

Aus der Universitätsklinik für
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen
Abteilung Klinik und Poliklinik für
Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

**Quantifizierung der Gesichtasymmetrie bei Kindern
mit lagebedingter Plagiozephalie**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Wolf, Jan Armin

2017

Dekan: Professor Dr. I. B. Authenrieth
1. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. M. Krimmel
2. Berichterstatter: Professor Dr. A. Nüssler
Tag der Disputation: 26.09.2017

meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

Inhaltsverzeichnis.....	3
Abkürzungen	1
1. Einleitung.....	2
1.1 Grundlagen	2
1.2 Entstehung einer Plagiozephalie – Erklärungsansätze	2
1.3 Risikofaktoren	3
1.4 Langzeitfolgen.....	5
1.5 Inzidenz.....	6
1.6 Die „Back to Sleep“- Kampagne	7
1.7 ARGENTA-Klassifikation.....	8
1.8 Behandlungsansätze.....	12
1.8.1 Lagerungstherapie und -hilfen	13
1.8.2 Physiotherapie	14
1.8.3 Osteopathie	14
1.8.4 Helmtherapie	15
1.9 Ziele der Arbeit.....	18
2. Material und Methoden	20
2.1 Patientenkollektiv	20
2.2 3D-Fotographie	20
2.3 CVAI.....	21
2.4 Datensätze	21
2.5 Vermessungsalgorithmus.....	22
2.5.1 Grundidee und Umsetzung.....	22

2.5.2	Definition eines Koordinatensystems: Ausrichtung der Köpfe	24
2.5.3	Definition der Bezugsebenen.....	26
2.5.4	Punktepaare	29
2.5.5	Klinisch topografische Zuordnung der Punkte	31
2.6	Auswertungsstrategien – Aus Punktepaaren werden Differenzen, Quantifizierung der Asymmetrie	33
2.6.1	Punkteexistenz	33
2.6.2	Differenzen der Punktepaare.....	34
2.6.3	Statistik des Patientenkollektivs.....	35
2.6.4	Normalverteilung.....	35
2.6.5	Deskriptive Statistik – Gesichtsasymmetrie?	37
2.6.6	Vergleich prä- zu posttherapeutisch – Entwicklung der Gesichtsasymmetrie unter Helmtherapie	37
2.6.7	Korrelation	37
3.	Ergebnisse.....	39
3.1	Patientenkollektiv	39
3.2	Punkteexistenz.....	40
3.3	Analysen der erhobenen Daten.....	42
3.3.1	CVAI	42
3.3.2	Transversale Differenzen.....	42
3.3.3	Vertikale Differenzen	43
3.3.4	Sagittale Differenzen	43
3.4	Gesichtsasymmetrie vor Helmtherapie.....	43
3.4.1	Transversale Differenzen.....	43
3.4.2	Vertikale Differenzen	46
3.4.3	Sagittale Differenzen	48

3.4.4	Prätherapeutische intraindividuelle Differenzen nach Gesichtsregionen	50
3.5	Gesichtsasymmetrie nach Helmtherapie.....	51
3.5.1	Transversale Differenzen.....	51
3.5.2	Vertikale Differenzen	53
3.5.3	Sagittale Differenzen	55
3.5.4	Posttherapeutische intraindividuelle Differenzen nach Gesichtsregionen	57
3.6	Vergleich prä- zu posttherapeutisch.....	58
3.6.1	CVAI	58
3.6.2	Transversale Differenzen.....	60
3.6.3	Vertikale Differenzen	62
3.6.4	Sagittale Differenzen	64
3.6.5	Veränderung der Asymmetrie nach anatomischen Regionen.....	66
3.7	Korrelationen.....	69
3.7.1	Korrelation CVAI zu Differenz der Punktepaare vor Therapie	69
3.7.2	Korrelation CVAI zu Differenz der Punktepaare nach Therapie....	70
4.	Diskussion	72
4.1	3D-Mess- und Auswertungsverfahren	72
4.1.1	Fotogrammetrie	73
4.1.2	Wachstum im Untersuchungszeitraum	76
4.1.3	Methodische Grenzen – das „Asymptoten-Problem“	77
4.2	Punkteexistenz.....	80
4.3	Gesichtsasymmetrie bei Plagiozephalie.....	81
4.4	Änderung der Gesichtsasymmetrie	87
4.5	Korrelation der Gesichtsasymmetrie zum CVAI	91

4.6	Schlussfolgerung/ Ausblick	94
5.	Zusammenfassung	97
6.	Abbildungsverzeichnis	99
7.	Tabellenverzeichnis	102
8.	Literaturverzeichnis.....	104
9.	Erklärung zum Eigenanteil.....	113
10.	Danksagung	114
11.	Anhang.....	115
11.1	Grafiken	115
11.1.1	CVAI.....	115
11.1.2	Differenzen vor Helmtherapie.....	117
11.1.3	Differenzen nach Helmtherapie	129
11.1.4	Änderung der Gesichtsymmetrie nach anatomischen Regionen 141	
11.2	Datentabellen.....	142
11.2.1	Normalverteilung der Punktpaardifferenzen	142
11.2.2	Änderung der Gesichtsymmetrie	143

Abkürzungen

AAP	Academy of Pediatrics
All / Alr	seitlichster, basaler Ansatz der Nasenflügel
CBA	Cranial Base Asymmetry
CI	Cranial Index
CVA	Cranial Vault asymmetry
CVAI	Cranial Vault Asymmetry Index
ENI / ENr	Endocanthion links/ rechts
EXI / EXr	Exocanthion links/ rechts
F1, F2, F3	Frontale Ebenen
F_H_ / f_h_	Name der transversalen Punktepaare VOR/ NACH Therapie
F_S_ / f_s_	Name der vertikalen Punktepaare VOR/ NACH Therapie
F_H_ / f_h_	Name der transversalen Punktepaare VOR/ NACH Therapie
F_S_ / f_s_	Name der vertikalen Punktepaare VOR/ NACH Therapie
H_S_ / h_s_	Name der sagittalen Punktepaare VOR/ NACH Therapie
HI / Hr	linker und rechter Helixansatz
H1, H2, H3	Horizontale Ebenen
M	Mittelpunkt zwischen HI und Hr
MWI / MWr	Mundwinkel links/ rechts
M1	Mitte zwischen EXI und EXr
M2	Mitte zwischen ENI und ENr
M3	Mitte zwischen MWI und MWr
M1a, M1b, M1c	Lotpunkte (Erläuterung s.u.)
N	Nasion
SIDS	Sudden Infant Death Syndrom
SN	Subnasalpunkt
S1, S2, S3	Sagittale Ebenen

1. Einleitung

1.1 Grundlagen

Das Wort Plagiozephalus kommt aus dem Griechischen (gr. Keph-*, schief) und bedeutet „Schiefschädel“ (deGruyter, 2004). Grundsätzlich werden zwei Formen unterschieden: Die seltenen Plagiozephalien, die als Folge von Synostosen und insbesondere der unilateralen Lamdanahtsynostose entstehen, und die im Vergleich deutlich häufigere erworbene lagebedingte Plagiozephalie (Mulliken et al., 1999). Charakteristisch für eine Plagiozephalie als Folge einer Synostose sind dabei ein dicker Wulst über der betroffenen Schädelnaht sowie eine kompensatorische Vorwölbung der kontralateralen Regionen. Zudem wurde eine Neigung der Schädelbasis mit Schiefelage zur ipsilateralen Seite mit dorso-kaudal Verlagerung des Ohres festgestellt. Diese Befunde stehen hierbei im Gegensatz zu den charakteristischen Merkmalen der lagebedingten Plagiozephalie (Huang et al., 1996). Argenta et al. konnte anhand dieser charakteristischen Merkmale eine Klassifikation zur Bestimmung des Schweregrades lagebedingter Formen erstellen, welche in Kapitel 1.7 näher dargelegt wird (Argenta et al., 2004).

1.2 Entstehung einer Plagiozephalie – Erklärungsansätze

Der Entstehungsmechanismus lagebedingter Plagiozephalie ist trotz vieler Studien und unterschiedlichster Ansätze bisher nicht zweifelsfrei geklärt. Ein erster Erklärungsansatz beschreibt den kindlichen Schädel als „weich und formbar“, sodass eine Abflachung des Hinterkopfes dadurch begünstigt wird. Dieser Mechanismus wird dabei mit einem wassergefüllten Ballon verglichen, der auf einer harten, flachen Oberfläche platziert wird (Rogers, 2011a). Die Abflachung entsteht, beziehungsweise wird verstärkt, aufgrund der auf den

Schädel und das Gehirn wirkenden Schwerkraft (Littlefield et al., 1998, Persing et al., 2003).

Eine Studie von Habal et al. zieht sogar die Möglichkeit von Knochenmineralisationsstörungen aufgrund eines Mangels während der prä- und postnatalen Entwicklung in Betracht, um die Entstehung der lagebedingten Plagiozephalie zu erklären (Habal et al., 2004).

Die genetische Ursache als Ausgangspunkt der Entstehung einer Plagiozephalie beziehungsweise der Formveränderung des Schädels wurde bereits Anfang des 19. Jahrhunderts von Franz Boas untersucht (Boas, 1912). Pomatto et al. kamen dabei speziell für die Entstehung der lagebedingten Plagiozephalie zur gleichen Erkenntnis wie Boas bereits fast ein Jahrhundert zuvor: Die Form des Schädels ist klar durch äußere Umwelteinflüsse geprägt und im Wachstum veränderbar (Pomatto et al., 2006).

Die einfachste und metaphorisch einleuchtendste Erklärung liefert Rogers in seinem Artikel zu Schädeldeformitäten im Säuglingsalter (Rogers, 2011a): Er verglich die Entstehung der lagebedingten Plagiozephalie während der ersten Monate mit dem Auftreten einer Abflachung eines großen Kürbis auf dem Feld. Nach seiner Erklärung bildet die Gewichtskraft des Kopfes aufgrund der Schwerkraft eine Kraft gegen die Auflagefläche. Nach dem ersten Newtonschen Gesetz entsteht dadurch eine Gegenkraft in umgekehrter Richtung. Diese Gegenkraft verhindert die Expansion des Schädels in entsprechender Richtung, sodass es bei, wie auch immer ursächlicher, dauerhafter Ruheposition am Hinterkopf zur Entstehung beziehungsweise zur weiteren Ausprägung der Abflachung kommt.

1.3 Risikofaktoren

Joganic et al. führten 2009 eine Studie zur Untersuchung der Risikofaktoren für die Entstehung einer lagebedingten Plagiozephalie durch (Joganic et al., 2009). Im Rahmen dieser Studie wurden Daten von mehr als 20.000 Kleinkindern ausgewertet und Risikofaktoren identifiziert. Zunächst überwiegt die Anzahl

männlicher Patienten die Anzahl der weiblichen Patienten deutlich – im Verhältnis 2:1. Neben den in der Studie genannten und bereits bekannten Risikofaktoren männliches Geschlecht (Hutchison et al., 2003), angeborener muskulärer Schiefhals (Golden et al., 1999), Rückenschlafposition und Mehrlingsgeburten (Peitsch et al., 2002), wurden Erstgeburt, intrauterine Steiß- oder Querlage und Zwillingsgeburten (besonders zweieiige) bei Joganic et al. als weitere Hauptrisikofaktoren herausgearbeitet. Durch Littlefield et al. konnte gezeigt werden, dass Mehrlingsgeburten zu einer deutlichen Erhöhung des Risikos eines Plagiozephalie führen (Littlefield et al., 1999). Dabei stellte sich heraus, dass vor allem der tiefer im Uterus liegende Fetus ein erhöhtes Risiko für das Auftreten einer Plagiozephalie hat (Littlefield et al., 2002).

Als bedeutendster Faktor wird allerdings studienübergreifend eine einseitige Schlafposition angegeben (Joganic et al., 2009, Littlefield et al., 1999, Mawji et al., 2014).

Van Vlimmern et al. differenzieren die vorhandenen Risikofaktoren hinsichtlich des Zeitpunktes des Auftretens in eine frühe Form – direkt nach der Geburt – sowie eine späte Form – 7 Wochen postnatal (van Vlimmeren et al., 2007). Risikofaktoren unmittelbar nach Geburt sind: männliches Geschlecht und insbesondere Erstgeburt. Risikofaktoren zum zweiten Untersuchungstermin (7 Wochen postnatal) sind ebenso männliches Geschlecht und Erstgeburt, zudem die Kopfposition beim Schlafen, die Liegeposition auf dem Wickeltisch, die Haltung beim Trinken aus der Flasche sowie die Dauer der Zeit in Bauchlage während das Kind wach ist. Zudem reduziert nach van Vlimmern et al. das frühzeitige Erreichen motorischer Meilensteine der Entwicklung das Risiko des Auftretens einer Plagiozephalie deutlich.

