierte, betroffene Seite der Plagiocephali

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	7	4	2
	Mittelwert	146	140	140	143	139
	95 % Untergrenze	143	134	135	132	107
	Konfidenzintervall für Mittelwert Obergrenze	150	145	145	154	170
	Median	145	138	139	140	139
	Varianz	18	27	28	48	13
	Standardabweichung	4	5	5	7	4
	Minimum	142	135	132	138	136
	Maximum	152	148	149	153	141

Tab. 13: Messwerte der 3D-Analyse für den Frontoparietalwinkel der gesunden, nicht betroffenen Seite der Plagiocephali

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	7	4	2
	Mittelwert	130	133	133	133	131
	95 % Untergrenze	127	128	128	124	124
	Konfidenzintervall für Mittelwert Obergrenze	133	137	138	142	137
	Median	129	131	131	134	131
	Varianz	16	15	32	35	1
	Standardabweichung	4	4	6	6	1
	Minimum	126	129	127	125	130
	Maximum	137	139	144	139	131

Tab. 14: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Nasosagittalwinkel

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	21	15	5	
	Mittelwert	139	140	140	143	145	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	137	134	137	139	135
	Mittelwert		Obergrenze	141	146	143	146
	Median	139		142	141	142	145
	Varianz	31	51	40	35	61	
	Standardabweichung	6	7	6	6	8	
	Minimum	125	125	126	134	137	
	Maximum	148	147	148	153	156	
Scaphocephalus	Fallzahl	25	12	21	18	4	
	Mittelwert	137	139	140	138	136	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	135	135	138	135	127
	Mittelwert		Obergrenze	139	142	142	141
	Median	138		138	141	139	137
	Varianz	21	23	22	31	29	
	Standardabweichung	5	5	5	6	5	
	Minimum	130	133	130	128	129	
	Maximum	146	148	148	149	140	
Scaphocephalus minimal invasiv	Fallzahl	8	2	7	3		
	Mittelwert	136	135	137	138		
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	132	95	131	126	
	Mittelwert		Obergrenze	140	175	143	151
	Median	136		135	136	137	
	Varianz	23	20	41	26		
	Standardabweichung	5	4	6	5		
	Minimum	128	132	128	134		
	Maximum	141	138	146	144		
Plagiocephalus	Fallzahl	9	7	6	4	3	
	Mittelwert	139	140	143	143	147	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	132	132	135	129	137
	Mittelwert		Obergrenze	146	149	151	156
	Median	140		142	142	140	145
	Varianz	88	88	59	70	14	
	Standardabweichung	9	9	8	8	4	
	Minimum	120	121	136	136	144	
	Maximum	152	150	158	155	151	
Brachycephalus	Fallzahl	2		2	2	2	
	Mittelwert	145		141	139	135	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	90		71	75	-12
	Mittelwert		Obergrenze	201		210	203

Median	145	141	139	135
Varianz	38	61	50	265
Standardabweichung	6	8	7	16
Minimum	141	135	134	123
Maximum	150	146	144	146

Tab. 15: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Nasosagittalwinkel

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	140	143	146
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert			
	Untergrenze	139	140	143
	Obergrenze	142	145	149
	Median	141	142	146
	Varianz	23	30	5
	Standardabweichung	5	5	2
	Minimum	131	133	144
	Maximum	152	154	149

Tab. 16: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Profilwinkel Nase zu Kinn

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Trigonocephalus	Fallzahl	24	5	18	15	4	
	Mittelwert	132	133	132	135	130	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	130	128	130	131	123
	Mittelwert		Obergrenze	134	138	134	138
	Median	131		135	132	135	130
	Varianz	29	16	11	38	20	
	Standardabweichung	5	4	3	6	5	
	Minimum	124	127	128	125	125	
	Maximum	144	137	139	146	135	
	Scaphocephalus	Fallzahl	22	10	17	14	4
Mittelwert		132	133	133	133	132	
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	130	130	132	130	126
Mittelwert			Obergrenze	134	136	135	135
Median		133		132	133	134	132
Varianz		25	21	11	18	17	
Standardabweichung		5	5	3	4	4	
Minimum		124	127	124	125	129	
Maximum		142	140	138	138	138	
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	6	2	4		
	Mittelwert	126	127	130			
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	124	69	129		
	Mittelwert		Obergrenze	128	184	131	
	Median	126		127	130		
	Varianz	5	41	1			
	Standardabweichung	2	6	1			
	Minimum	123	122	129			
	Maximum	129	131	131			
	Plagiocephalus	Fallzahl	9	7	6	4	3
Mittelwert		132	133	136	131	134	
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	128	128	130	126	126
Mittelwert			Obergrenze	136	139	141	136
Median		131		135	137	130	135
Varianz		26	32	24	11	10	
Standardabweichung		5	6	5	3	3	
Minimum		124	127	127	128	130	
Maximum		140	143	141	135	136	

Tab. 17: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Profilwinkel Nase zu Kinn

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	22	21	4
	Mittelwert	132	133	136
	95 % Untergrenze	129	132	130
	Konfidenzintervall für Mittelwert Obergrenze	135	135	142
	Median	131	134	136
	Varianz	34	7	14
	Standardabweichung	6	3	4
	Minimum	125	129	132
	Maximum	143	139	139

Tab. 18: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Nasofrontalwinkel I

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	22	16	5
	Mittelwert	0	0	0	0	0
	95 % Untergrenze	0	0	0	0	-1
	Konfidenzintervall für Mittelwert Obergrenze	0	1	0	0	0
	Median	0	1	0	0	0
	Varianz	0	0	0	0	0
	Standardabweichung	1	1	0	0	1
	Minimum	-1	-1	-1	0	-1
	Maximum	1	1	1	1	0
	Scaphocephalus	Fallzahl	27	10	19	18
Mittelwert		0	0	0	0	0
95 % Untergrenze		0	0	0	0	0
Konfidenzintervall für Mittelwert Obergrenze		0	1	0	0	0
Median		0	0	0	0	0
Varianz		0	0	0	0	0
Standardabweichung		0	0	0	0	0
Minimum		-1	0	-1	-1	0
Maximum		1	1	1	0	0
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8		6	
	Mittelwert	0		0		
	95 % Untergrenze	-1		-1		
	Konfidenzintervall für Mittelwert Obergrenze	0		0		
	Median	0		0		
	Varianz	0		0		
	Standardabweichung	1		0		
	Minimum	-1		-1		

	Maximum	1		0		
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3
	Mittelwert	2	2	1	0	0
	95 %	Untergrenze	0	0	0	-3
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	4	3	2
	Median	2		2	1	-1
	Varianz	5	2	2	4	0
	Standardabweichung	2	1	1	2	1
	Minimum	-2	0	-1	-1	0
	Maximum	5	3	3	3	1

Tab. 19: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Nasofrontalwinkel I

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	0	0	-1
	95 %	Untergrenze	0	0
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	0
	Median	0		0
	Varianz	1	1	0
	Standardabweichung	1	1	1
	Minimum	-1	-2	-1
	Maximum	2	2	0

Tab. 20: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Nasofrontalwinkel II

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	22	15	5	
	Mittelwert	0	0	0	0	0	
	95 %	Untergrenze	0	-1	0	0	-2
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	0	1	0	0
	Median	0		0	0	0	-1
	Varianz	1	0	1	0	1	
	Standardabweichung	1	1	1	1	1	
	Minimum	-2	-1	-2	-1	-1	
	Maximum	2	1	1	1	1	
	Scaphocephalus	Fallzahl	26	12	21	18	4
Mittelwert		0	0	0	0	0	
95 %		Untergrenze	0	-1	0	-1	-1
Konfidenzintervall für Mittelwert			Obergrenze	0	1	0	0
Median		0		0	0	0	0
Varianz		1	1	1	1	0	
Standardabweichung		1	1	1	1	1	
Minimum		-1	-1	-1	-2	-1	

	Maximum	1	1	1	1	0
Scaphocephalus minimal invasiv	Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	0	0	0	0	
	95 % Konfidenzintervall für					
	Untergrenze	-1	-4	-1	-1	
	Obergrenze	1	5	1	2	
	Mittelwert	0	0	0	0	
	Median	1	0	1	0	
	Varianz	1	1	1	1	
	Standardabweichung	-1	0	-1	0	
	Minimum	1	1	1	1	
Maximum	1	1	1	1		
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3
	Mittelwert	2	1	0	0	0
	95 % Konfidenzintervall für					
	Untergrenze	0	-1	-1	-3	-1
	Obergrenze	3	3	1	3	2
	Mittelwert	2	1	0	1	0
	Median	3	2	1	4	0
	Varianz	2	1	1	2	1
	Standardabweichung	-1	-1	-2	-3	0
	Minimum	5	3	1	1	1
Maximum	5	3	1	1	1	
Brachycephalus	Fallzahl	2		2	2	2
	Mittelwert	-1		0	0	1
	95 % Konfidenzintervall für					
	Untergrenze	-7		-5	-3	-2
	Obergrenze	6		6	3	4
	Mittelwert	-1		0	0	1
	Median	1		0	0	0
	Varianz	1		1	0	0
	Standardabweichung	-1		0	-1	1
	Minimum	0		1	0	1
Maximum	0		1	0	1	

Tab. 21: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Nasofrontalwinkel II

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	0	0	-1
	95 % Konfidenzintervall			
	Untergrenze	0	-1	-2
	Obergrenze	0	1	0
	für Mittelwert	0	1	0
	Median	0	0	-1
	Varianz	1	1	1
	Standardabweichung	1	1	1
	Minimum	-2	-2	-2
Maximum	2	2	0	

Tab. 22: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Nasofrontalwinkel III

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Trigonocephalus	Fallzahl	24	5	19	16	4	
	Mittelwert	0	0	0	0	0	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	0	-1	0	0	0
	Mittelwert		Obergrenze	0	2	0	0
	Median	0		0	0	0	0
	Varianz	1	1	0	0	0	
	Standardabweichung	1	1	0	1	0	
	Minimum	-1	-1	-1	-1	0	
	Maximum	1	2	1	1	0	
	Scaphocephalus	Fallzahl	24	10	17	14	4
Mittelwert		0	0	0	0	0	
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	0	-1	0	-1	0
Mittelwert			Obergrenze	0	0	0	0
Median		0		0	0	0	0
Varianz		1	1	0	0	0	
Standardabweichung		1	1	1	0	0	
Minimum		-1	-1	-1	-1	0	
Maximum		2	1	1	0	1	
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	6	2	4		
	Mittelwert	0	1	-1			
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	-1	-6	-2		
	Mittelwert		Obergrenze	1	7	1	
	Median	0		1	0		
	Varianz	1	1	1			
	Standardabweichung	1	1	1			
	Minimum	-1	0	-2			
	Maximum	1	1	0			
	Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3
Mittelwert		1	0	-1	0	-1	
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	-2	-1	-2	-2	-2
Mittelwert			Obergrenze	4	1	1	2
Median		0		0	-1	1	-1
Varianz		13	1	2	2	0	
Standardabweichung		4	1	1	1	1	
Minimum		-4	-1	-3	-2	-1	
Maximum		7	1	1	1	0	

Tab. 23: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Nasofrontalwinkel III

Patientengruppe	Messwerte (Grad)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	22	21	4
	Mittelwert	0	0	-2
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert			
	Untergrenze	-1	-1	-2
	Obergrenze	0	0	-1
	Median	0	0	-2
	Varianz	1	1	0
	Standardabweichung	1	1	1
	Minimum	-2	-2	-2
	Maximum	1	2	-1

Tab. 24: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Abstand der Supraorbitalpunkte

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	49	50	52	52	54
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert					
	Untergrenze	47	48	51	50	51
	Obergrenze	50	53	54	54	57
	Median	49	51	53	51	53
	Varianz	11	9	12	19	7
	Standardabweichung	3	3	3	4	3
	Minimum	42	45	46	46	51
	Maximum	56	54	58	60	57
Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18	4
	Mittelwert	50	52	51	52	52
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert					
	Untergrenze	49	50	50	50	47
	Obergrenze	51	54	53	54	56
	Median	50	52	52	52	51
	Varianz	10	7	10	12	6
	Standardabweichung	3	3	3	3	3
	Minimum	44	49	46	44	49
	Maximum	56	56	59	58	55
Scaphocephalus minimal invasiv	Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	47	53	52	52	
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert					
	Untergrenze	43	-11	49	42	
	Obergrenze	51	117	55	62	
	Median	47	53	52	50	
	Varianz	21	50	10	16	
	Standardabweichung	5	7	3	4	
	Minimum	40	48	48	50	

	Maximum	54	58	56	57		
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3	
	Mittelwert	50	53	54	54	54	
	95 %	Untergrenze	46	48	52	51	47
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	54	58	57	58
	Median	50		52	55	54	53
	Varianz	19	21	6	5	7	
	Standardabweichung	4	5	3	2	3	
	Minimum	45	48	51	52	52	
	Maximum	57	61	58	57	57	
	Brachycephalus	Fallzahl	2		2	2	2
Mittelwert		50		51	50	50	
95 %		Untergrenze	43	38	37	41	
Konfidenzintervall für Mittelwert			Obergrenze	56	64	63	58
Median		50		51	50	50	
Varianz		1	2	2	1		
Standardabweichung		1	1	1	1		
Minimum		49	50	49	49		
Maximum		50	52	51	50		

Tab. 25: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Abstand der Supraorbitalpunkte

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte			
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat	
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4	
	Mittelwert	51	53	54	
	95 %	Untergrenze	49	51	51
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	52	54
	Median	50		53	55
	Varianz	8	13	4	
	Standardabweichung	3	4	2	
	Minimum	45	47	51	
	Maximum	57	60	55	

Tab. 26: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die rechte Augenbreite

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	23	24	24	25	25
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	22	23	23	23
	Mittelwert		Obergrenze	24	25	25
	Median	23		24	24	25
	Varianz	3	1	2	4	3
	Standardabweichung	2	1	2	2	2
	Minimum	19	23	21	21	22
	Maximum	25	25	27	28	26
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18
Mittelwert		22	24	24	24	25
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	22	23	23	23
Mittelwert			Obergrenze	23	25	24
Median		22		23	24	24
Varianz		2	3	1	2	0
Standardabweichung		1	2	1	1	1
Minimum		20	22	21	21	24
Maximum		25	28	25	26	25
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8	2	7	3
	Mittelwert	21	23	23	23	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	20	16	22	21
	Mittelwert		Obergrenze	22	29	24
	Median	21		23	23	23
	Varianz	2	1	1	0	
	Standardabweichung	1	1	1	1	
	Minimum	18	22	22	22	
	Maximum	22	23	24	23	
	Brachycephalus	Fallzahl	2		2	2
Mittelwert		22		23	25	25
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	20		16	5
Mittelwert			Obergrenze	23		29
Median		22			23	25
Varianz		0		1	5	1
Standardabweichung		0		1	2	1
Minimum		22		22	23	24
Maximum		22		23	26	25

Tab. 27: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die rechte Augenbreite

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	22	22	23
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 22	22	21
		Obergrenze 22	23	25
	Median	22	22	23
	Varianz	1	1	1
	Standardabweichung	1	1	1
	Minimum	20	21	22
	Maximum	24	24	24

Tab. 28: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die linke Augenbreite

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	23	24	24	24	25
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 22	23	23	24	23
		Obergrenze 23	25	24	25	27
	Median	23	24	24	24	25
	Varianz	3	2	2	3	2
	Standardabweichung	2	1	1	2	1
	Minimum	18	22	21	21	23
	Maximum	26	26	26	28	27
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18
Mittelwert		22	24	23	24	25
95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Untergrenze 22	23	23	23	24
		Obergrenze 23	25	24	24	26
Median		22	24	24	24	25
Varianz		2	2	2	2	1
Standardabweichung		1	1	1	1	1
Minimum		20	22	21	21	24
Maximum		25	27	25	26	26
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8	2	7	3
	Mittelwert	20	23	23	23	
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 19	16	22	20	
		Obergrenze 21	29	23	27	
	Median	20	23	22	23	
	Varianz	3	1	1	2	
	Standardabweichung	2	1	1	1	
	Minimum	17	22	22	22	
	Maximum	22	23	24	25	

Brachycephalus	Fallzahl		2		2	2	2
	Mittelwert		22		22	24	24
	95 %	Untergrenze	7		15	4	11
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	38		28	43
	Median		22		22	24	24
	Varianz		3		1	5	2
	Standardabweichung		2		1	2	1
	Minimum		21		21	22	23
	Maximum		23		22	25	25

Tab. 29: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die linke Augenbreite

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte			
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat	
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4	
	Mittelwert	22	22	24	
	95 %	Untergrenze	21	22	23
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	22	23
	Median	22	23	24	
	Varianz	2	2	0	
	Standardabweichung	1	1	1	
	Minimum	20	20	23	
	Maximum	25	24	24	

Tab. 30: Messwerte der 3D-Analyse für die Augenbreite der betroffenen Seite der Plagiocephali

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	4	
	Mittelwert	23	24	25	25	25	
	95 %	Untergrenze	21	22	23	23	22
	Konfidenzintervall für Mittelwert		Obergrenze	25	25	26	27
	Median	23	24	25	25	25	
	Varianz	4	3	1	2	2	
	Standardabweichung	2	2	1	1	1	
	Minimum	21	21	23	24	23	
	Maximum	27	26	26	27	26	

Tab. 31: Messwerte der 3D-Analyse für die Augenbreite der nicht betroffenen Seite der Plagiocephali

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Plagiocephalus	Fallzahl	7		7	6	3
	Mittelwert	23		24	25	24
	95 % Konfidenzintervall für	21		22	23	22
	Untergrenze					
	Mittelwert	25		25	26	26
	Obergrenze					
	Median	22		23	25	24
	Varianz	4		4	2	1
	Standardabweichung	2		2	1	1
	Minimum	21		21	23	23
Maximum	27		27	27	25	

Tab. 32: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Abstand der inneren Augenwinkel

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	26	27	29	28	30
	95 % Konfidenzintervall für	25	25	28	26	27
	Untergrenze					
	Mittelwert	27	29	30	30	33
	Obergrenze					
	Median	26	28	30	27	30
	Varianz	8	5	8	12	6
	Standardabweichung	3	2	3	3	2
	Minimum	21	23	23	24	26
Maximum	32	30	34	36	32	
Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18	4
	Mittelwert	28	28	28	28	29
	95 % Konfidenzintervall für	27	27	27	27	26
	Untergrenze					
	Mittelwert	29	29	29	29	31
	Obergrenze					
	Median	28	28	28	28	29
	Varianz	6	2	5	6	3
	Standardabweichung	2	1	2	2	2
	Minimum	24	26	23	24	27
Maximum	32	31	33	34	30	
Scaphocephalus minimal invasiv	Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	27	30	29	29	
	95 % Konfidenzintervall für	24	-21	27	21	
	Untergrenze					
	Mittelwert	30	81	31	37	
	Obergrenze					
Median	27	30	29	29		
Varianz	12	32	6	10		