In der Studie von McKinney et al. wurde zusätzlich zwischen Kindern, die zwischen 1987 und 1990 geboren wurden und Kindern, die zwischen 1991 und 2002 geboren wurden, unterschieden (McKinney et al., 2008). Grund dieser Differenzierung ist die 1992 durchgeführte Kampagne der American Academy of Pediatrics, welche die Empfehlung zur Schlafposition in Rückenlage gab (siehe dazu Kap.1.6). Zum einen bestätigt die Studie von McKinney die Ergebnisse von

van Vlimmern et al. bezüglich der Schlafposition in Rückenlage als möglichen Risikofaktor, zum anderen wurde das im Beobachtungszeitraum gestiegene Alter der Mutter mit einem Alter ≥ 35 Jahren als weiterer Risikofaktor identifiziert.

1.4 Langzeitfolgen

Die durch lagebedingte Plagiozephalie hervorgerufenen Spätfolgen sind laut einer Studie von Steinbok et al. hauptsächlich eine beeinträchtigte Kosmetik (Steinbok et al., 2007), aber auch eine Beeinträchtigung der schulischen Leistungen wird beschrieben (Miller and Clarren, 2000). In der von Steinbok et al. durchgeführten Studie empfanden ca. 58% der befragten Eltern die aufgetretene Asymmetrie auffallend - immerhin 20% waren sogar beunruhigt. Weiterhin wurde ein kleiner Teil der betroffenen Kinder auf eine vorhandene Asymmetrie angesprochen oder aufgrund dessen sogar gehänselt. Sowohl in dieser Studie wie auch in der Studie nach Miller et al. wird zudem postuliert, dass rund ein Drittel aller mit lagebedingter Plagiozephalie diagnostizierten Kinder in der Grundschule spezielle Hilfe in Form von Nachhilfe, Physiotherapie, Ergotherapie oder Sprachtherapie benötigten (Miller and Clarren, 2000), wohingegen lediglich 7% der Geschwisterkinder ähnliche Unterstützungen in Anspruch nehmen mussten.

Des Weiteren beschreiben Robinson et al. und Kennedy et al. einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten einer Plagiozephalie und verzögerter motorischer Entwicklung (Robinson, 2010, Kennedy et al., 2009). Allerdings wird dieser Zusammenhang von van Vlimmeren et al. widerlegt (van Vlimmeren et al., 2008). Kluba et al. fanden zudem Hinweise für einen Zusammenhang zwischen dem frühkindlichen Auftreten einer lagebedingten Plagiozephalie und dem Auftreten einer Malokklusion im Milchgebiss. Zudem kam es, in der mit einem Helm behandelten Versuchsgruppe, öfter zu Deviationen des Ober-, als auch des Unterkiefers. Diese Zusammenhänge stellten sich zwar nicht als statistisch signifikant dar, dennoch konnte diese Studie Tendenzen aufzeigen, dass die Milchzahndentition ggf. Einflüssen einer früheren beziehungsweise persistierenden lagebedingten Plagiozephalie unterliegt (Kluba et al., 2016).

Erste Hinweise für das Auftreten und erste Ansätze der Quantifizierung einer Gesichtsbeteiligung liefern Meyer-Marcotty et al. in ihrer 2015 veröffentlichten Studie. Anhand von einfachen Landmarken und den sich dadurch ergebenden Strecken konnten sie eine Auswirkung der neurokraniellen Asymmetrie mit Fortleitung der Wachstumsstörung bis zum Mittelgesicht nachweisen (sog. „Top-Down-Development“) (Meyer-Marcotty et al., 2015).

1.5 Inzidenz

Zur Inzidenz der lagebedingten Plagiozephalie werden in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben gemacht. Die Häufigkeiten reichen dabei von 1 zu 60 (Argenta et al., 1996), über 1 zu 20 (Clarren, 1981), bis sogar 1 zu 5 (Cunningham and Heike, 2007) mit deutlich steigender Tendenz seit 1992. Ursächlich für diese Zunahme wird die sogenannte „Back to Sleep“-Kampagne der American Academy of Pediatrics (AAP) (AAP Task Force on Infant Positioning and SIDS, 1992) angesehen. Mit Empfehlung der Schlafposition in Rückenlage durch die AAP konnte ein massiver Anstieg der diagnostizierten Fälle von Plagiozephalie beobachtet werden (Argenta et al., 1996, Kane et al., 1996b, Littlefield et al., 2004b, Turk et al., 1996, McKinney et al., 2008).

Sowohl van Vlimmeren et al. wie auch Hutchinson et al. konnten eine Abhängigkeit zwischen Alter und der Prävalenz von Plagiozephalie im jeweiligen Untersuchungszeitraum feststellen. Van Vlimmeren wies nach, dass von 380 untersuchten gesunden Neugeborenen lediglich 9 von 23 mit initial aufgetretener Plagiozephalie bei der Nachuntersuchung (7 Wochen postnatal) nach wie vor eine Plagiozephalie aufwiesen. Allerdings entwickelten auch 75 Kinder während dieser Zeit eine Plagiozephalie (van Vlimmeren et al., 2007).

Hutchinson et al. differenzieren in ihrer Studie sogar zwischen fünf Untersuchungszeitpunkten. Diese waren im Speziellen 6 Wochen, 4, 8, 12 und

24 Monate nach Geburt, mit folgenden Häufigkeiten für das Auftreten einer Plagiozephalie oder einer Brachyzephalie: 16,0 %, 19,2 %, 9,2%, 6,6%, 3,3%. Trotz unterschiedlichster Datenlage bezüglich der tatsächlichen Häufigkeit für das Auftreten einer Plagiozephalie scheint die Geschlechterverteilung eindeutig zu Lasten des männlichen Geschlechts verschoben zu sein (McKinney et al., 2008, Mulliken et al., 1999, McKinney et al., 2009, Boere-Boonekamp and van der Linden-Kuiper, 2001).

1.6 Die „Back to Sleep“-Kampagne

Die American Academy of Pediatrics veröffentlichte 1992 eine Studie, in der ein klarer Zusammenhang zwischen der „prone sleeping position“ (Bauchlage des Säuglings beim Schlafen) und dem Auftreten des plötzlichen Kindstods (SIDS, Sudden Infant Death Syndrom) dargelegt wird. Um das Risiko des plötzlichen Kindstods zu senken, lautete die eindeutige Empfehlung der AAP daraufhin die Säuglinge in der „supine sleeping position“, also in Rückenlage zum Schlafen zu legen (AAP Task Force on Infant Positioning and SIDS, 1992).

Die auf diese Studie folgende „Back to Sleep“-Kampagne führte in den Folgejahren zu einem enormen Rückgang des plötzlichen Kindstods um ca. 40%. Gleichzeitig konnte ein Rückgang der Schlafposition in Bauchlage von ursprünglich 70% auf unter 20% beobachtet werden (AAP Task Force on Infant Positioning and SIDS, 2000). Weiterhin spricht die AAP in diesem Artikel aus dem Jahr 2000 und in einem bereits 1996 (AAP Task Force on Infant Positioning and SIDS, 1996) veröffentlichten Artikel die Empfehlung der Rückenlage beim Schlafen aus, betont aber, dass durch verschiedene Studien aus Großbritannien und Neuseeland auch die seitliche Schlafposition als sicher angesehen werden kann. Dennoch bestehe dadurch ein Restrisiko, bedingt durch die Instabilität der seitlichen Schlafposition und ein Rotieren in die Bauchlage.

In Folge der „Back to Sleep“-Kampagne der AAP 1992 kam es in den Folgejahren zu einem enormen Anstieg der diagnostizierten Fälle von

Plagiozephalie, sodass deren Auftreten auch zunehmend an klinischer Relevanz gewann (Argenta et al., 1996, Turk et al., 1996).

1.7 ARGENTA-Klassifikation

Louis C. Argenta beschäftigte sich schon früh und eingehend mit den lagebedingten Fehlformen und beschreibt unter anderem anhand von CT-Bildern die für lagebedingte Schädeldeformitäten charakteristischen Veränderungen. Dies sind für den Gesichtsbereich im Einzelnen: Abflachung der kontralateralen Stirn mit gleichzeitiger Vorwölbung der ipsilateralen Stirn nach anterior und lateral, sowie die Verschiebung der Maxilla in gleicher räumlicher Orientierung (Argenta et al., 1996). Abbildung 1 veranschaulicht die von Argenta beschriebenen Veränderungen.

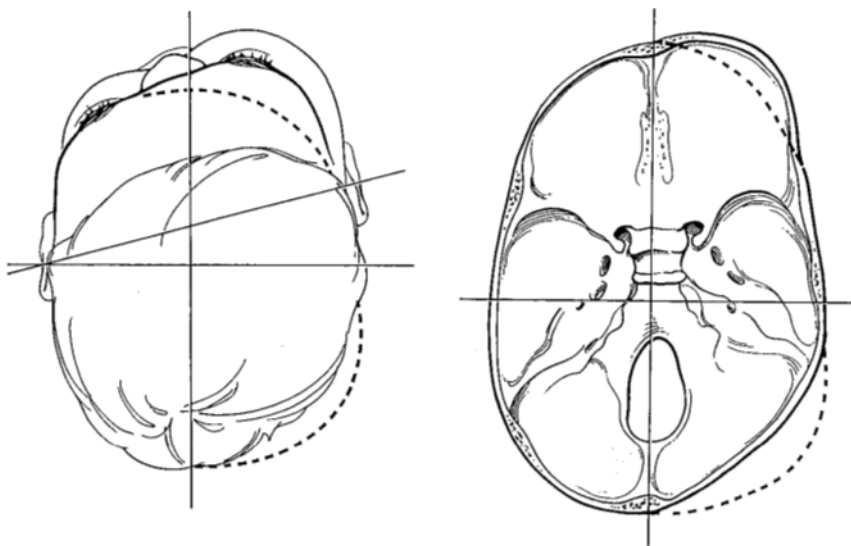


Abbildung 1: Gesichtssymmetrie nach Argenta (Argenta et al., 1996).

In einer 2004 publizierten Studie stellt er dann erstmals ein System zur Klassifizierung vor, welches er seit 1998 klinisch anwandte (Argenta et al., 2004). Dabei verzichtet Argenta gänzlich auf anthropometrische Messung, bildgebende Verfahren oder dreidimensionale Fotografien. Lediglich eine gründliche klinische Beurteilung der visuell erfassbaren Merkmale findet Einzug in das von ihm

vorgestellte System. Vorteil dieser Klassifikation ist eine unkomplizierte, schnelle und ausreichend gut reproduzierbare Einteilung der Fehlformen.

Argenta-Klassifikation für lagebedingte Plagiozephalie

Argenta definiert für die Klassifizierung der lagebedingten Plagiozephalie fünf Typen, abgestuft nach dem Vorhandensein der charakteristischen klinischen Symptome.

Die Argenta-Klassifikation ist in Tabelle 1 und Abbildung 2 dargestellt:

Klinische Beobachtung	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V
Hinterkopfasymmetrie	X	X	X	X	X
Fehlstellung des Ohrs	-	X	X	X	X
Stirnasymmetrie	-	-	X	X	X
Gesichtsasymmetrie	-	-	-	X	X
Temporale/vertikale Deformation	-	-	-	-	X

Tabelle 1: Einteilung der lagebedingten Plagiozephalie nach Argenta et al. (Argenta et al., 2004)

Occipital Plagiocephaly

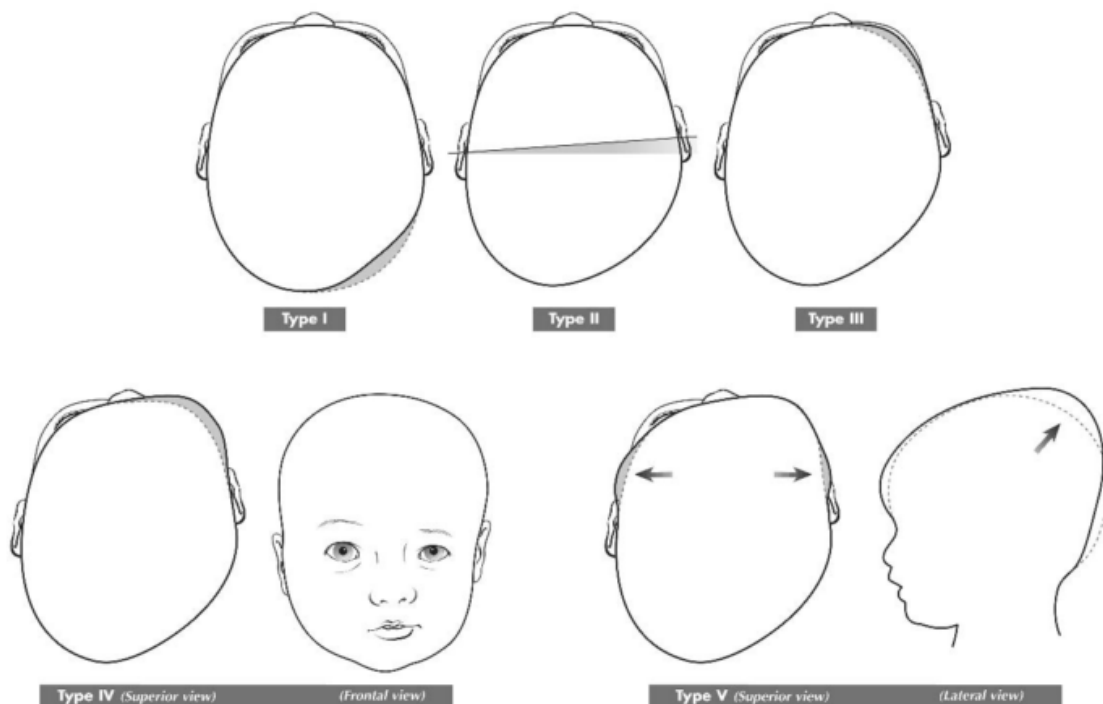


Abbildung 2: Einteilung der lagebedingten Plagiozephalie nach Argenta et al. (Argenta et al., 2004)

Argenta-Klassifikation für lagebedingte Brachyzephalie

Die lagebedingte posteriore Brachyzephalie hat einen Anteil von 15% aller lagebedingten Kopfdeformitäten und erhält aufgrund dessen eine separate Einteilung, welche analog zur Klassifikation für die Plagiozephalie strukturiert ist und die Subtypen wieder anhand der charakteristischen Merkmale unterschieden werden (Argenta et al., 2004).

Tabelle 2 und Abbildung 3 verdeutlichen die Klassifikation für die lagebedingten Brachyzephalie:

Klinische Beobachtung	Typ I	Typ II	Typ III
Zentrale Deformation des Hinterkopf	X	X	X
Verbreiterung des Hinterkopfes	-	X	X
Temporale/vertikale Deformation	-	-	X

Tabelle 2: Einteilung der lagebedingten Brachyzephalie nach Argenta et al. (Argenta et al., 2004)

Posterior Brachiocephaly

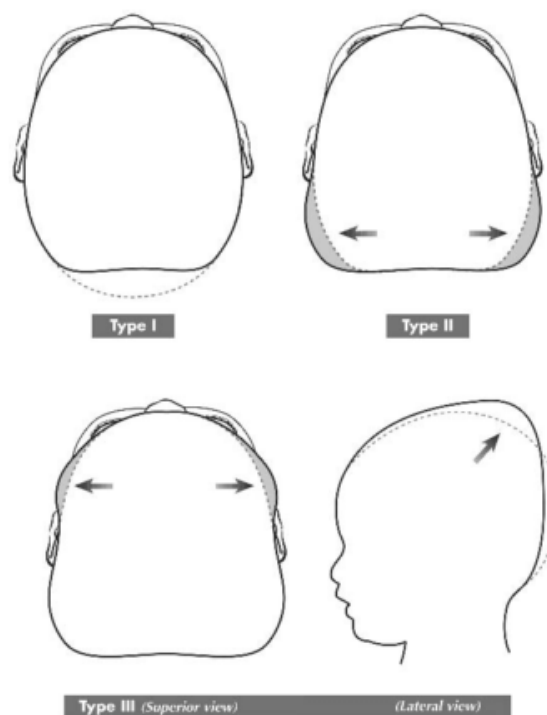


Abbildung 3: Einteilung der lagebedingten Brachyzephalie nach Argenta et al. (Argenta et al., 2004)

Zur Evaluation der von Argenta vorgestellten Klassifikation führten Spermon et al. im Jahr 2006 eine Studie durch, in der Behandler verschiedener Fachrichtungen nach einstündigem Briefing Kinder mit lagebedingter Plagiozephalie klassifizieren sollten. Die Studie kam allerdings zu dem Ergebnis, dass die Argenta-Klassifikation zwar im klinischen Alltag eine einfache Möglichkeit der Einteilung nach Schweregrad bietet, allerdings zur graduellen Einteilung der lagebedingten Plagiozephalie zu unzuverlässig ist (Spermon et al., 2008).

Die anthropometrische Vermessung und damit eine objektivierbare Alternative zur Beurteilung und Bewertung der Hinterkopfasymmetrie stellen die von Loveday und De Chalain vorgestellten Indices CVAI und CI dar (Loveday and De Chalain, 2001).

Der CVAI (Cranial Vault Asymmetry Index) bietet dabei die Möglichkeit der Quantifizierung von Plagiozephalien, indem die 30°-Schädeldiagonalen ins Verhältnis gesetzt werden. Perfekt symmetrische Schädel zeigen dabei einen CVAI von 0%. Werte $\geq 3,5\%$ gelten als deutlich asymmetrisch.

Der CI (Cranial Index) hingegen wird zur Bemessung bei Brachyzephalie verwendet. Er gibt das Verhältnis von Schädelbreite zur Schädelhöhe an. Der Normbereich liegt hierbei zwischen 75% und 85%.

Für weitere Erläuterungen insbesondere des CVAI und dessen Bedeutung für die hier vorgelegte Studie finden sich im Kapitel 2. *Material und Methoden* und dessen Unterkapitel 2.3 *CVAI*.

1.8 Behandlungsansätze

Die Behandlungsansätze zur Therapie der lagebedingten Plagiozephalie beinhalten unterschiedlichste Konzepte. Vernet et al. beschreiben sowohl einfache Präventionsmaßnahmen wie zum Beispiel frühzeitige Aufklärungsmaßnahmen durch den behandelnden Kinderarzt, als auch unterschiedliche Lagerungsmaßnahmen durch wechselseitige Position von „Aufmerksamkeitsmagneten“ (z.B. Fenster, Spielzeug, Mobilé etc.) (Vernet et al., 2008). Des Weiteren werden, abhängig vom Schweregrad der lagebedingten Plagiozephalie, Physiotherapie, Osteopathie, Helmtherapie und in Einzelfällen sogar operative Behandlungskonzepte genannt. Eine Vielzahl weiterer Studien kommen dabei zum gleichen Ergebnis und belegen die Diversität der Behandlungskonzepte in Abhängigkeit vom Schweregrad der lagebedingten Plagiozephalie (Robinson and Proctor, 2009, Gautschi et al., 2013, Biggs, 2003, Morrison and Chariker, 2006, Persing et al., 2003). Die Therapie mithilfe einer individuell angepassten Koporthese – eines Helms – erzielte dabei am schnellsten sichtbare Erfolge (Bruner et al., 2004) und dies vor allem bei ausgeprägter Asymmetrie vor Behandlungsbeginn (Kluba et al., 2014). Eine chirurgische Intervention zur Behandlung der Schädeldeformitäten bleibt dabei der Plagiozephalie bedingt durch Kraniosynostosen vorbehalten. Aufgrund hoher Risiken und dem fraglichen kosmetischen Behandlungserfolg ist eine chirurgische Behandlung einer lagebedingten Plagiozephalie, auch als letzte Option (de Ribaupierre et al., 2007, Persing et al., 2003) heute obsolet.

Um die Effektivität der verschiedenen Behandlungskonzepte beurteilen zu können, fehlt es bisher sowohl an randomisierten Studien mit entsprechenden Kontrollgruppen, (Bialocerkowski et al., 2005) als auch an einheitlichen Bewertungs- und Beurteilungskriterien: Moss et al. (Moss, 1997) bewertete den CVA (cranial vault asymmetry), Mulliken et al. (Mulliken et al., 1999) vermaßen

die Differenz der Schädeldiagonalen und Vles et al. (Vles et al., 2000) bewerteten die durch Eltern wahrgenommenen Schädeldeformitäten.

Des Weiteren ist die Therapia nulla ein Unsicherheitsfaktor in der Bewertung der Behandlungskonzepte und deren therapeutischem Ergebnis. Unstrittig ist, dass das normale Schädelwachstum bei ausreichender Mobilität zu einer spontanen Besserung führt beziehungsweise eine Schädelasymmetrie erst gar nicht zur Ausprägung kommt (Cavalier et al., 2011). Unklar bleibt jedoch, inwieweit diese Besserung auch ohne therapeutisches Eingreifen als alleiniger Korrekturfaktor ausreicht. Kluba et al. untersuchten in einer 2014 veröffentlichten Studie den therapeutischen Outcome einer Helmtherapie anhand des CVAI und verglichen diesen zu Kindern mit lagebedingter Plagiozephalie ohne Helmbehandlung. Dabei konnte eine Verbesserung der Schädelasymmetrie auch ohne Helm festgestellt werden. Diese lag im Umfang jedoch deutlich unter der Besserung, die mit Helm in wesentlich kürzerer Zeit erreicht wurde (Kluba et al., 2014).

1.8.1 Lagerungstherapie und -hilfen

Als einfachste Behandlungsalternative gilt die Lagerungstherapie. Diese kann durch einfaches Umlagern des Kindes oder mit Lagerungshilfen bewerkstelligt werden. Ziel der Lagerungshilfe ist besonders bei Risikokindern primär die Prävention beziehungsweise bei bereits entstandener Deformität des Kopfes eine Stabilisierung und das Verhindern einer weiteren Abflachung. Das Prinzip der Lagerungshilfen beruht im Allgemeinen darauf, die Schlafposition in Rückenlage zu stabilisieren und durch einen vorgebildeten Hohlraum die abgeflachte Stelle des Kopfes beim Liegen auf dem Rücken zu entlasten. Einfachste Form der Lagerungshilfe ist dabei der auch in der Helmsprechstunde der Universität Tübingen angewendete Ring aus Mullbinden und einem Verbandsstrumpf. Selbstverständlich bietet der Markt auch weitaus aufwendigere Lagerungsbehelfe wie Lagerungskissen (bspw. Babydorm® der Firma Simonata) oder auch Lagerungsschalen (bspw. PlagioCradl®) (Rogers, 2011b). Allerdings ist die Studienlage bezüglich der reinen Behandlung mithilfe von Lagerungshilfen nicht eindeutig: Wilbrand et al. beschreiben die Therapie mithilfe

eines Lagerungskissens als ebenbürtig zu angewandeter Physiotherapie (Wilbrand et al., 2013) und auch Hutchinson et al. beschreiben zwar eine Verbesserung der Schädeldeformität unter Lagerungstherapie in Kombination mit Physiotherapie, stellen aber die Ursache nicht eindeutig dar (Hutchison et al., 2010).

Argenta et al. beschreiben die Lagerungstherapie hingegen vor allem bei geringgradiger Schädeldeformität (Argenta-Klasse I) als zu bevorzugende Therapieform mit ausreichendem Therapieerfolg (Argenta et al., 2004). Schwerwiegendere Fälle können allerdings mit Hilfe der Helmtherapie effektiver und effizienter behandelt werden (Robinson and Proctor, 2009, Paquereau, 2013) (s.a. Kapitel 1.8.4 *Helmtherapie*).

1.8.2 Physiotherapie

Physiotherapie ist ein weiteres nichtinvasives Behandlungskonzept zur Therapie der lagebedingten Plagiozephalie. Durch Physiotherapie wird zum einen das Risiko der Entwicklung einer (schweren) lagebedingten Plagiozephalie deutlich verringert, zum anderen ist Physiotherapie vor allem bei leichten bis mittelgradig schweren Fällen die Therapie der Wahl (Bialocerkowski et al., 2005, van Vlimmeren et al., 2008, Bialocerkowski, 2008, Moss, 1997). Kluba et al. postulieren die Anwendung von Physiotherapie auch zeitgleich zu einer Helmtherapie im Falle einer schweren lagebedingten Plagiozephalie. (Kluba et al., 2011).

1.8.3 Osteopathie

Die Ursprünge dieser der Alternativmedizin zugesprochenen Behandlungsansätze gehen bis ins 19. Jahrhundert zurück und fanden erstmals durch den Amerikaner Andrew Taylor Still unter dem Begriff der Osteopathie Erwähnung (Klein et al., 2011). Damals wie heute begründet sich diese Behandlung auf das Zusammenspiel von Nerven, Blutbahnen, Knochen und Gelenken. Dabei wird der Körper als Einheit betrachtet, deren (Un-)

Gleichgewicht vom Osteopathen anhand der Spannung von Muskeln, Knochen und Gelenken erkannt und therapiert werden kann (deGruyter, 2004). Hauptanwendungsgebiet ist aus heutiger Sicht die Behandlung von Rücken-, Schulter- und Nackenproblemen (Klein et al., 2011).