	Standardabweichung	3	6	3	3	
	Minimum	22	26	25	26	
	Maximum	32	34	32	32	
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3
	Mittelwert	27	30	30	29	29
	95 %					
	Konfidenzintervall für					
	Mittelwert					
	Untergrenze	24	26	27	26	20
	Obergrenze	30	33	33	33	38
	Median	27	30	31	29	27
	Varianz	9	10	7	5	12
	Standardabweichung	3	3	3	2	3
Brachycephalus	Minimum	23	26	26	27	27
	Maximum	33	34	32	32	33
	Fallzahl	2		2	2	2
	Mittelwert	28		29	27	26
	95 %					
	Konfidenzintervall für					
	Mittelwert					
	Untergrenze	18		22	20	19
	Obergrenze	38		35	33	32
	Median	28		29	27	26
Varianz	1		1	1	1	
Standardabweichung	1		1	1	1	
Minimum	27		28	26	25	
Maximum	29		29	27	26	

Tab. 33: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Abstand der inneren Augenwinkel

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	24	21	4
	Mittelwert	29	32	37
	95 %			
	Konfidenzintervall			
	für Mittelwert			
	Untergrenze	28	29	21
	Obergrenze	30	34	53
	Median	29	31	32
	Varianz	8	24	104
	Standardabweichung	3	5	10
Minimum	24	25	31	
Maximum	35	48	52	

Tab. 34: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Abstand der äußeren Augenwinkel

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5	
	Mittelwert	70	73	74	75	77	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	68	70	73	72	72
	Mittelwert		Obergrenze	71	75	76	77
	Median	71		74	75	75	77
	Varianz	16	8	16	24	12	
	Standardabweichung	4	3	4	5	4	
	Minimum	62	67	67	66	71	
	Maximum	77	75	82	82	80	
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18	4
Mittelwert		71	74	73	74	76	
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	69	72	72	72	72
Mittelwert			Obergrenze	72	76	75	76
Median		71		74	73	76	76
Varianz		17	10	12	15	4	
Standardabweichung		4	3	3	4	2	
Minimum		63	70	67	66	73	
Maximum		79	81	81	80	77	
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	67	74	73	74		
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	62	16	70	63	
	Mittelwert		Obergrenze	71	131	76	85
	Median	67		74	73	72	
	Varianz	33	41	10	19		
	Standardabweichung	6	6	3	4		
	Minimum	57	69	70	71		
	Maximum	75	78	78	79		
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3	
	Mittelwert	71	75	77	59	77	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	67	69	74	5	74
	Mittelwert		Obergrenze	75	81	80	113
	Median	71		74	77	75	77
	Varianz	23	33	6	1146	2	
	Standardabweichung	5	6	3	34	2	
	Minimum	66	70	74	8	76	
	Maximum	78	85	81	77	79	
Brachycephalus	Fallzahl	2		2	2	2	
	Mittelwert	71		72	74	73	
	Untergrenze	46		47	36	48	

	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Obergrenze	96		97	112	98
	Median		71		72	74	73
	Varianz		8		8	18	8
	Standardabweichung		3		3	4	3
	Minimum		69		70	71	71
	Maximum		73		74	77	75

Tab. 35: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Abstand der äußeren Augenwinkel

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	72	73	71
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 71	70	50
		Obergrenze 73	76	92
	Median	72	74	77
	Varianz	10	45	174
	Standardabweichung	3	7	13
	Minimum	66	49	51
	Maximum	79	81	78

Tab. 36: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die Vorverlagerungsstrecke

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	3	3	4	3	8
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 3	2	3	2	2
		Obergrenze 4	5	6	4	14
	Median	3	3	4	3	7
	Varianz	4	3	13	3	22
	Standardabweichung	2	2	4	2	5
	Minimum	1	1	1	1	2
	Maximum	8	6	18	7	14
	Scaphocephalus	Fallzahl	27	10	21	18
Mittelwert		2	2	3	4	4
95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Untergrenze 2	1	2	3	2
		Obergrenze 3	3	4	5	7
Median		2	2	2	4	4
Varianz		2	2	3	4	3
Standardabweichung		2	1	2	2	2

	Minimum	0	1	1	1	3
	Maximum	7	5	7	7	6
Scaphocephalus minimal invasiv	Fallzahl	8	2	6	2	
	Mittelwert	4	6	3	4	
	95 % Konfidenzintervall für	2	-28	1	-13	
	Mittelwert	5	39	5	20	
	Median	3	6	2	4	
	Varianz	4	14	4	3	
	Standardabweichung	2	4	2	2	
	Minimum	1	3	1	3	
	Maximum	7	8	6	5	
	Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4
Mittelwert		7	5	5	7	11
95 % Konfidenzintervall für		6	4	3	4	-8
Mittelwert		9	7	7	10	30
Median		7	5	5	7	7
Varianz		3	2	3	4	59
Standardabweichung		2	1	2	2	8
Minimum		5	4	2	5	6
Maximum		10	7	7	9	20
Brachycephalus		Fallzahl	2		2	2
	Mittelwert	5		1	4	6
	95 % Konfidenzintervall für	-10		-10	-29	-5
	Mittelwert	19		13	37	16
	Median	5		1	4	6
	Varianz	3		2	14	1
	Standardabweichung	2		1	4	1
	Minimum	4		1	2	5
	Maximum	6		2	7	6

Tab. 37: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die Vorverlagerungsstrecke

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	4	2	2
	95 % Konfidenzintervall für	3	2	1
	Mittelwert	6	2	3
	Median	4	2	2
	Varianz	8	1	0
	Standardabweichung	3	1	1
	Minimum	1	1	1
	Maximum	13	4	3

Tab. 38: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die maximale Schädel­länge

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	152	159	161	164	166
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	147	149	156	158	162
	Untergrenze					
	Obergrenze	156	170	165	169	169
	Median	148	154	160	164	166
	Varianz	136	161	123	113	10
	Standardabweichung	12	13	11	11	3
	Minimum	129	146	139	140	162
	Maximum	178	176	186	181	170
Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18	4
	Mittelwert	160	165	169	173	173
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	149	158	166	169	164
	Untergrenze					
	Obergrenze	171	172	173	178	182
	Median	167	169	169	176	171
	Varianz	841	120	69	95	33
	Standardabweichung	29	11	8	10	6
	Minimum	16	148	149	153	169
	Maximum	177	181	181	186	182
Scaphocephalus minimal invasiv	Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	151	153	164	167	
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	147	75	160	147	
	Untergrenze					
	Obergrenze	156	231	168	188	
	Median	152	153	164	170	
	Varianz	28	76	17	68	
	Standardabweichung	5	9	4	8	
	Minimum	141	147	159	158	
Maximum	158	160	171	174		
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3
	Mittelwert	144	151	152	155	159
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	136	141	145	139	142
	Untergrenze					
	Obergrenze	152	161	160	170	176
	Median	145	151	154	155	162
	Varianz	98	95	54	97	46
	Standardabweichung	10	10	7	10	7
	Minimum	127	139	143	145	151
Maximum	154	165	164	165	163	
Brachycephalus	Fallzahl	2		2	2	2
	Mittelwert	126		138	146	146
	Untergrenze	107		52	67	59

	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Obergrenze	145		224	225	232
	Median		126		138	146	146
	Varianz		5		91	78	92
	Standardabweichung		2		10	9	10
	Minimum		124		132	140	139
	Maximum		127		145	152	153

Tab. 39: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die maximale Schädelgröße

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	139	144	153
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 137	141	144
		Obergrenze 141	146	163
	Median	139	143	155
	Varianz	22	42	37
	Standardabweichung	5	7	6
	Minimum	129	131	145
	Maximum	147	160	158

Tab. 40: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die maximale Schädelbreite

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	130	135	138	141	141
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 128	129	135	138	136
		Obergrenze 133	141	141	144	146
	Median	130	134	139	142	140
	Varianz	50	57	41	38	17
	Standardabweichung	7	8	6	6	4
	Minimum	112	126	122	127	137
	Maximum	142	149	147	150	147
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18
Mittelwert		117	128	130	133	138
95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Untergrenze 115	125	128	130	131
		Obergrenze 119	132	133	136	145
Median		117	129	130	134	139
Varianz		26	24	33	33	19
Standardabweichung		5	5	6	6	4
Minimum		106	120	121	120	133

	Maximum	126	136	142	145	143	
Scaphocephalus minimal invasiv	Fallzahl	8	2	7	3		
	Mittelwert	108	122	125	121		
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	102	68	119	109	
	Mittelwert		Obergrenze	113	176	131	134
	Median	106		122	123	120	
	Varianz	39	36	38	26		
	Standardabweichung	6	6	6	5		
	Minimum	101	118	117	117		
	Maximum	121	126	132	127		
	Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3
Mittelwert		130	138	139	142	138	
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	123	125	131	130	127
Mittelwert			Obergrenze	137	152	147	154
Median		128		134	140	142	137
Varianz		71	164	59	57	18	
Standardabweichung		8	13	8	8	4	
Minimum		118	125	128	134	134	
Maximum		143	160	146	151	142	
Brachycephalus		Fallzahl	2		2	2	2
	Mittelwert	121		130	134	136	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	102	98	64	87	
	Mittelwert		Obergrenze	139	163	204	184
	Median	121		130	134	136	
	Varianz	4	13	60	29		
	Standardabweichung	2	4	8	5		
	Minimum	119	128	129	132		
	Maximum	122	133	140	139		