Osteopathie stellt in Bezug auf lagebedingten Schädeldeformitäten nach einer Studie von Sergueef et al. primär eine diagnostische Methode zur Identifizierung von Risikokindern dar (Sergueef et al., 2006). Lessard et al. (Lessard et al., 2011) sowie Amiel-Tison et al. (Amiel-Tison and Soyez-Papiernik, 2008) beschreiben die osteopathische Behandlung von Kindern mit lagebedingter Plagiozephalie sogar als echte Alternative beziehungsweise als sinnvolle Ergänzung zu anderen konservativen Behandlungsformen, wie bspw. Physiotherapie und Lagerungstherapie.

1.8.4 Helmtherapie

Die Therapie der lagebedingten Plagiozephalie mithilfe einer Kopforthese – also eines Helms – verfolgt die denkbar einfache Idee das Wachstum des Säuglingsschädels zu steuern. Dabei werden im Bereich der Abflachungen des Hinterkopfes und der Stirn im Helm Hohlräume geschaffen, in welche der stetig wachsende Kopf des Säuglings hineinwachsen kann. Bereits in den 1970er Jahren gab es erste Berichte über die erfolgreiche Verwendung von Helmen zur Therapie von Schädeldeformitäten (Clarren et al., 1979, Clarren, 1981). Auf dem gleichen Prinzip der Wachstumslenkung werden auch heutzutage noch Helme zur Therapie der lagebedingten Plagiozephalie benutzt. Durch die individuell angefertigten Helme und die einfache Möglichkeit der Anpassung im Therapieverlauf sind die Ergebnisse der Helmtherapie zufriedenstellend (Rogers, 2011b).

Mit Hilfe der Helmtherapie wird die Kopfasymmetrie signifikant verbessert (Kluba et al., 2014, Graham et al., 2005, Lipira et al., 2010, Rogers et al., 2008) und sogar die Asymmetrie der Schädelbasis kann reduziert werden (Teichgraeber et al., 2002). Dabei erfolgt die Verbesserung der Asymmetrie schneller als in

Vergleichsgruppen ohne Helmbehandlung (Vles et al., 2000) oder Lagerungstherapie (Loveday and De Chalain, 2001).

Als entscheidender Faktor der Effizienz der Helmtherapie stellt sich das Alter des Säuglings bei Behandlungsbeginn dar. Kluba et al. konnten zeigen, dass mit Beginn der Helmtherapie vor dem 6. Lebensmonat ein signifikant besseres und schnelleres Ergebnis erreicht werden konnte, als bei späterem Beginn der Behandlung (Kluba et al., 2011). Obwohl Littlefield et al. (Littlefield et al., 2000) auch von Fällen berichten, in denen eine erfolgreiche Behandlung mit Behandlungsbeginn nach Vollendung des ersten Lebensjahres erfolgreich gewesen sind, bestätigen Kelly et al. (Kelly et al., 1999), Seruya et al. (Seruya et al., 2013) und de Ribaupierre et al. (de Ribaupierre et al., 2007) die Ergebnisse von Kluba et al. und belegen, dass ein frühzeitiger Behandlungsbeginn zu besseren Ergebnissen führt. Die Tragedauer des Helmes beträgt hierbei im Schnitt ca. 13 Wochen (de Ribaupierre et al., 2007). Diese Angabe deckt sich mit den Ergebnissen von Kluba et al., deren durchschnittliche Behandlungsdauer 14 Wochen, bei frühzeitigem Therapiebeginn, beträgt (Kluba et al., 2011). In einer Studie von Yoo et al. (Yoo et al., 2012) werden Behandlungszeiten von rund 8 Monaten angegeben, bei einem Behandlungsbeginn im Alter von etwas jünger als 9 Monaten.

Ein weiterer wichtiger Erfolgsfaktor für ein zufriedenstellendes und schnell erreichtes Behandlungsergebnis ist die Tragezeit des Helms, welche mit 23 Stunden am Tag sehr hoch erscheint. Thompson et al. konnten jedoch zeigen, dass das Behandlungsergebnis signifikant verbessert werden kann, umso größer die Compliance der Eltern und damit die Tragezeit pro Tag ist (Thompson et al., 2009).

Die Helmtherapie ist ein sicheres, gut toleriertes und effektives Behandlungskonzept zur Korrektur von lagebedingten Schädeldeformitäten (Rogers, 2011b). Wenn auch Komplikationen nicht ausgeschlossen werden können, sind diese jedoch nie schwerwiegend und können oftmals durch entsprechende Anleitung der Eltern vermieden oder beseitigt werden. Wilbrand et al. beschreiben im einzelnen Druckstellen, Hautirritationen sowie schlechten

Sitz und Verlust des Helms als mögliche auftretende Komplikationen (Wilbrand et al., 2012).

Zusätzlich zur Behandlung der lagebedingten Plagiozephalie mittels eines Helms ist auch die Therapie einer (lagebedingten) Brachyzephalie möglich. Allerdings ist die Effektivität bei der Behandlung einer Brachyzephalie laut Teichgräber et al. geringer als die der Behandlung von lagebedingter Plagiozephalie (Teichgraeber et al., 2004).

Zusammenfassend lässt sich studienübergreifend festhalten, dass die Therapie mittels eines individuell angefertigten Helms bei moderaten und schweren Fällen der lagebedingten Plagiozephalie die Therapie der Wahl darstellt, obgleich zukünftig noch weitere Forschungen auf diesem Gebiet notwendig sein werden (Bialocerkowski et al., 2005).

1.9 Ziele der Arbeit

Im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung stand die Frage, ob sich eine am Hinterkopf aufgetretene Deformität des Säuglingsschädels auch auf dessen Gesichtsschädel auswirkt. Das Gesicht spielt in jeglicher sozialer Kommunikation eine entscheidende Rolle, sodass die Gesichtsharmonie eine zentrale Stellung einnimmt. Es wurde daher untersucht, ob die entstandene lagebedingte Plagiozephalie auch eine Asymmetrie des Gesichts zwischen betroffener und nicht betroffener Seite zur Folge hat. Ziel der durchgeführten Untersuchungen war es daher zunächst eine Methode zu entwickeln, um die Theorie der Gesichtsbeteiligung zu bestätigen oder verwerfen zu können und diese etwaige Asymmetrie anschließend konkret zu quantifizieren. Die Gesichtsbeteiligung als Folge der lagebedingten Plagiozephalie und daraus entstehender Asymmetrien wurde bereits zu Beginn der oben erwähnten „Back to Sleep“ Kampagne im Jahr 1992 durch Bruneteau et al. festgestellt (Bruneteau and Mulliken, 1992) und fand danach in unterschiedlichsten Studien Erwähnung (Turk et al., 1996, Kelly et al., 1999). Als Ergebnis dieser Erkenntnisse hielt das Auftreten einer Gesichtsasymmetrie in der bereits beschriebenen Argenta-Klassifikation Einzug - allerdings erst ab Argenta-Klasse IV. Untersuchungen zur Quantität dieser auftretenden Asymmetrie sind bisher rar, sodass eindeutig Bedarf zur Aufarbeitung dieser Fragestellung bestand. Insbesondere kann mit einer Quantifizierung auch der therapeutische Erfolg einer Therapie (z.B. Helmtherapie) detaillierter evaluiert werden. Ob und inwieweit ein kranialer Helm auch das Gesicht beeinflusst, ist bis dato nicht suffizient untersucht worden. Diese Lücke im Zusammenhang zwischen lagebedingter Plagiozephalie und einer Gesichtsasymmetrie soll durch die vorliegende Arbeit geschlossen werden. Des Weiteren soll durch die Ergebnisse dieser Studie ein wichtiger Aspekt zur Beurteilung und Entscheidungsfindung im schwierigen Prozess des Abwägens von Therapieoptionen gegeben werden, um die Risiken und Folgen der lagebedingten Plagiozephalie sowie deren therapeutischer Behandlung besser beurteilen zu können.

Zusammengefasst soll die vorliegende Arbeit folgende Anforderungen erfüllen und gegebene Fragestellungen beantworten:

1. Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung der Gesichtsymmetrie bei lagebedingter Plagiozephalie.
2. Untersuchung der Auswirkungen einer Helmtherapie. Primäres Ziel der Helmtherapie ist zwar die Reduktion der Schädelasymmetrie und damit die Korrektur der Abflachung des Hinterkopfes sowie damit einhergehender Senkung des CVAI, jedoch spielt der Einfluss des Helmes auf die etwaig aufgetretene Gesichtsymmetrie aus o.g. Gründen für Patienten, Patienteneltern und Behandler eine entscheidende Rolle. Es wurde deshalb die Gesichtsymmetrie bei lagebedingter Plagiozephalie sowohl prä- als auch posttherapeutisch quantifiziert und verglichen. Dies erfolgte anhand der Auswertung von 3D-Fotografien in Rhinoceros 3D®.
3. Abschließend wurde untersucht, ob das Ausmaß der aufgetretenen Gesichtsymmetrie mit dem der Kopfasymmetrie korreliert. Analysiert wurde dabei ebenfalls sowohl die prä- als auch posttherapeutische Korrelation zwischen Gesichtsymmetrie und dem CVAI.

2. Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Grundlage dieser Arbeit waren prä- sowie posttherapeutische 3D-Fotografien von 100 Kindern, die im Rahmen der Helmsprechstunde der Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie der Universität Tübingen im Zeitraum 2010 bis Ende 2014 mit einem Helm therapiert wurden. Vor Therapiebeginn wurde mittels einer Ultraschalluntersuchung eine Synostose ausgeschlossen und garantiert, dass die Schädelnähte offen sind.

Voraussetzung zur Analyse der Datensätze war deren Vollständigkeit. Als vollständig galten dabei nur Dateien, die folgende Kriterien erfüllten:

- Das Vorhandensein sowohl eines prätherapeutischen, als auch eines posttherapeutischen 3D-Scans, bestehend aus jeweils 5 Einzelaufnahmen (frontal, links, rechts, okzipital und cranial), wobei lediglich die frontale Aufnahme Verwendung fand.
- Folgende Punkte mussten darauf eindeutig erkennbar sein und durften nicht durch Schnuller, Hände oder ähnliches verdeckt werden: Helixansatz des Ohres beidseits, Exo-, Endocanthion beidseits, Nasenflügel beidseits, Mundwinkel beidseits sowie die subnasale Region und die Region der Glabella mit dem Punkt Nasion.
- Die Aufnahme musste in Farbe und mit Textur vorhanden sein.

Insgesamt wurden 344 Patientenordner auf diese Kriterien überprüft, jedoch lediglich 100 hielten den strengen Auswahlkriterien Stand und wurden weiter verwendet.

2.2 3D-Fotographie

Die Kinder wurden im Rahmen der Therapie sowohl prätherapeutisch, als auch posttherapeutisch fotografiert. Die fünf aus unterschiedlichen Richtungen (frontal,

links, rechts, okzipital, kranial) aufgenommenen, prätherapeutischen Aufnahmen dienten hierbei zur softwarebasierten (Mirror®, Medical Imaging Software) Errechnung eines virtuellen 3D-Modells. Dies fand als Grundlage zur Herstellung eines individuellen Helms durch die Firma Cranioform® (Berlin) Verwendung. Posttherapeutisch dienten die Aufnahmen lediglich der Verlaufskontrolle sowie der Falldokumentation.

Als Hilfsmittel zur Vermeidung von Artefakten auf den Bildern und um Volumenabweichungen zu verhindern, wurde den Kindern ein Seidenstrumpf als Mütze bis knapp oberhalb der Ohren auf den Kopf gezogen.

2.3 CVAI

Der CVAI (Cranial Vault Asymmetry Index) wurde im Rahmen der Eingangsbeziehungsweise Abschlussuntersuchung vor beziehungsweise nach Helmtherapie durch den diensthabenden Arzt der Helmsprechstunde erhoben. Der CVAI wird dabei wie folgt errechnet (Loveday and De Chalain, 2001):

$$CVAI = \frac{\text{Diagonale A} - \text{Diagonale B}}{\text{Diagonale A}} \times 100$$

Dabei entspricht die Diagonale A der längeren Diagonalen. Gemessen werden die Diagonalen in einem Winkel von 30° ausgehend von der mittlere Sagittalen.

2.4 Datensätze

Die fünf Einzelaufnahmen wurden durch die Software zu einer 3D-Fotografie verrechnet und lagen dann im OBJ-Format vor. Zur Vermessung der Köpfe wurde Rhinoceros® Version 5 benutzt. Rhinoceros® 5 ist ein von Robert McNeel & Associates entwickeltes Programm, welches ursprünglich für CAD, CAM sowie für 3D-Drucker entwickelt wurde und ein breites Anwendungsgebiet unter anderem in Architektur, Maschinenbau und im Produktdesign besitzt.

2.5 Vermessungsalgorithmus

2.5.1 Grundidee und Umsetzung

Grundidee war der Vergleich von Punktkoordinaten der linken zur rechten Gesichtshälfte. Aufgrund altersbedingter, anatomischer Voraussetzungen eines Babygesichts (runde Gesichter mit dicker Subkutanschicht) schien es zunächst für bestimmte Gesichtsregionen unmöglich beziehungsweise zu unpräzise, Punkte und damit Landmarken als Referenzpunkte für Messungen heranzuziehen. Zudem waren die vorhandenen Landmarken (um Auge, Nase und Mund) zum einen deutlich zu wenig, zum anderen bildeten sie nur einen Teil des Gesichts ab. Wangenweichteile, Jochbögen und laterale Gesichtsanteile würden somit nicht berücksichtigt werden (Weinberg and Kolar, 2005). Dadurch entstand die Notwendigkeit des Erzeugens neuer Punkte.

Dies sollte mit Hilfe von sich schneidenden Ebenen und den daraus entstehenden Schnittpunkten ermöglicht werden. Der Vergleich von linker zu rechter Gesichtshälfte erfolgte durch Differenzbildung der Punktkoordinaten. Der durch zwei Ebenen und die Gesichtsoberfläche gebildete Schnittpunkt erhält dadurch die drei (zu seiner eindeutigen Definition nötigen) Koordinaten. Dabei sind zwei der Koordinatenwerte für die linke beziehungsweise rechte Gesichtshälfte fest vorgegeben (durch die Ebenen), die dritte Koordinate unterscheidet sich zwischen links und rechts aufgrund dessen, dass sie durch die Oberfläche des Gesichts definiert wird. Abbildung 4 verdeutlicht den

beschriebenen Prozess zur Generierung neuer Punktepaare mit Hilfe sich schneidender Ebenen.

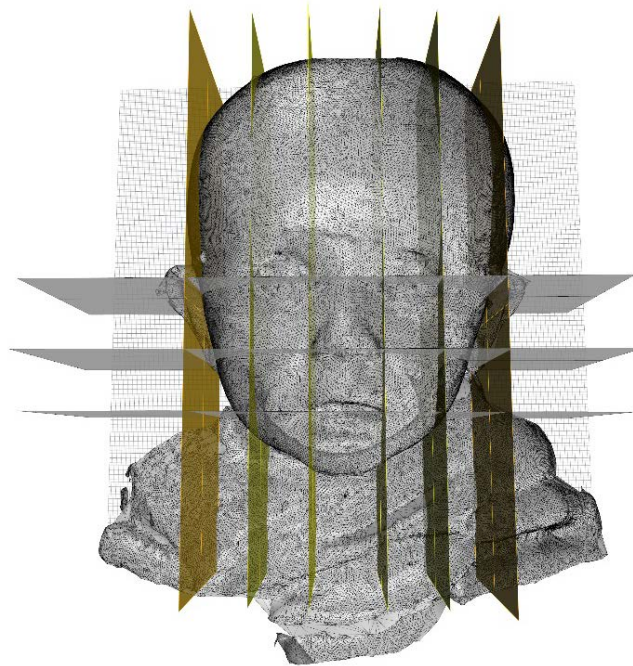


Abbildung 4: Darstellung von sagittalen und horizontalen Ebenen zur Generierung von Punktepaaren

Durch die Definition von jeweils 3 Ebenen in allen Raumrichtungen (somit insgesamt 9 Ebenen) konnten 27 neue Punkte pro Gesichtshälfte definiert werden. Auf diese Weise entstanden pro Kind 27 neue Punktepaare, mit 27 Punkten auf der linken und 27 Punkten auf der rechten Gesichtshälfte. Dabei konnten, je nach Kombination der Ebenen, neun Paare zur Betrachtung der transversalen Asymmetrie, neun Paare zur Betrachtung der vertikalen Asymmetrie sowie neun Paare zur Betrachtung der sagittalen Asymmetrie definiert werden. Allerdings konnten aufgrund der Anatomie, der Asymmetrie und aufgrund von partiellen Defekten der Fotografien nicht immer alle Punkte verwendet werden (weiteres dazu siehe Kapitel 2.6.1).

Im Folgenden wird schrittweise das Vorgehen in Rhinoceros® 5 erklärt.

2.5.2 Definition eines Koordinatensystems: Ausrichtung der Köpfe

Grundlage der Vermessung war die Definition fixer, sicher auffindbarer und einfach reproduzierbarer Landmarken, anhand derer die Köpfe im Koordinatensystem ausgerichtet werden konnten. Das Vorgehen ist angelehnt an das Verfahren von Meyer-Marcotty (Meyer-Marcotty et al., 2013). Es wurde allerdings an die Anforderungen der vorgelegten Studie angepasst und erweitert.

Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

Zunächst wurden linker und rechter Helixansatz (Hl, Hr), Nasion (N) sowie der Subnasalpunkt (SN) (Farkas, 1994) markiert. Anschließend wurden linker und rechter Helixansatz verbunden und die Verbindungslinie halbiert (M). Dieses Vorgehen wurde in Anlehnung an das Vorgehen in einer Studie von Schweitzer et al. (Schweitzer et al., 2013) durchgeführt. Verbindet man nun M mit N und SN wurde dadurch eine Dreiecksfläche aufgespannt, welche in sagittaler Richtung durch den Kopf verläuft (siehe Abbildung 5).

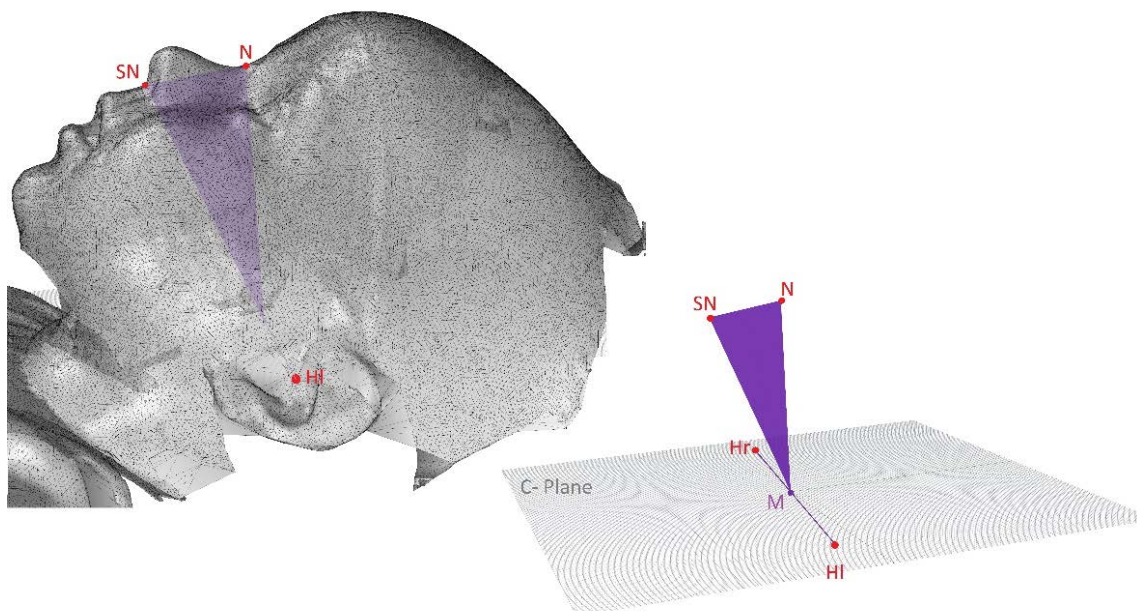


Abbildung 5: Konstruktion zur Ausrichtung der Köpfe im Koordinatensystem

An dieser Fläche wurde nun das Koordinatensystem ausgerichtet. Punkt M bildet den Ursprung (0,0,0) des Koordinatensystems. Die z-Achse wird durch die Strecke M- N definiert, die x-Achse steht senkrecht auf der Dreiecksfläche und verläuft durch M. Ausgerichtet ist sie dabei jeweils nach der kontralateralen Seite der Abflachung (z.B. von Plagiozephalie betroffene Seite ist links, dann zeigt die x-Achse nach rechts). Die y-Achse ergibt sich aufgrund der Orthogonalität des Koordinatensystems automatisch. Sie repräsentiert die Körperachse.

Zudem wird durch die x-Achse und die y-Achse die sogenannte C-Plane (graue Fläche in Abbildung 5) aufgespannt. Diese C-Plane dient als Grundebene für die später erhobenen Koordinaten der Schnittpunkte.

Durch dieses Vorgehen konnte jeder 3D-Scan gleichartig in ein Koordinatensystem überführt und damit vergleichbare Messungen erst möglich gemacht werden.

2.5.3 Definition der Bezugsebenen

Die benötigten Bezugsebenen wurden ebenfalls systematisch festgelegt. Hierbei fand folgendes Vorgehen Anwendung:

Zunächst wurden Landmarken markiert. Dies waren im Einzelnen:

- Exocanthion links/rechts (EXl, EXr)
- Endocanthion links/rechts (ENl, ENr)
- seitlichster, basaler Ansatz der Nasenflügel (ALl, ALr)
- die Mundwinkel (MWl, MWr)

Abbildung 6 verdeutlicht die gesetzten Landmarken sowie die korrespondierenden Mittelpunkte (M1=M1a, M2, M3).

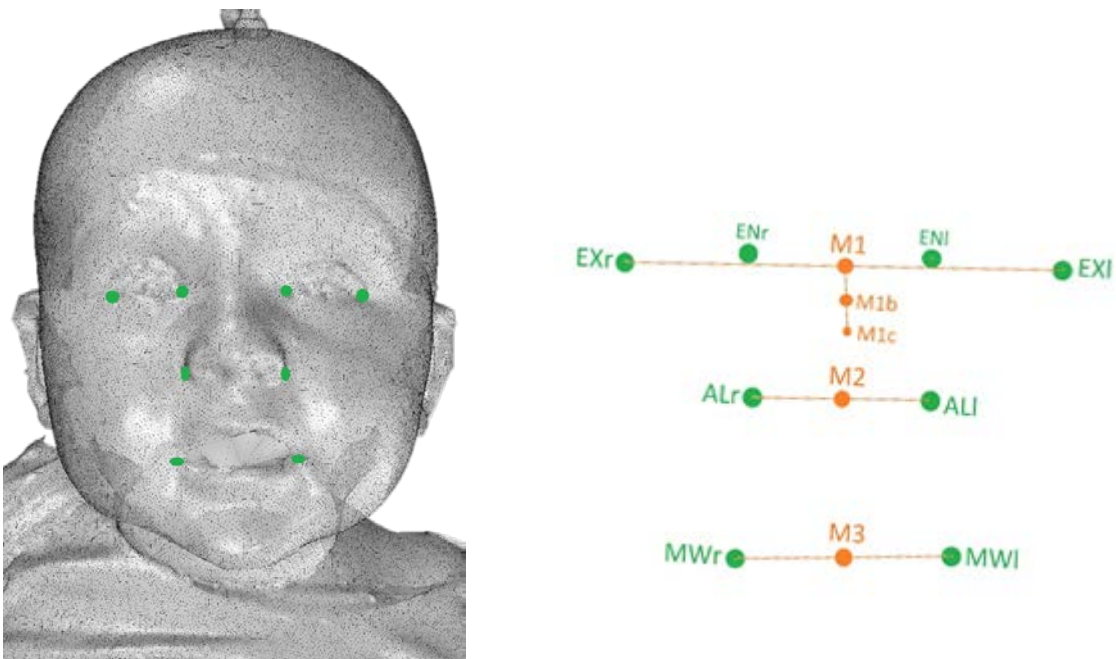


Abbildung 6: Landmarken (grün) mit korrespondierenden Mittelpunkten (orange)

Anschließend wurden jeweils die Mitten zwischen den Punkten EXl, EXr; ALl, ALr und MWl, MWr markiert (entspricht M1, M2, M3). Als nächstes wurde ein Lot

ausgehend von M1 auf die C-Plane gefällt, die entstandene Strecke geviertelt und die Punkte ausgehend von M1 markiert (M1a, M1b, M1c).

Definition der Ebenen:

a. 3 frontale Ebenen (F1, F2, F3)

Diese Ebenen sind frontal am Kopf orientiert und damit parallel zur Grundebene C-Plane. Sie liegen auf Höhe von M1a (=M1), M1b und M1c. F1 ist somit am weitesten ventral, dahinter F2 und auf halber Strecke von M1 zu C-Plane liegt dann F3. Zur Verdeutlichung des Verlaufs der Ebenen siehe Abbildung 7.