Tab. 41: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die maximale Schädelbreite

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte			
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat	
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4	
	Mittelwert	131	136	142	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	129	133	129
	Mittelwert		Obergrenze	132	138
	Median	131		138	143
	Varianz	21	29	59	
	Standardabweichung	5	5	8	
	Minimum	121	124	131	
	Maximum	139	145	150	

Tab. 42: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für den Cephalic Index

Patientengruppe	Messwerte (keine Einheit)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5	
	Mittelwert	86	85	89	87	85	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	84	80	83	84	82
	Mittelwert		Obergrenze	88	91	95	89
	Median	87		86	88	88	86
	Varianz	32	42	187	24	4	
	Standardabweichung	6	6	14	5	2	
	Minimum	74	76	74	75	83	
	Maximum	95	95	146	92	87	
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18	4
Mittelwert		71	78	77	77	80	
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	69	74	75	74	74
Mittelwert			Obergrenze	72	82	79	79
Median		70		78	76	76	79
Varianz		15	37	22	21	14	
Standardabweichung		4	6	5	5	4	
Minimum		64	68	67	69	76	
Maximum		83	90	88	87	85	
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	71	80	76	72		
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	66	4	73	65	
	Mittelwert		Obergrenze	77	155	79	80
	Median	71		80	76	74	
	Varianz	41	71	12	9		
	Standardabweichung	6	8	3	3		
	Minimum	64	74	73	69		
	Maximum	86	86	82	74		
	Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3
Mittelwert		91	92	91	92	87	
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	84	82	83	81	77
Mittelwert			Obergrenze	98	102	100	103
Median		89		89	93	92	87
Varianz		70	94	62	47	17	
Standardabweichung		8	10	8	7	4	
Minimum		83	82	82	84	83	
Maximum		108	105	102	101	91	
Brachycephalus		Fallzahl			2	2	2
	Mittelwert			94	92	93	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze		59	90	71	
	Mittelwert		Obergrenze		130	94	115

Median			94	92	93
Varianz			16	0	6
Standardabweichung			4	0	2
Minimum			92	92	91
Maximum			97	92	95

Tab. 43: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für den Cephalic Index

Patientengruppe	Messwerte (keine Einheit)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	24	21	4
	Mittelwert	95	95	93
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 93	92	81
		Obergrenze 96	98	104
	Median	94	95	94
	Varianz	18	42	53
	Standardabweichung	4	6	7
	Minimum	87	84	83
	Maximum	102	105	99

Tab. 44: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die rechte Schädelbasislänge

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	65	66	69	71	71
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 62	61	66	68	64
		Obergrenze 67	71	73	73	78
	Median	64	66	67	71	68
	Varianz	55	34	65	27	32
	Standardabweichung	7	6	8	5	6
	Minimum	48	57	57	61	66
	Maximum	83	74	91	79	78
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18
Mittelwert		66	69	71	69	72
95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Untergrenze 64	66	69	66	59
		Obergrenze 68	72	73	73	85
Median		67	68	71	70	75
Varianz		28	20	18	52	66
Standardabweichung		5	5	4	7	8
Minimum		55	64	65	51	60
Maximum		78	78	79	82	78
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8	2	7	3
	Mittelwert	63	73	71	73	

	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	60	37	67	65
		Obergrenze	67	109	75	82
	Median		62	73	70	75
	Varianz		16	16	18	12
	Standardabweichung		4	4	4	3
	Minimum		57	70	66	69
	Maximum		70	76	77	75
Brachycephalus	Fallzahl		2		2	2
	Mittelwert		56		65	62
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	7		8	47
		Obergrenze	106		122	78
	Median		56		65	62
	Varianz		30		41	3
	Standardabweichung		6		6	2
	Minimum		52		61	61
	Maximum		60		70	64

Tab. 45: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die rechte Schädelbasislänge

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	63	64	75
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	60	62
		Obergrenze	65	67
	Median	63	65	76
	Varianz	27	30	16
	Standardabweichung	5	5	4
	Minimum	51	57	70
	Maximum	72	76	79

Tab. 46: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die linke Schädelbasislänge

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5	
	Mittelwert	64	61	68	68	70	
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	62	54	65	65	63
	Obergrenze	67	67	70	72	78	
	Median	64	62	67	68	69	
	Varianz	50	60	24	44	34	
	Standardabweichung	7	8	5	7	6	
	Minimum	56	46	57	56	66	
	Maximum	83	70	79	79	80	
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18	4
Mittelwert		66	69	70	70	72	
95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Untergrenze	64	66	69	68	64
Obergrenze		68	72	72	72	80	
Median		66	69	70	69	74	
Varianz		33	26	15	22	23	
Standardabweichung		6	5	4	5	5	
Minimum		52	59	63	65	65	
Maximum		75	77	79	80	74	
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	62	71	68	72		
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	59	27	66	51	
	Obergrenze	65	114	70	92		
	Median	62	71	68	73		
	Varianz	14	23	4	65		
	Standardabweichung	4	5	2	8		
	Minimum	57	67	65	63		
	Maximum	69	74	71	79		
Brachycephalus	Fallzahl	2		2	2	2	
	Mittelwert	54		62	61	63	
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	14	8	45	32	
	Obergrenze	93	115	78	94		
	Median	54		62	61	63	
	Varianz	19		35	3	12	
	Standardabweichung	4		6	2	3	
	Minimum	51		57	60	61	
	Maximum	57		66	63	66	

Tab. 47: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die linke Schädelbasislänge

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	63	65	71
	95 % Untergrenze	61	63	67
	Konfidenzintervall für Mittelwert Obergrenze	65	67	75
	Median	63	66	71
	Varianz	21	20	6
	Standardabweichung	5	4	2
	Minimum	54	54	69
	Maximum	72	74	74

Tab. 48: Messwerte der 3D-Analyse der betroffenen Seite der Plagiocephali für die Schädelbasislänge

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3
	Mittelwert	57	59	61	61	62
	95 % Untergrenze	53	56	57	52	50
	Konfidenzintervall für Mittelwert Obergrenze	62	63	66	71	74
	Median	57	59	61	61	64
	Varianz	29	12	16	35	23
	Standardabweichung	5	3	4	6	5
	Minimum	48	56	57	55	56
	Maximum	64	64	67	69	65

Tab. 49: Messwerte der 3D-Analyse der nicht betroffenen Seite der Plagiocephali für die Schädelbasislänge

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3
	Mittelwert	65	70	71	74	65
	95 % Untergrenze	59	63	63	64	50
	Konfidenzintervall für Mittelwert Obergrenze	72	77	80	85	81
	Median	66	69	71	75	64
	Varianz	57	46	61	44	39
	Standardabweichung	8	7	8	7	6
	Minimum	52	61	59	66	60
	Maximum	75	81	81	82	72

Tab. 50: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die Schädelbasisbreite

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte					
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop	
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5	
	Mittelwert	114	116	115	120	122	
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	112	111	110	117	113
	Obergrenze	116	120	121	123	130	
	Median	113	115	116	119	119	
	Varianz	36	26	151	33	47	
	Standardabweichung	6	5	12	6	7	
	Minimum	106	109	68	111	115	
	Maximum	131	125	130	130	131	
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18	4
Mittelwert		108	110	113	116	113	
95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Untergrenze	106	108	111	113	110
Obergrenze		110	113	116	119	116	
Median		110	111	113	116	113	
Varianz		25	19	29	35	3	
Standardabweichung		5	4	5	6	2	
Minimum		98	102	105	105	112	
Maximum		117	117	122	127	115	
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	103	115	113	112		
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	98	6	109	103	
	Obergrenze	108	224	117	121		
	Median	101	115	113	112		
	Varianz	35	148	17	13		
	Standardabweichung	6	12	4	4		
	Minimum	97	106	109	109		
	Maximum	114	123	121	116		
	Plagiocephalus	Fallzahl	8	5	6	4	3
Mittelwert		112	115	115	117	115	
95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Untergrenze	107	109	110	109	101
Obergrenze		116	121	120	126	130	
Median		111	113	114	117	115	
Varianz		29	25	23	28	32	
Standardabweichung		5	5	5	5	6	
Minimum		105	111	110	112	110	
Maximum		120	124	122	124	122	
Brachycephalus		Fallzahl	2		2	2	2
	Mittelwert	108		111	114	116	
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	78	109	43	62	
	Obergrenze	138		113	184	169	

Median	108	111	114	116
Varianz	11	0	62	35
Standardabweichung	3	0	8	6
Minimum	106	111	108	111
Maximum	111	111	119	120

Tab. 51: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die Schädelbasisbreite

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	113	116	117
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert			
	Untergrenze	111	114	104
	Obergrenze	115	119	130
	Median	113	115	117
	Varianz	18	30	63
	Standardabweichung	4	5	8
	Minimum	107	105	108
	Maximum	122	125	126

Tab. 52: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die maximale Circumferenz