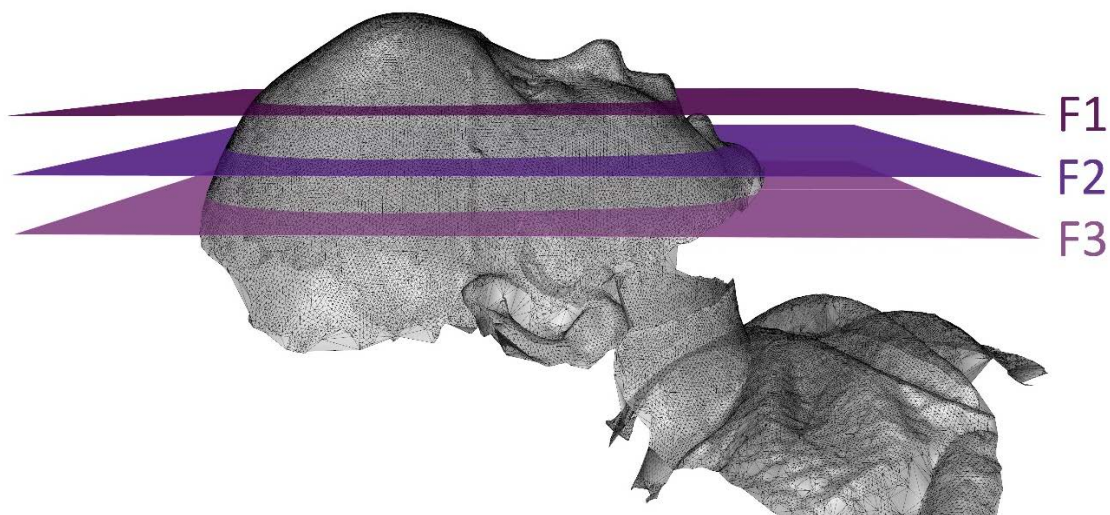


Abbildung 7: frontale Ebenen F1, F2, F3

b. 3 sagittale Ebenen (S1, S2, S3) pro Seite

Diese Ebenen sind sagittal im Kopf ausgerichtet. Grundsätzlich wurden die sagittalen Ebenen an der kontralateralen Seite der Plagiozephalie orientiert und dann zur Gegenseite gespiegelt.

S1 läuft durch den Punkt ENl beziehungsweise ENr (je nachdem welche Seite betroffen ist) und wird dann auf die Gegenseite gespiegelt. Gleiches Vorgehen für die beiden anderen Ebenen: S2 läuft durch den Punkt EXl beziehungsweise EXr, S3 läuft durch den Punkt HI

beziehungsweise Hr, anschließend wird zur Gegenseite gespiegelt (siehe Abbildung 8).

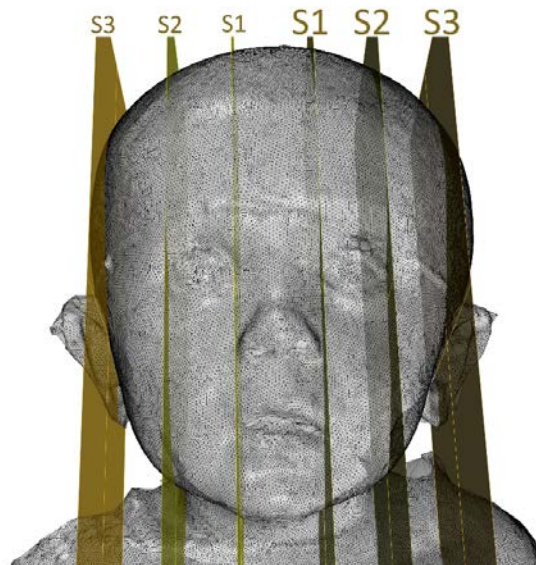


Abbildung 8: sagittale Ebene S1, S2, S3

c. 3 horizontale Ebenen (H1, H2, H3)

Diese Ebenen liegen am Kopf in der Horizontalen orientiert. H1 liegt dabei auf Höhe von M1 (Exocanthion), H2 auf Höhe von M2 (Nasenflügel) und H3 auf Höhe von M3 (Mundwinkel) (Abbildung 9).



Abbildung 9: horizontale Ebene H1, H2, H3

Alle Ebenen stehen orthogonal auf das Koordinatensystem und auf die Ebenen der jeweils anderen beiden Raumrichtungen.

2.5.4 Punktepaare

Die oben erläuterte Definition von Ebenen erlaubt es nun Punktepaare zu definieren. Ein Punktepaar besteht dabei aus zwei Punkten – einer für die linke, einer für die rechte Gesichtshälfte. Ein Punkt hat dabei die Koordinaten (X, Y, Z). Ein Punktepaar unterscheidet sich immer nur in einer Koordinate – abhängig davon, welche Ebenenkombination zugrunde liegt. Die Definition der Punktepaare erfolgt dabei separat für jede Raumrichtung. Dazu wurden immer zwei der oben beschriebenen Ebenenausrichtung kombiniert und geschnitten. Die sich daraus ergebende Schnittgerade definiert zwei der drei Koordinaten des Punktepaars. Die dritte Koordinate wird letztlich über den Schnittpunkt der Schnittgeraden mit der Gesichtsoberfläche definiert.

Als Beispiel zur Erklärung der Vorgehensweise sollen die transversalen Punktepaare dienen – also Punkte, welche links und rechts auf einer transversalen Achse liegen. Dazu werden zunächst die drei frontalen Ebenen (F1, F2, F3) und die drei horizontalen Ebenen (H1, H2, H3) betrachtet. Dies ergibt neun Schnittgeraden mit transversaler Ausrichtung (siehe Abbildung 10).

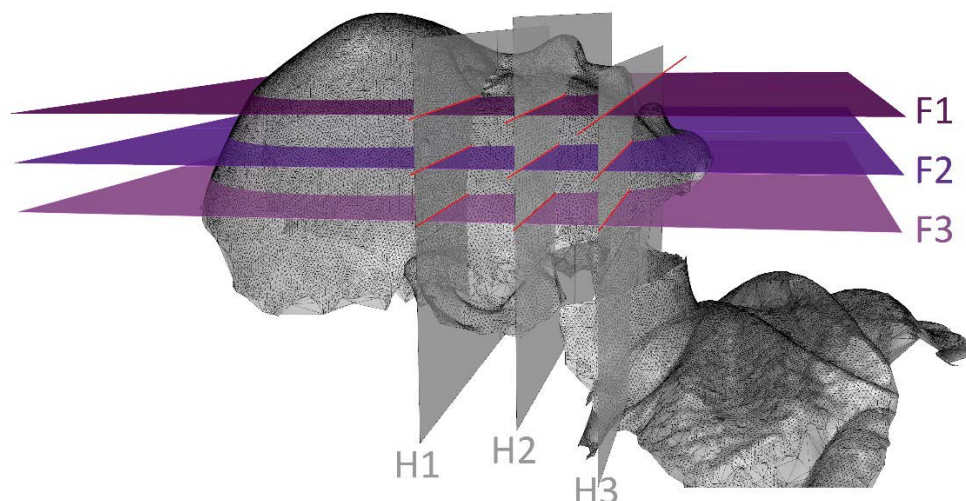


Abbildung 10: Bildung transversaler Punktepaare

Damit sind zwei von drei Koordinaten fixiert, in diesem Fall y und z. Lediglich die Variable der x-Achse ist auf diese Weise veränderbar (da sie parallel zur Schnittgerade verläuft). Diese fehlende Koordinate wird nun durch einen Schnitt der eben definierten Schnittgerade mit der Gesichtsoberfläche gefunden. Damit

entsteht ein Punktepaar auf linker und rechter Gesichtshälfte, das sich ausschließlich in einer Koordinate unterscheidet – in diesem Fall in der x-Koordinate. Führt man dieses Vorgehen für alle neun Schnittgeraden durch, ergeben sich dadurch (theoretisch) neun Punktepaare.

Das gleiche Vorgehen wurde auch für die vertikalen Punktepaare und die sagittalen Punktepaare durchgeführt.

Für die vertikalen Punktepaare wurden die frontalen und sagittalen Ebenen betrachtet, geschnitten und dadurch die Schnittgerade in Ausrichtung der Körperachse definiert. Anschließend wurde erneut mit der Gesichtsoberfläche geschnitten und damit (theoretisch) weitere neun Punktepaare erzeugt, die sich links zu rechts jeweils in lediglich einer Koordinate unterscheiden (hier y-Koordinate).

Für die sagittalen Punktepaare wurden die sagittalen und horizontalen Ebenen betrachtet, geschnitten und die Schnittgerade definiert. In diesem Fall ist die Schnittgerade sagittal ausgerichtet. Anschließend wurden auch hier neun Punktepaare gebildet, indem die Gesichtsoberfläche mit der Schnittgeraden geschnitten wurde. Auch hier unterscheiden sich die Koordinaten links zu rechts lediglich in einer Koordinate (z-Koordinate).

Insgesamt ergab sich aus diesem Vorgehen folgende Nomenklatur für Punktepaare:

- Transversale Punktepaare: F_H_
Kombination aus frontalen Ebenen und horizontalen Ebenen.
Beispiel: F1H2 steht für die erste frontale Ebene und die zweite horizontale Ebene

- Vertikale Punktpaare: F_S_
Kombination aus frontalen Ebenen und sagittalen Ebenen.
Beispiel: F1S3 steht für die erste frontale Ebene und die dritte sagittale Ebene
- Sagittale Punktpaare: H_S_
Kombination aus horizontalen Ebenen und sagittalen Ebenen.
Beispiel: H2S1 steht für die zweite horizontale Ebene und die erste sagittale Ebene.

2.5.5 Klinisch topografische Zuordnung der Punkte

Zur Vereinfachung und späteren Übertragung der Punktpaare in klinische, anatomische Regionen des Gesichts stellt Abbildung 11 die betrachteten Punktpaare in Bezug zu den topografisch anatomischen Regionen des Gesichts dar. Es wurden vereinfachend fünf morphologisch wichtige Gesichtsregionen mit folgenden Punkten definiert:

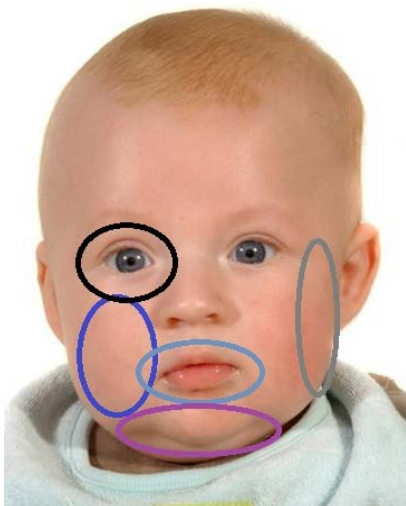


Abbildung 11: anatomische Regionen

Gesichtsregion	Punkte
Regio orbitalis	F1H1, H1S1; H1S2
Regio buccalis	F1H2, F2H2, F2H3, F1S2, F2S2, H2S1, H2S2, H3S2
Regio parotidea	F2H1, F3H1, F3H2, F3H3, F2S3, F3S2, F3S3, H1S3
Regio oralis	F1S1, H3S1
Regio mentalis	F2S1, F3S1

Die Lage der Schnittpunkte in transversaler, vertikaler beziehungsweise sagittaler Ausrichtung in Bezug zu klinisch relevante Gesichtsräumen werden in Abbildung 12 bis Abbildung 14 dargestellt.

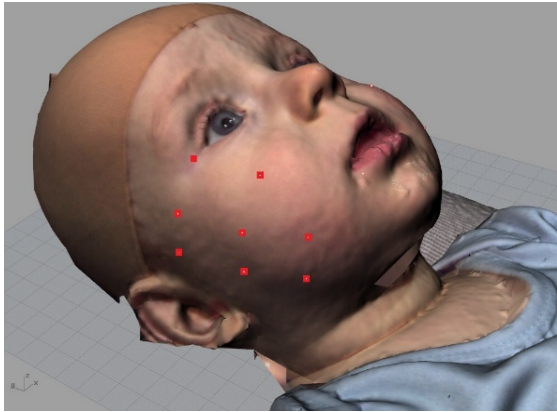


Abbildung 12: Anatomische Region und Schnittpunkte transversal

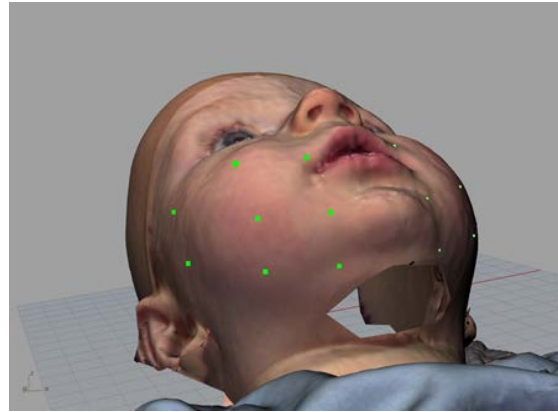


Abbildung 13: Anatomische Region und Schnittpunkte vertikal

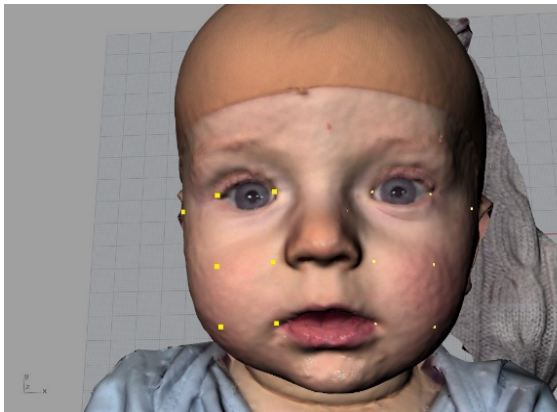


Abbildung 14: Anatomische Regionen und Schnittpunkte sagittal

2.6 Auswertungsstrategien – Aus Punktepaaren werden Differenzen, Quantifizierung der Asymmetrie

Zur statistischen und grafischen Auswertung der Daten wurde IBM® SPSS® Statistics Version 22 verwendet.

Erster Schritt der statistischen Auswertung war die quantitative Auswertung des Patientenkollektivs. Zudem wurde der prä- und posttherapeutische, klinisch erhobene, CVAI festgehalten. Anschließend wurden die gebildeten Differenzen statistisch untersucht.

Grundlage der quantitativen Berechnung einer Gesichtsasymmetrie war die Differenz der Partner eines Punktepaares (s.u.). Dafür wurden zunächst die einzelnen zuvor ermittelten Punkte auf ihre Existenz untersucht.

2.6.1 Punkteexistenz

Untersucht wurden die Punktepaare auf Vollständigkeit. Ein Punktepaar gilt dann als vollständig, wenn die Punktepartner links und rechts vorhanden sind. Nur in diesem Fall kann die Differenz der beiden Punktepartner berechnet werden und damit in weitere Schlussfolgerungen einbezogen werden.

Ursachen für Unvollständigkeit eines Punktepaars waren dabei:

- Asymmetrie: Existenz eines Punktepartners auf einer Seite, Fehlen des anderen Punktepartners auf der anderen Seite.
- Anatomie: Fehlen beider Punkte aufgrund anatomischer Gegebenheiten (Bsp.: sich nach kaudal verjüngendes Gesicht).
- Fotodefekt: Fehlen eines oder sogar beider Punktepartner aufgrund eines partiellen Fehlers im 3D-Scan.

2.6.2 Differenzen der Punktepaare

Folgendes Vorgehen wurde angewendet:

- transversale Differenzen:

$$|x\text{Wert betroffene Seite}| - x\text{Wert nicht betroffene Seite}$$

Das Ergebnis ergibt im Fall der transversalen Differenz immer $(x, 0, 0)$ mit x als absolute Differenz zwischen betroffener und nicht betroffener Seite. Die y - sowie die z -Koordinate sind definitionsgemäß immer 0.

- vertikale Differenzen:

$$-(y\text{Wert betroffene Seite} + 1000) - (y\text{Wert nicht betroffene Seite} + 1000)$$

Das Ergebnis für die vertikalen Differenzen ist $(0, y, 0)$ mit y als absolute Differenz zwischen betroffener und nicht betroffener Seite. In diesem Fall sind die x - beziehungsweise die z -Koordinate definitionsgemäß 0.

Die Addition von 1000 ist notwendig, um auftretende Vorzeichenfehler bei Werten um $y=0$ zu vermeiden.

- sagittale Differenzen:

$$z\text{Wert betroffene Seite} - z\text{Wert nicht betroffene Seite}$$

Das Ergebnis für die sagittalen Differenzen ist immer $(0, 0, z)$ mit z als absolute Differenz von betroffener zu nicht betroffener Seite. In diesem Fall sind die x - beziehungsweise y -Koordinate definitionsgemäß 0.

Nächster Schritt war die Errechnung der sogenannten relativen Differenzen. Dieser Zwischenschritt wurde benötigt, da absolute Werte das im

Patientenkollektiv über den betrachteten Zeitraum auftretende enorme Wachstum des Säuglingsgesichts nicht berücksichtigen. Relative Werte dagegen gewährleisten eine longitudinale Vergleichbarkeit. Dazu wurde die errechnete Differenz in Beziehung gesetzt zur jeweiligen x, y oder z-Koordinate der nicht betroffenen Seite. Dieses Vorgehen ist an die Errechnung des CVAI angelehnt (Loveday and De Chalain, 2001).

Beispiel zur Erläuterung:

Kind links betroffen. Punktepaar: Punkt links (-38,908; -1,058; 52,847), Punkt rechts (35,84; -1,058; 52,847). Subtrahiert man nun die Koordinaten erhält man (3,068; 0; 0). Die relative Differenz errechnet sich nun folgendermaßen:

$$\text{relative Differenz} = \frac{\text{absolute Differenz} * 100}{\text{Koordinate der nicht betroffenen Seite}} = \frac{3,068 * 100}{35,847} = 8,560\%$$

Damit ergab sich eine absolute Differenz betroffen zu nicht betroffen von 3,068 und eine relative Differenz von 8,560%.

2.6.3 Statistik des Patientenkollektivs

Zunächst wurde das Patientenkollektiv deskriptiv hinsichtlich seiner Zusammensetzung untersucht. Im Mittelpunkt standen dabei die Verteilung des Geschlechts sowie die Verteilung der durch die lagebedingte Plagiozephalie betroffenen Seite.

2.6.4 Normalverteilung

2.6.4.1 CVAI

Sowohl die Verteilung des CVAI vor Therapiebeginn, als auch nach Therapieabschluss, wurde auf eine Normalverteilung untersucht. Dazu wurde die

grafische Auswertung in Form eines Histogramms mit Gaußscher Glockenkurve sowie eines Boxplot verwendet (siehe Anhang Kap. 11.1.1).

Des Weiteren wurde der Test auf Normalverteilung nach Shapiro-Wilk durchgeführt. Dabei wird als Nullhypothese eine Normalverteilung angenommen. Ist die Ausgabe des p-Werts größer als die angenommene Signifikanz (Signifikanzniveau = 0,05) kann die Nullhypothese als wahr angenommen werden und es liegt damit eine Normalverteilung vor.

Nach Auswertung der Daten ergab sich sowohl vor Therapiebeginn, als auch nach Therapieabschluss keine Normalverteilung der gemessenen CVAI. Daher wurde für die statistische Auswertung statt eines t-Testes der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test herangezogen und regelhaft der Median statt des Mittelwertes angegeben.

2.6.4.2 Differenzen vor und nach Therapiebeginn

Die Differenzen der Punktpaare wurden ebenfalls einzeln nach transversalen Differenzen, vertikalen Differenzen sowie sagittalen Differenzen auf Normalverteilung mit oben genanntem Verfahren überprüft. Dabei wurde jedes einzelne Punktpaar über das gesamte Patientenkollektiv betrachtet.

Nach Auswertung der Daten ergab sich nicht für alle Punktpaare eine Normalverteilung – detaillierte Ausführungen hierzu im Ergebnisteil 3.3.2 bis 3.3.4. Für eine detaillierte grafische Betrachtung der Normalverteilung der Differenzen sei an dieser Stelle auf die Boxplots (Kap. 11.1.2 und 11.1.3) sowie die Datentabellen (Kap.11.2.1, Tabelle 24 - Tabelle 26) im Anhang verwiesen.

Infolge dieser Beobachtung wurde auch für diese Analysen lediglich der Median verwendet und angegeben. Des Weiteren fand beim prä- zu posttherapeutischen Vergleich ebenfalls der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test Anwendung.

2.6.5 Deskriptive Statistik – Gesichtsymmetrie?

Die Auswertung der intraindividuellen Differenzen wurde wiederum nach Raumebenen sowie vor und nach Therapie durchgeführt. Zusätzlich wurde der klinische Bezug durch die Auswertung der anatomischen Regionen (s.o.) durchgeführt. Betrachtet wurden aus oben genannten Gründen der Median, Minimum und Maximum sowie die Range über das Patientenkollektiv.

2.6.6 Vergleich prä- zu posttherapeutisch – Entwicklung der Gesichtsymmetrie unter Helmtherapie

Ausgewertet wurde die Entwicklung der relativen Differenzen vor Therapiebeginn im Vergleich zu den relativen Differenzen nach Therapieabschluss. Durch Verwendung der relativen Differenzen wurde das immense Wachstum der Kinder in diesem Alter aus der Betrachtung herausgerechnet. Betrachtet wurden hierbei die Mediane der relativen Differenzen vor Helmtherapie sowie die Mediane der relativen Differenzen nach Helmtherapie.

Zusätzlich wurde die intraindividuelle Differenz der prä- zu posttherapeutischen relativen Punktedifferenzen errechnet und in einem zweiten Schritt wiederum der Median dieser intraindividuellen Differenzen (=Δ-Median) ausgewertet. Zur Quantifizierung der Effektivität der Helmtherapie wurde Δ-Median% als prozentuale Maßzahl angegeben. Diese stellt die Veränderung unter Helmtherapie im Vergleich zum Ausgangswert dar (=Δ-Median%).

2.6.7 Korrelation

Es wurde untersucht, ob ein großer CVAI auch eine vergrößerte Differenz der Punktepartner und damit eine größere Gesichtsymmetrie zur Folge hat.

Dazu wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman verwendet. Dieser Koeffizient kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Werte ≤ 0 stehen dabei für einen negativen Zusammenhang, Werte ≥ 0 dagegen für einen positiven Zusammenhang. Liegt der Wert hingegen bei 0 kann kein Zusammenhang

angenommen werden. Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman wird nach folgender Formel berechnet (Ralf-Dieter Hilgers, 2003):

$$r_S(x, y) = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (R(x_j) - \overline{R(X)}) * (R(y_j) - \overline{R(Y)})}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (R(x_j) - \overline{R(X)})^2} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (R(y_j) - \overline{R(Y)})^2}}$$

Dabei sind $R(x_j)$ und $R(y_j)$ die Ränge von x_j beziehungsweise y_j .

$\overline{R(X)}$ und $\overline{R(Y)}$ steht dabei für den Mittelwert der Ränge der beiden Variablen.

3. Ergebnisse

3.1 Patientenkollektiv

Untersucht wurde das Patientenkollektiv hinsichtlich der Geschlechterverteilung sowie der Verteilung der von der Plagiozephalie betroffenen Seite. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

Patientenkollektiv				
		betroffene Seite		Gesamtsumme
		rechts	links	
Geschlecht	männlich	49	28	77
	weiblich	15	8	23
Gesamtsumme		64	36	100

Tabelle 3: Patientenkollektiv

Die überwiegende Anzahl der mit einem Helm behandelten Kinder waren männlichen Geschlechts. Zudem war die rechte Hinterkopfseite deutlich häufiger betroffen. Es lässt sich ablesen, dass nahezu die Hälfte (49%) der Patienten männlich und rechts betroffen sind.

Des Weiteren wurde das Patientenkollektiv auf die – durch den behandelnden Arzt der Helmsprechstunde festgelegte – Argenta-Klasse untersucht. Tabelle 4 stellt die Ergebnisse dar.

		Häufigkeit	Prozent
Klasse	I	1	1,0
	II	30	30,0
	III	39	39,0
	IV	24	24,0
	V	1	1,0
Gesamtsumme		95	95,0

Tabelle 4: Patientenkollektiv Argenta-Klasse

Die deutliche Mehrheit liegt dabei mit 39,0% bei Argenta-Klasse III. Bei fünf Kindern wurde keine Angabe zum vorliegenden CVAI gemacht, sodass dieser nicht ausgewertet werden konnte (Gesamtsumme= 95).

3.2 Punkteexistenz

Es wurde die Existenz der Punktepaare untersucht. Die Notwendigkeit hierfür lag darin, dass lediglich vollständige Punktepaare in die Berechnungen miteinbezogen werden konnten.

Die vier Kategorien der unten dargestellten Tabellen beschreiben die Eigenschaften der Punktepaare bezüglich deren Auftreten.

Die Kategorie „existiert“ steht dabei für die Vollständigkeit eines Punktepaares und damit ergibt sich die Möglichkeit zur Differenzbildung.

Die Kategorie „Asymmetrie“ beschreibt das einseitige Auftreten von Punkten, sodass davon ausgegangen werden kann, dass das Gesicht in diesem Bereich asymmetrisch ist. Häufig betroffen davon waren, abgesehen von den ausgeschlossenen Punktepaaren, die Punktepaare F2S3 in der Regio parotidea, sowohl prätherapeutisch mit $n= 37$, als auch posttherapeutisch mit $n= 32$.