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	446	473	462	487	489
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert					
	Untergrenze	436	453	428	475	479
	Obergrenze	455	494	495	500	500
	Median	444	469	477	490	490
	Varianz	589	595	6098	519	76
	Standardabweichung	24	24	78	23	9
	Minimum	389	441	120	420	477
	Maximum	499	510	529	521	500
Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18	4
	Mittelwert	454	465	478	485	498
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert					
	Untergrenze	446	454	470	476	475
	Obergrenze	462	477	486	494	521
	Median	456	461	478	488	495
	Varianz	440	337	305	327	208
	Standardabweichung	21	18	17	18	14
	Minimum	404	445	443	440	484
	Maximum	483	506	511	517	518
Scaphocephalus minimal invasiv	Fallzahl	8	2	7	3	
	Mittelwert	416	441	464	464	

	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	406	413	451	420
		Obergrenze	427	469	476	508
	Median		418	441	464	474
	Varianz		167	10	185	315
	Standardabweichung		13	3	14	18
	Minimum		395	438	446	444
	Maximum		432	443	486	475
Plagiocephalus	Fallzahl		8	6	6	4
	Mittelwert		444	466	470	482
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	426	440	451	447
		Obergrenze	462	491	489	517
	Median		445	464	468	488
	Varianz		457	607	340	485
	Standardabweichung		21	25	18	22
	Minimum		407	436	445	450
	Maximum		476	496	492	501
Brachycephalus	Fallzahl		2		2	2
	Mittelwert		414		422	447
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	-11		195	134
		Obergrenze	838		648	759
	Median		414		422	447
	Varianz		2231		634	1210
	Standardabweichung		47		25	35
	Minimum		380		404	422
	Maximum		447		439	471

Tab. 53: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die maximale Circumferenz

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	436	449	472
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	432	443
		Obergrenze	439	455
	Median	436	451	469
	Varianz	83	178	95
	Standardabweichung	9	13	10
	Minimum	421	422	464
	Maximum	453	474	485

Tab. 54: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die sagittale Circumferenz

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	256	284	276	279	282
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	249	268	269	269
	Mittelwert		Obergrenze	263	299	282
	Median	255		284	276	280
	Varianz	350	346	241	311	109
	Standardabweichung	19	19	16	18	10
	Minimum	221	248	241	231	271
	Maximum	298	307	301	299	298
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18
Mittelwert		274	277	280	295	297
95 % Konfidenzintervall für		Untergrenze	268	267	274	287
Mittelwert			Obergrenze	280	287	285
Median		273		281	281	297
Varianz		240	231	160	300	18
Standardabweichung		16	15	13	17	4
Minimum		232	256	258	262	292
Maximum		301	301	304	321	302
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8	2	7	3
	Mittelwert	246	254	269	275	
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	240	230	259	258
	Mittelwert		Obergrenze	253	278	279
	Median	248		254	268	278
	Varianz	58	7	117	47	
	Standardabweichung	8	3	11	7	
	Minimum	236	252	252	267	
	Maximum	259	256	286	279	
Plagiocephalus	Fallzahl	8	6	6	4	3
	Mittelwert	251	256	264	269	265
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	233	242	240	245
	Mittelwert		Obergrenze	268	270	287
	Median	249		258	261	269
	Varianz	429	177	485	229	127
	Standardabweichung	21	13	22	15	11
	Minimum	224	238	235	256	255
	Maximum	278	270	299	283	278
Brachycephalus	Fallzahl	2		2	2	2
	Mittelwert	228		239	257	268
	95 % Konfidenzintervall für	Untergrenze	205		155	237
	Mittelwert		Obergrenze	250		323

Median	228	239	257	268
Varianz	6	87	5	2
Standardabweichung	3	9	2	2
Minimum	226	233	256	267
Maximum	229	246	259	269

Tab. 55: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die sagittale Circumferenz

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte		
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4
	Mittelwert	240	248	256
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 237	243	242
		Obergrenze 243	253	270
	Median	241	248	259
	Varianz	55	118	77
	Standardabweichung	7	11	9
	Minimum	222	223	244
	Maximum	254	264	263

Tab. 56: Messwerte der 3D-Analyse der Kraniosynostosen für die transversale Circumferenz

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte				
		präop	3 M postop	6 M postop	12 M postop	24 M postop
Trigonocephalus	Fallzahl	29	8	23	16	5
	Mittelwert	249	271	280	284	289
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze 238	263	273	274	242
		Obergrenze 259	278	287	295	336
	Median	251	273	282	289	273
	Varianz	765	86	265	363	1453
	Standardabweichung	28	9	16	19	38
	Minimum	150	252	242	238	257
	Maximum	292	285	303	310	346
	Scaphocephalus	Fallzahl	29	12	22	18
Mittelwert		257	272	277	282	293
95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Untergrenze 253	266	270	275	283
		Obergrenze 260	279	284	289	303
Median		257	273	274	285	295
Varianz		94	97	250	199	39
Standardabweichung		10	10	16	14	6
Minimum		238	257	249	241	283
Maximum		276	291	307	305	297
Scaphocephalus minimal invasiv		Fallzahl	8	2	7	3
	Mittelwert	238	263	266	262	

	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	230	73	257	246	
		Obergrenze	246	453	274	278	
	Median		239	263	264	261	
	Varianz		89	447	86	43	
	Standardabweichung		9	21	9	7	
	Minimum		224	248	254	256	
	Maximum		255	278	284	269	
Plagiocephalus	Fallzahl		8	6	6	4	3
	Mittelwert		268	285	289	288	265
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	246	251	265	241	178
		Obergrenze	290	320	314	335	353
	Median		258	280	289	288	271
	Varianz		708	1077	534	879	1244
	Standardabweichung		27	33	23	30	35
	Minimum		247	256	255	252	227
	Maximum		318	349	327	325	297
Brachycephalus	Fallzahl		2		2	2	2
	Mittelwert		247		290	278	295
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	246		203	30	181
		Obergrenze	248		377	527	410
	Median		247		290	278	295
	Varianz		0		94	764	162
	Standardabweichung		0		10	28	13
	Minimum		247		283	259	286
	Maximum		247		297	298	304

Tab. 57: Messwerte der 3D-Analyse der Normpopulation für die transversale Circumferenz

Patientengruppe	Messwerte (mm)	Messzeitpunkte			
		5. Lebensmonat	8. Lebensmonat	11. Lebensmonat	
Normpopulation	Fallzahl	25	21	4	
	Mittelwert	270	277	306	
	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert	Untergrenze	261	268	277
		Obergrenze	280	286	334
	Median	268	272	304	
	Varianz	511	392	323	
	Standardabweichung	23	20	18	
	Minimum	241	243	285	
	Maximum	335	323	329	

9. Literaturverzeichnis

Adams GL, Gansky SA, Miller AJ, Harrell WE und Hatcher DC. Comparison between traditional 2-dimensional cephalometry and a 3-dimensional approach on human dry skulls. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 2004; 126: 397–409

Alderman BW, Bradley CM, Greene C, Fernbach SK und Barón AE. Increased risk of craniosynostosis with maternal cigarette smoking during pregnancy. *Teratology.* 1994; 50: 13–18

Alderman BW, Lammer EJ, Joshua SC, Cordero JF, Ouimette DR, Wilson MJ und Ferguson SW. An epidemiologic study of craniosynostosis: Risk indicators for the occurrence of craniosynostosis in Colorado. *Am. J. Epidemiol.* 1988; 128: 431–438

Ardinger HH, Atkin JF, Blackston RD, Elsas LJ, Clarren SK, Livingstone S und Hanson JW. Verification of the fetal valproate syndrome phenotype. *Am. J. Med. Genet.* 1988.

Barbero-García I, Lerma JL, Marqués-Mateu Á und Miranda P. Low-Cost Smartphone-Based Photogrammetry for the Analysis of Cranial Deformation in Infants. *World Neurosurg.* 2017; 102: 545–554

Bartholomeusz HH, Courchesne E und Karns CM. Relationship Between Head Circumference and Brain Volume in Healthy Normal Toddlers, Children, and Adults. *Neuropediatrics.* 2002; 33: 232–238

Bartlett SP, Whitaker LA und Marchac D. The operative treatment of isolated craniofacial dysostosis (Plagiocephaly): A comparison of the unilateral and bilateral techniques. *Plast. Reconstr. Surg.* 1990; 85: 677–683

Bender R und Lange S. Was ist der p-Wert? (Translated title: What is the p-value?). *Dtsch. Medizinische Wochenschrift (Dtsch Med Wochenschr).* 2007a; 132(S 01 (Supplement Statistik)): e15–e16

Bender R und Lange S. Was ist ein Konfidenzintervall? (Translated title: What is a confidence interval?). Dtsch. Medizinische Wochenschrift (Dtsch Med Wochenschr). 2007b; 132(S 01 (Supplement Statistik)): e17–e18

Bendon CL, Sheerin FBJ, Wall SA und Johnson D. The relationship between scaphocephaly at the skull vault and skull base in sagittal synostosis. J. Cranio-Maxillofacial Surg. 2014; 42: 245–249

Bennett KG, Liang F, Ranganathan K, Muraszko KM, Vercler CJ und Buchman SR. Surgical Hypercorrection of Trigenocephaly. J. Craniofac. Surg. 2018; 29: 56–61

Benz M. Ergebnismodellierung und Qualitätskontrolle kraniofazialer Operationen auf Basis optischer Messtechnik. Diss, Institut für Optik, Informatik und Phonik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. 2005

Bhatti-Söfteland M, Maltese G, Tarnow P, Wikberg E, Bernhardt P, Kölby L. The Degree of Surgical Frontal Volume Correction in Metopic Synostosis Determines Long-Term Outcomes. J. Craniofac. Surg. 2017; 28: 1161–1163

Bottero L, Lajeunie E, Arnaud E, Marchac D und Renier D. Functional outcome after surgery for trigonocephaly. Plast. Reconstr. Surg. 1998

Boulet SL, Rasmussen SA und Honein MA. A population-based study of craniosynostosis in metropolitan Atlanta, 1989-2003. Am. J. Med. Genet. Part A. 2008; 146: 984–991

Branson HM und Shroff MM. Craniosynostosis and 3-Dimensional Computed Tomography. Semin. Ultrasound, CT MRI. 2011; 32: 569–577

Bray PF, Shields WD, Wolcott GJ und Madsen JA. Occipitofrontal head circumference—an accurate measure of intracranial volume. J. Pediatr. 1969; 75: 303–305

Buchanan EP, Xue AS und Hollier LH. Craniofacial syndromes. *Plast. Reconstr. Surg.* 2014; 134: 128e–153e

Captier G, Leboucq N, Bigorre M, Canovas F, Bonnel F, Bonnafé A und Montoya P. Plagiocephaly: Morphometry of skull base asymmetry. *Surg. Radiol. Anat.* 2003; 25: 226–233

Christophis P, Jünger TH und Howaldt HP. Surgical correction of scaphocephaly: Experiences with a new procedure and follow-up investigations. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 2001; 29: 33–38

Cohen MM. Craniosynostoses: phenotypic/molecular correlations. *Am. J. Med. Genet.* 1995; 56: 334–339

Cohen S und Persing JA. Intracranial Pressure in Single-Suture Craniosynostosis. 1998; 35: 194–196

Collett BR, Heike CL, Atmosukarto I, Starr JR, Cunningham ML und Speltz ML. Longitudinal, three-dimensional analysis of head shape in children with and without deformational plagiocephaly or brachycephaly. *J. Pediatr.* 2012; 160: 673–678.e1

Cooke RWI, Lucas A, Yudkin PLN und Pryse-Davies J. Head circumference as an index of brain weight in the fetus and newborn. *Early Hum. Dev.* 1977; 1: 145–149

Cutting CB, McCarthy JG und Karron DB. Three dimensional input of body surface data using a laser light scanner. *Ann. Plast. Surg.* 1988; 21: 38–45

Da Silveira AC, Daw JL, Kusnoto B, Evans C und Cohen M. Craniofacial applications of three-dimensional laser surface scanning. *J. Craniofac. Surg.* 2003; 14: 449–456

David LR, Wilson JA, Watson NE und Argenta LC. Cerebral perfusion defects secondary to simple craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 1996

Dekaban AS. Tables of cranial and orbital measurements, cranial volume, and derived indexes in males and females from 7 days to 20 years of age. *Ann. Neurol.* 1977; 2: 485–491

Delashaw JB, Persing JA, Broaddus WC und Jane JA. Cranial vault growth in craniosynostosis. *J. Neurosurg.* 1989; 70: 159–165

Delye H, Clijmans T, Mommaerts MY, Vander Sloten J und Goffin J. Creating a normative database of age-specific 3D geometrical data, bone density, and bone thickness of the developing skull: a pilot study. *J. Neurosurg. Pediatr.* 2015; 16: 687–702

Denis D, Saracco JB, Genitori L, Choux M, Bardot J und Maumenee IH. Ocular findings in trigonocephaly. *Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 1994; 232: 728–733

Deschamps-Braly J, Hettinger P, El Amm C, Denny AD. Volumetric analysis of cranial vault distraction for cephalocranial disproportion. *Pediatr. Neurosurg.* 2012; 47: 396–405

Di Rocco C, Paternoster G, Caldarelli M, Massimi L und Tamburrini G. Anterior plagiocephaly: Epidemiology, clinical findings, diagnosis, and classification. A review. *Child's Nerv. Syst.* 2012; 28: 1413–1422

Di Rocco C und Velardi F. Nosographic identification and classification of plagiocephaly. *Child's Nerv. Syst.* 1988; 4: 9–15

Dominguez R, Oh KS, Bender T und Girdany BR. Uncomplicated trigonocephaly. A radiographic affirmation of conservative therapy. *Radiology.* 1981; 140: 681–688

Dvoracek LA, Skolnick GB, Nguyen DC, Naidoo SD, Smyth MD, Woo AS und Patel KB. Comparison of traditional versus normative cephalic index in patients with sagittal synostosis: Measure of scaphocephaly and postoperative outcome. *Plast. Reconstr. Surg.* 2015; 136: 541–548

Engel M. Brachycephalus und Lambdanahtsynostose. In H. Bächli, J. Lütschg und M. Messing-Jünger (Eds.), *Pädiatrische Neurochir.* 2018 (pp. 319–331). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg

Engel M, Thiele OC, Mühlhing J, Hoffmann J, Freier K, Castrillon-Oberndorfer G und Seeberger R. Trigonocephaly: Results after surgical correction of nonsyndromatic isolated metopic suture synostosis in 54 cases. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 2012; 40: 347–353

Esparza J, Hinojosa J, Garcia-Recuero I, Romance A, Pascual B und De Aragon AM. Surgical treatment of isolated and syndromic craniosynostosis. Results and complications in 283 consecutive cases. *Neurocirugia.* 2008; 19: 509–529

Esparza J, Muñoz MJ, Hinojosa J, Romance A, Muñoz A und Méndez MD. Operative treatment of the anterior synostotic plagiocephaly: Analysis of 45 cases. *Child's Nerv. Syst.* 1998; 14: 448–454

Farber SJ, Nguyen DC, Skolnick GB, Naidoo SD, Smyth MD und Patel KB. Anthropometric Outcome Measures in Patients With Metopic Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2017; 28: 713–716

Farkas, LG *Anthropometry of the Head and Face*, 2nd Ed. New York: Raven Press, 1995

Farkas LG und Deutsch CK. Anthropometric determination of craniofacial morphology. *Am. J. Med. Genet.* 1996; 65: 1–4

Farkas LG und Forrest CR. Changes in anthropometric values of paired craniofacial measurements of patients with right coronal synostosis. *Ann. Plast. Surg.* 2006; 56: 427–430

Farkas LG, Posnick JC und Hreczko TM. Anthropometric growth study of the head. *Cleft Palate-Craniofacial J.* 1992; 29: 303–307

Fearon JA, Ruotolo RA und Kolar JC. Single sutural craniosynostoses: surgical outcomes and long-term growth. *Plast. Reconstr. Surg.* 2009; 123: 635–642

Fearon JA, Kolar JC und Munro IR. Trigenocephaly-associated hypotelorism: Is treatment necessary? *Plast. Resconstructive Surg.* 1996

Fischer S, Maltese G, Tarnow P, Wikberg E, Bernhardt P, Tovetjärn R und Kölby L. Intracranial volume is normal in infants with sagittal synostosis. *J. Plast. Surg. Hand Surg.* 2015; 49: 62–64

French LR, Jackson I und Melton LJ. A population-based study of craniosynostosis. *J Clin Epidemiol.* 1990; 43: 69–73

Freudlsperger C, Steinmacher S, Bächli H, Somlo E, Hoffmann J und Engel M. Metopic synostosis: Measuring intracranial volume change following fronto-orbital advancement using three-dimensional photogrammetry. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 2015; 43: 593–598

Frühwald J, Schicho KA, Figl M, Benesch T, Watzinger F und Kainberger F. Accuracy of craniofacial measurements: computed tomography and three-dimensional computed tomography compared with stereolithographic models. *J. Craniofac. Surg.* 2008; 19: 22–26

Gardner JS, Guyard-Boileau B, Alderman BW, Fernbach SK, Greene C und Mangione EJ. Maternal exposure to prescription and non-prescription pharmaceuticals or drugs of abuse and risk of craniosynostosis. *Int. J. Epidemiol.* 1998; 27: 64–67

Gasparini G, Saponaro G, Marianetti TM, Tamburrini G, Moro A, Di Rocco C und Pelo S. Mandibular alterations and facial lower third asymmetries in unicoronal synostosis. *Child's Nerv. Syst.* 2013; 29: 665–671

Gault D, Brunelle F, Renier D, Marchac D. The calculation of intracranial volume using CT scans. *Childs. Nerv. Syst.* 1988; 4: 271–273

Gault DT, Renier D, Marchac D und Jones BM. Intracranial pressure and intracranial volume in children with craniosynostosis. *Plast. Reconstr. Surg.* 1992

Gociman B, Blagg R, Agko M, Goodwin I, Kestle JRW und Siddiqi F. The metopic angle: a novel assessment tool of the trigonocephalic frontal deformity and its correction. *J. Craniofac. Surg.* 2014; 25: 2101–2104

Hammond P. The use of 3D face shape modelling in dysmorphology. *Arch. Dis. Child.* 2007; 92: 1120–1126

Harzer W. Wachstum von Ober- und Unterkiefer. (W. Harzer, Ed.), Checklisten der Zahnmedizin Kieferorthopädie. 2011. Stuttgart: Georg Thieme Verlag

Havlik RJ, Azurin DJ, Bartlett SP und Whitaker LA. Analysis and treatment of severe trigonocephaly. *Plast. Reconstr. Surg.* 1999; 103: 381-390

Heliövaara A, Leikola J, Koljonen V, Vuola P und Koivikko M. Length of synostosis and segmented intracranial volume correlate with age in patients with non-syndromic sagittal synostosis. *Child's Nerv. Syst.* 2017; 34: 511–515

Heller JB, Heller MM, Knoll B, Gabbay JS, Duncan C, Persing JA. Intracranial volume and cephalic index outcomes for total calvarial reconstruction among nonsyndromic sagittal synostosis patients. *Plast. Reconstr. Surg.* 2008; 121: 187–195

Heuzé Y, Martínez-Abadías N, Stella JM, Senders CW, Boyadjiev SA, Lo LJ und Richtsmeier JT. Unilateral and bilateral expression of a quantitative trait: Asymmetry and symmetry in coronal craniosynostosis. *J. Exp. Zool. Part B Mol. Dev. Evol.* 2012; 318: 109–122

Hilling DE, Mathijssen IMJ, Mulder PGH und Vaandrager MJ. Long-term aesthetic results of frontoorbital correction for frontal plagiocephaly. *J. Neurosurg.* 2006; 105: 21–25

Hilling DE, Mathijssen IMJ und Vaandrager JM. Aesthetic results of fronto-orbital correction in trigonocephaly. *J. Craniofac. Surg.* 2006; 17: 1167–1174

Horch, H.-H. Operative Techniken: Frontoorbitales Advancement. In: Horch, HH, Hrsg. *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie II.* München-Wien-Baltimore, Urban & Schwarzenberg 1998: S. 10-12

Huang MHS, Gruss JS, Mouradian WE, Cunningham ML, Roberts TS, Loeser JD und Cornell CJ. The Differential Diagnosis of Posterior Plagiocephaly: True Lambdoid Synostosis versus Positional Molding. *Plast. Reconstr. Surg.* 1996; 98: 765–774

Kabbani H und Raghuveer TS. Craniosynostosis. *Am. Fam. Physician.* 2004; 69: 2863–2870

Källén K. Maternal smoking and craniosynostosis. *Teratology.* 1999; 60: 146–150

Kellogg R, Allori AC, Rogers GF und Marcus JR. Interfrontal angle for characterization of trigonocephaly: Part 1: Development and validation of a tool for diagnosis of metopic synostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2012; 23: 799–804

Kirmi O, Lo SJ, Johnson D und Anslow P. Craniosynostosis: A Radiological and Surgical Perspective. *Semin. Ultrasound, CT MRI.* 2009; 30: 492–512

Krasnicanova H, Zemkova D und Skodova I. Longitudinal follow-up of children after surgical treatment of scaphocephaly. *Acta Chir. Plast.* 1996; 38: 50–53

Lajeunie E, Le Merrer M, Bonaiti-Pellie C, Marchac D und Renier D. Genetic study of scaphocephaly. *Am. J. Med. Genet.* 1996; 62: 282–285

Likus W, Bajor G, Baron J, Markowski J, Milka D und Lepich T. Cephalic Index in the First Three Years of Life: Study of Children with Normal Brain Development Based on Computed Tomography. *Sci. World J.* 2014; 2014: 1–6

Lindley AA, Benson JE, Grimes C, Cole TM und Herman AA. The relationship in neonates between clinically measured head circumference and brain volume estimated from head CT-scans. *Early Hum. Dev.* 1999; 56: 17–29

Marchac D und Renier D. Craniofacial surgery for craniosynostosis. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. Hand Surg.* 1981; 15: 235–243

Marchac D, Renier D. Classification of the different types of craniosynostosis. In: Marchac D, Renier D, eds. *Craniofacial surgery for Craniosynostosis*. Boston: Little Brown, 1982: 1-8

Marchac D, Renier D und Broumand S. Timing of treatment for craniosynostosis and faciocraniosynostosis: a 20-year experience. *Br. J. Plast. Surg.* 1994; 47: 211–222

Marcus JR, Domeshek LF, Das R, Marshall S, Nightingale R, Stokes TH und Mukundan S. Objective three-dimensional analysis of cranial morphology. *Eplasty.* 2008; 8: 175–187

Martini M. Chirurgie der Kraniosynostosen- Eine peri- und postoperative Form- und Funktionsanalyse. *Med Habilschr, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.* 2018a

Martini M, Klausning A, Lüchters G, Heim N und Messing-Jünger M. Head circumference - a useful single parameter for skull volume development in cranial growth analysis? *Head Face Med.* 2018b; 14: 1–8

Martini M, Schulz M, Röhrig A, Nadal J und Messing-Jünger M. A 3D morphometric follow-up analysis after frontoorbital advancement in non-syndromic craniosynostosis. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 2015; 43: 1428–1437

McCarthy JG, Epstein F, Sadove M, Grayson B und Zide B. Early surgery for craniofacial synostosis: an 8-year experience. *Plast. Reconstr. Surg.* 1984; 73: 521–530

McCarthy JG, Glasberg SB, Cutting CB, Epstein FJ, Grayson BH, Ruff G und Zide BM. Twenty-year experience with early surgery for craniosynostosis: I. Isolated craniofacial Synostosis—results and unsolved problems. *Plast. Reconstr. Surg.* 1995; 96: 272-283

McCarthy JG, Warren SM, Bernstein J, Burnett W, Cunningham ML, Edmond JC und Wornom IL. Parameters of care for craniosynostosis. *Cleft Palate-Craniofacial J.* 2012; 49: 1S–24S

McKay DR, Davidge KM, Williams SK, Ellis LA, Chong DK, Teixeira RP, Holmes AD. Measuring cranial vault volume with three-dimensional photography: A method of measurement comparable to the gold standard. *J. Craniofac. Surg.* 2010; 21: 1419–1422

Messing-Jünger AM und Martini M. Ätiologie und Genetik der Kraniosynostosen. In H. Bächli, J. Lüschtg und M. Messing-Jünger (Eds.), *Pädiatrische Neurochir.* 2018a (pp. 305–310). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg

Messing-Jünger AM und Martini M. Syndromale Kraniosynostosen. In H. Bächli, J. Lüschtg und M. Messing-Jünger (Eds.), *Pädiatrische Neurochir.* 2018b (pp. 333–343). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg

Metzler P, Ezaldein HH, Persing JA. und Steinbacher DM. Comparing two fronto-orbital advancement strategies to treat trigonocephaly in metopic synostosis. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 2014; 42: 1437–1441

Metzler P, Zemmann W, Jacobsen C, Lübbers HT, Grätz KW und Obwegeser JA. Cranial vault growth in multiple-suture nonsyndromic and syndromic craniosynostosis: A postoperative long-term anthropometric follow-up. *J. Craniofac. Surg.* 2013; 24: 753–757

Mühling, J: Zur operativen Behandlung der praematuren Schädelnahtsynostosen. *Med Habilschr, Würzburg* 1986

Nagaraja S, Anslow P und Winter B. Craniosynostosis. *Clin. Radiol.* 2013; 68: 284–292

Naran S, Mazzaferro D, Wes A, Vossough A, Bartlett SP und Taylor JA. A Craniometric Analysis of Cranial Base and Cranial Vault Differences in Patients With Metopic Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2017; 28: 2030–2035

Neuhauser H, Schienkiewitz A, Schaffrath Rosario A, Dortschy R, Kurth BM. Referenzperzentile für anthropometrische Maßzahlen und Blutdruck aus der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS). In: Robert Koch-Institut, Hrsg. Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Berlin: RKI-Hausdruckerei, 2013: 90-99

Nguyen DC, Patel KB, Skolnick GB, Naidoo SD, Huang AH, Smyth MD und Woo AS. Are endoscopic and open treatments of metopic synostosis equivalent in treating trigonocephaly and hypotelorism? *J. Craniofac. Surg.* 2015; 26: 129–134

Oh AK, Greene AK, Mulliken JB und Rogers GF. Prevention of temporal depression that follows fronto-orbital advancement for craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2006; 17: 980–985

Oh AK, Wong J, Ohta E, Rogers GF, Deutsch CK und Mulliken JB. Facial asymmetry in unilateral coronal synostosis: Long-term results after fronto-orbital advancement. *Plast. Reconstr. Surg.* 2008; 121: 555–562

Oi S und Matsumoto S. Trigonocephaly (metopic synostosis) - Clinical, surgical and anatomical concepts. *Child's Nerv. Syst.* 1987; 3: 259–265

Patel KB, Skolnick GB und Mulliken JB. Anthropometric Outcomes following Fronto-Orbital Advancement for Metopic Synostosis. *Plast. Reconstr. Surg.* 2016; 137: 1539–1547

Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP und De González AB. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: A retrospective cohort study. *Lancet.* 2012; 380: 499–505

Pelo S, Tamburrini G, Marianetti TM, Saponaro G, Moro A, Gasparini G und Di Rocco C. Correlations between the abnormal development of the skull base and facial skeleton growth in anterior synostotic plagiocephaly: The predictive value of a classification based on CTscan examination. *Child's Nerv. Syst.* 2011; 27: 1431–1443

Persing JA. MOC-PS(SM) CME Article: Management Considerations in the Treatment of Craniosynostosis. *Plast. Reconstr. Surg.* 2008; 121: 1–11

Persing JA, Jane JA und Shaffrey M. Virchow and the pathogenesis of craniosynostosis: A translation of his original work. *Plast. Reconstr. Surg.* 1989; 83: 738-742

Posnick JC, Lin KY, Chen P und Armstrong D. Metopic synostosis: quantitative assessment of presenting deformity and surgical results based on CT scans. *Plast. Reconstr. Surg.* 1994; 93: 16-24

Reefhuis J, Honein MA, Shaw GM und Romitti PA. Fertility treatments and craniosynostosis: California, Georgia, and Iowa, 1993-1997. *Pediatrics*. 2003; 111: 1163–1166

Reinhart E, Reuther J, Collmann H, Mühling J, Zöller J, Pistner H und Stark W. Langzeitergebnisse nach Korrekturoperationen am Neuro- und Viszerokranium von Patienten mit einfachen und syndromalen prämaturnen Kraniosynostosen. 1998; 2: 44–48

Renier D, Lajeunie E, Arnaud E und Marchac D. Management of craniosynostoses. *Child's Nerv. Syst.* 2000; 16: 645–658

Renier D, Sainte-Rose C, Marchac D und Hirsch J-F. Intracranial pressure in craniostenosis. *J. Neurosurg.* 1982; 57: 370–377

Reuben AD, Watt-Smith SR, Dobson D und Golding SJ. A comparative study of evaluation of radiographs, CT and 3D reformatted CT in facial trauma: What is the role of 3D? *Br. J. Radiol.* 2005; 78: 198–201

Robin NH. FGFR-Related Craniosynostosis Syndromes. *GeneReviews*. 2007; 1–30

Ruiz-Correa S, Sze RW, Starr JR, Lin HTJ, Speltz ML, Cunningham ML und Hing AV. New scaphocephaly severity indices of sagittal craniosynostosis: A comparative study with cranial index quantifications. *Cleft Palate-Craniofacial J.* 2006; 43: 211–220

Schaller BJ, Filis A, Merten HA und Buchfelder M. Premature craniosynostosis - The role of skull base surgery in its correction. A surgical and radiological experience of 172 operated infants/children. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 2012; 40: 195–200

Schouman T, Vinchon M, Ruhin-Coupet B, Pellerin P und Dhellemmes P. Isolated bilateral coronal synostosis: Early treatment by peri-fronto-orbital craniectomy. *J. Craniofac. Surg.* 2008; 19: 40–44

Schulz, MEI. Morphologische und volumetrische Follow-up-Analyse mittels dreidimensionaler Messmethodik nach Frontoorbitalem Advancement bei prämaturnen nichtsyndromalen Schädelnahtsynosten. Diss, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität Bonn. 2014

Schweitzer T. Sagittalnahtsynostose, Trigonocephalus und anteriorer Plagiocephalus. In H. Bächli, J. Lüschtig und M. Messing-Jünger (Eds.), *Pädiatrische Neurochir.* 2018 (pp. 311–317). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg

Schweitzer T, Böhm H, Meyer-Marcotty P, Collmann H, Ernestus RI und Krauß J. Avoiding CT scans in children with single-suture craniosynostosis. *Child's Nerv. Syst.* 2012; 28: 1077–1082

Seeberger R, Hoffmann J, Freudlsperger C, Berger M, Bodem J, Horn D und Engel M. Intracranial volume (ICV) in isolated sagittal craniosynostosis measured by 3D photocephalometry: A new perspective on a controversial issue. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 2016; 44: 626–631

Selber J, Reid RR, Gershman B, Sonnad SS, Sutton LN, Whitaker LA und Bartlett SP. Evolution of operative techniques for the treatment of single-suture metopic synostosis. *Ann. Plast. Surg.* 2007; 59: 6–13

Selber JC, Brooks C, Kurichi JE, Temmen T, Sonnad SS und Whitaker LA. Long-term results following fronto-orbital reconstruction in nonsyndromic unicoronal synostosis. *Plast. Reconstr. Surg.* 2008; 121: 251–260

Speltz ML, Kapp-Simon K, Collett B, Keich Y, Gaither R, Craddock MM und Cunningham ML. Neurodevelopment of infants with single-suture craniosynostosis: Presurgery comparisons with case-matched controls. *Plast. Reconstr. Surg.* 2007; 119: 1874–1881

Swennen GRJ. 3-D cephalometric soft tissue landmarks. In: Swennen GRJ, Schutyser F, Hausamen JE, Hrsg. *Three-Dimensional Cephalometry: A Color Atlas and Manual*. Berlin- Heidelberg- New York: Springer-Verlag, 2006: 186-234

Tenhagen M, Bruse JL, Rodriguez-Florez N, Angullia F, Borghi A, Koudstaal MJ und Dunaway D. Three-Dimensional Handheld Scanning to Quantify Head-Shape Changes in Spring-Assisted Surgery for Sagittal Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2016; 27: 2117–2123

Tessier, P. Total facial osteotomy. Crouzon's syndrome, Apert's syndrome: oxycephaly, scaphocephaly, turriccephaly. *Ann Chir Plast.* 1967; 12: 273–286

Toma AM, Zhurov A, Playle R, Ong E und Richmond S. Reproducibility of facial soft tissue landmarks on 3D laser-scanned facial images. *Orthod. Craniofacial Res.* 2009; 12: 33–42

Tovetjärn RCJ, Maltese G, Wikberg E, Bernhardt P, Kölby L, Tarnow PEW. Intracranial Volume in 15 Children with Bilateral Coronal Craniosynostosis. *Plast. Reconstr. Surg. Glob. Open.* 2014; 2: 1-7

Van Der Meulen J. Metopic synostosis. *Child's Nerv. Syst.* 2012; 28: 1359–1367

Van Der Meulen JJNM, Nazir PRN, Mathijssen IMJ, Van Adrichem LNA, Ongkosuwito E, Stolk-Liefferink SAH, Vaandrager MJM. Bitemporal depressions after cranioplasty for trigonocephaly: A long-term evaluation of (supra) orbital growth in 92 patients. *J. Craniofac. Surg.* 2008; 19: 72–79

Van der Meulen JJNM, Willemsen J, van der Vlucht J, Nazir PRN, Hilling D, Mathijssen IMJ und Hovius SER. On the origin of bitemporal hollowing. *J. Craniofac. Surg.* 2009; 20: 752–756

Van Veelen MLC, Jippes M, Carolina JCA, de Rooi J, Dirven CMF, van Adrichem LNA und Mathijssen IM. Volume measurements on three-dimensional photogrammetry after extended strip versus total cranial remodeling for sagittal synostosis: A comparative cohort study. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 2016; 44: 1713–1718

Van Vlijmen OJC, Maal TJJ, Bergé SJ, Bronkhorst EM, Katsaros C und Kuijpers-Jagtman AM. A comparison between two-dimensional and three-dimensional cephalometry on frontal radiographs and on cone beam computed tomography scans of human skulls. *Eur. J. Oral Sci.* 2009; 117: 300–305

Vinchon M, Pellerin P, Baroncini M, Wolber A und Dhellemmes P. Non-syndromic oxycephaly and brachycephaly: A review. *Child's Nerv. Syst.* 2012; 28: 1439–1446

Waitzman AA, Posnick JC, Armstrong DC und Pron GE. Craniofacial skeletal measurements based on Computed Tomography: Part I. Accuracy and Reproducibility. *Cleft Palate-Craniofacial J.* 1992a; 92: 112–117

Waitzman AA, Posnick JC, Armstrong DC und Pron GE. Craniofacial skeletal measurements based on computed tomography: Part II. Normal values and growth trends. *Cleft Palate-Craniofacial J.* 1992b; 29: 118-128

Welcker H. 1862. Untersuchungen über Wachstum und Bau des menschlichen Schädels. Leipzig: Engelmann

Whitaker LA, Bartlett SP, Schut L und Bruce D. Craniosynostosis: An analysis of the timing, treatment, and complications in 164 consecutive patients. *Plast. Reconstr. Surg.* 1987; 80: 195-206

Wilbrand JF, Bierther U, Nord T, Reinges M, Hahn A, Christophis P und Howaldt HP. Percentile-based assessment of craniosynostosis. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 2014; 42: 634–640

Wilbrand JF, Schmidtberg K, Bierther U, Streckbein P, Pons-Kuehnemann J, Christophis P und Howaldt HP. Clinical classification of infant nonsynostotic cranial deformity. *J. Pediatr.* 2012; 161: 1120–1125

Wilkie AOM. Craniosynostosis: Genes and mechanisms. *Hum. Mol. Genet.* 1997; 6: 1647–1656

Wong J, Oh AK, Ohta E, Hunt AT, Rogers GF, Mulliken JB und Deutsch CK. Validity and Reliability of Craniofacial Anthropometric Measurement of 3D Digital Photogrammetric Images. *Cleft Palate-Craniofacial J.* 2008; 45: 232–239

Yang B, Ni J und Li B. 3D morphological change of skull base and fronto-temporal soft-tissue in the patients with unicoronal craniosynostosis after fronto-orbital advancement. *Child's Nerv. Syst.* 2018; 34: 947–955

Zeiger JS, Beaty TH, Hetmanski JB, Scott AF, Kasch L, Raymond G und VanderKolk C. Genetic and Environmental Risk Factors for Sagittal Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2002; 13: 602–606

10. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Frau PD Dr. med. Martina Messing-Jünger gilt mein Dank für die Überlassung des Dissertationsthemas und der damit verbundenen Daten.

Besonders danken möchte ich Herrn PD Dr. med. Dr. med. dent. Markus Martini, der als Betreuer meiner Dissertation jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand, immer erreichbar war und ein offenes Ohr auch für die kleinsten Probleme hatte. Einen besseren Doktorvater hätte ich mir nicht wünschen können.

Bei Frau Dipl. Math. Jennifer Nadal bedanke ich mich für die Einführung in die medizinische Statistik und die Tipps auf dem Weg der Auswertung.

Ein ganz großer Dank gebührt meinem Mann Tim, der den langen Weg dieser Dissertation mit mir durchschritten hat, unterstützend und liebevoll zur Seite stand und immer an mich geglaubt hat.