Die Kategorie „fehlt“ beschreibt das Nichtvorhandensein beider Punkte. Dabei wird beidseitig das Gesicht nicht von der Schnittgeraden geschnitten, sodass beidseitig kein Schnittpunkt entsteht. Auch in dieser Kategorie zeigte besonders der im Gesicht lateral liegende Punkt F2S3 eine Häufung.

Die Kategorie „Fotodefekt“ beschreibt das ein- oder beidseitige Fehlen eines Punktes aufgrund eines Aufnahmefehlers. Besonders häufig betroffen war dabei die Submentalregion – repräsentativ dafür stehen die Punkte F3S1 und F3S2.

Im Einzelnen wurde die Existenz der Punkte für jede Raumrichtung sowohl vor, als auch nach Therapie untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 bis Tabelle 7 dargelegt. Grau hinterlegte Punkte wurden nicht in die spätere Auswertung mit einbezogen.

Punkt	Regio	existiert		Asymmetrie		fehlt		Fotodefekt	
		prä	post	prä	post	prä	post	prä	post
F1H1	orbitalis	100	100	0	0	0	0	0	0
F1H2	buccalis	100	100	0	0	0	0	0	0
F1H3	--	35	42	8	5	57	51	0	2
F2H1	parotidea	100	100	0	0	0	0	0	0
F2H2	buccalis	100	100	0	0	0	0	0	0
F2H3	buccalis	100	100	0	0	0	0	0	0
F3H1	parotidea	100	100	0	0	0	0	0	0
F3H2	parotidea	100	100	0	0	0	0	0	0
F3H3	parotidea	98	98	0	0	0	0	2	2

Tabelle 5: Existenz der transversalen Punktepaare

Punkt	Regio	existiert		Asymmetrie		fehlt		Fotodefekt	
		prä	post	prä	post	prä	post	prä	post
F1S1	oralis	98	98	0	0	0	0	2	2
F1S2	buccalis	100	100	0	0	0	0	0	0
F1S3	--	2	0	11	6	87	94	0	0
F2S1	mentalis	96	94	0	0	0	0	4	6
F2S2	buccalis	100	99	0	0	0	1	0	0
F2S3	parotidea	44	38	37	32	19	30	0	0
F3S1	mentalis	66	72	0	1	0	1	34	26
F3S2	parotidea	84	87	0	0	0	1	16	12
F3S3	parotidea	99	96	1	4	0	0	0	0

Tabelle 6: Existenz der vertikalen Punktepaare

Punkt	Regio	existiert		Asymmetrie		fehlt		Fotodefekt	
		prä	post	prä	post	prä	post	prä	post
H1S1	orbitalis	100	100	0	0	0	0	0	0
H1S2	orbitalis	100	100	0	0	0	0	0	0
H1S3	parotidea	100	84	0	10	0	6	0	0
H2S1	buccalis	100	100	0	0	0	0	0	0
H2S2	buccalis	100	100	0	0	0	0	0	0
H2S3	--	4	1	17	7	79	92	0	0
H3S1	oralis	93	92	0	0	0	0	7	8
H3S2	buccalis	100	100	0	0	0	0	0	0
H3S3	--	0	0	0	0	100	100	0	0

Tabelle 7: Existenz der sagittalen Punktepaare

F1H3 wurde nicht miteinbezogen, da die Anzahl vollständiger Punktepaare mit $n = 35$ als ungenügend eingestuft wurde und die Lage der Punkte sehr instabil zu sein scheint. F1S3 wurde aufgrund zu geringer Fallzahl ($n = 2$) ausgeschlossen. Gleiches gilt für H2S3 mit einer geringen Fallzahl ($n = 4$) und H3S3 mit einer Fallzahl von $n = 0$.

3.3 Analysen der erhobenen Daten

3.3.1 CVAI

Die deskriptive Statistik des CVAI vor und nach Therapie ist in den Histogrammen und Boxplots in den im Anhang befindlichen Abbildung 31- Abbildung 34 dargestellt. Die initiale Asymmetrie lag im Median bei 12,87%, minimal betrug der CVAI 6,89% und maximal 27,02%. Nach Helmtherapie lagen die CVAI-Werte zwischen 0,00% und 12,50% bei einem Median von 4,00%.

3.3.2 Transversale Differenzen

Nach Auswertung der prä- und posttherapeutischen Differenzen in transversaler Richtung konnten lediglich F1H1, F1H2, F2H1, F3H1, F3H3 der betrachteten Punktepaardifferenzen prätherapeutisch als normalverteilt angenommen

werden. Posttherapeutisch ergaben alle betrachteten Punktepaare eine Normalverteilung der Punktepaardifferenzen. Ausgeschlossen hiervon waren aufgrund unzureichender Fallzahl lediglich die Punktepaare F1H3. Für weitere Details sei auf die Diagramme und Tabellen im Anhang verwiesen (Kap.11.1.2, 11.1.3 beziehungsweise 11.2.1)

3.3.3 Vertikale Differenzen

Nach Auswertung der prä- und posttherapeutischen Differenzen in vertikaler Richtung konnte auch hier lediglich bei einigen Punktepaaren prätherapeutisch eine Normalverteilung angenommen werden. Im Einzelnen waren dies, wie im Anhang detaillierter dargestellt, F2S1, F2S2, F3S1 und F3S2. Posttherapeutisch waren F2S1, F2S2, F2S3 sowie F3S2 normalverteilt. Ausgeschlossen waren aus bereits erläuterten Gründen (n= 2) lediglich die Punktepaare F1S3.

3.3.4 Sagittale Differenzen

Nach Auswertung der prä- und posttherapeutischen Differenzen in sagittaler Richtung konnte prätherapeutisch bei folgenden Punktepaaren eine Normalverteilung angenommen werden: H1S1, H1S2, H1S3, H2S2, H3S1. Posttherapeutisch waren die Punktepaardifferenzen von H1S1, H1S2, H2S2, H3S2 normalverteilt. Von der weiteren Betrachtung bereits ausgeschlossen waren wie erläutert H2S3 (n= 4) und H3S3 (n= 0). Ebenfalls sei hier für weitere Details in Form von Boxplots und Datentabellen auf den Anhang verwiesen.

3.4 Gesichtsasymmetrie vor Helmtherapie

3.4.1 Transversale Differenzen

Dargestellt sind die Differenzen in transversaler Richtung vor Helmtherapie sowohl grafisch in Form eines Boxplot je Punktepaar, als auch tabellarisch mit den Differenzen als absolute Werte [mm] und als relative Werte [%] (grau

hinterlegt). Die Berechnung der relativen Werte wurde im Abschnitt 2.6.2 „Differenzen der Punktepaare“ bereits dargelegt.

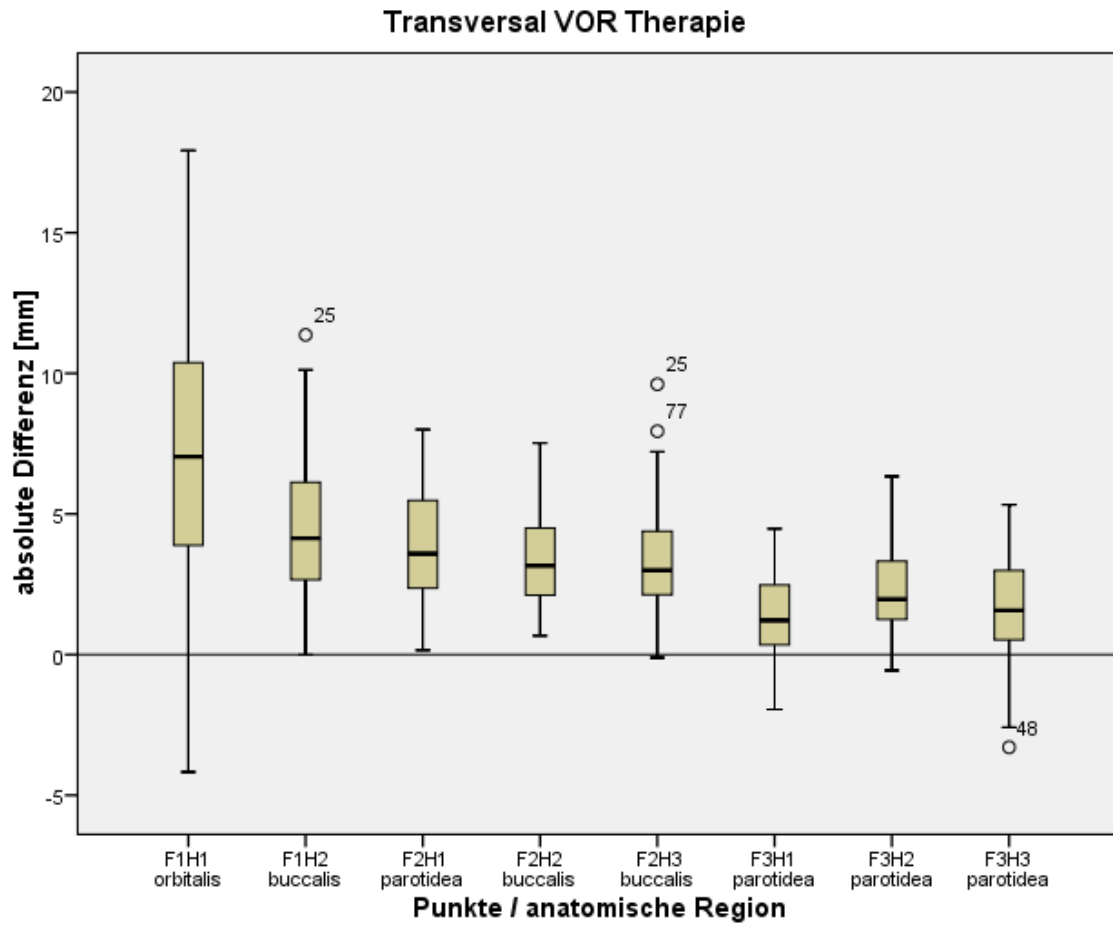


Abbildung 15: absolute transversale Differenzen vor Therapie

Transversale Differenzen VOR Therapie

		N	Median	Minimum	Maximum	Range
F1H1 orbitalis	absolut	100	7,04	-4,18	17,92	22,10
	relativ	100	23,52%	-11,65%	63,33%	74,97%
F1H2 buccalis	absolut	100	4,13	-0,01	11,37	11,38
	relativ	100	11,82%	-0,03%	40,30%	40,32%
F2H1 parotidea	absolut	100	3,59	0,16	8,00	7,84
	relativ	100	7,07%	0,30%	15,98%	15,69%
F2H2 buccalis	absolut	100	3,16	0,67	7,52	6,85
	relativ	100	6,82%	1,28%	16,70%	15,42%
F2H3 buccalis	absolut	100	3,00	-0,11	9,61	9,73
	relativ	100	7,87%	-0,29%	28,27%	28,56%
F3H1 parotidea	absolut	100	1,22	-1,95	4,48	6,43
	relativ	100	2,17%	-3,12%	7,58%	10,70%
F3H2 parotidea	absolut	100	1,97	-0,56	6,34	6,90
	relativ	100	3,70%	-1,15%	11,96%	13,12%
F3H3 parotidea	absolut	98	1,57	-3,29	5,33	8,62
	relativ	98	3,52%	-7,31%	14,07%	21,39%

Tabelle 8: transversale Differenzen vor Therapie

Anhand von Abbildung 15 sowie anhand Tabelle 8 lässt sich ablesen, dass prätherapeutisch im Mittel eine positive Asymmetrie zwischen betroffener und nicht betroffener Seite bestanden hat. Eine positive Asymmetrie folgt aus einer Vergrößerung des Wertes auf der betroffenen Seite, sodass klinisch ein Hervortreten des Gesichts ähnlich einer Gesichtsschwellung zu beobachten ist. Grafisch verdeutlicht wird dies anhand der Mediane der Differenzen, welche oberhalb der Nulllinie lagen. Die Nulllinie steht dabei für die absolute Symmetrie. Werte darüber beziehungsweise darunter beschreiben eine Asymmetrie. Die größte mittlere Differenz wies das Punktepaar F1H1 auf. Hier ließ sich auch die größte Spannweite erkennen. Deutlich stabilere Werte lieferten die Punkte F1H2, F2H1, F2H2 und F2H3 sowie F3H2, deren Werte nahezu ausschließlich oberhalb von Null lagen. Auch die Punkte F3H1 und F3H3 lieferten noch Werte, welche im Mittel auf eine positive Asymmetrie hindeuten, allerdings traten hier auch Werte unter null auf. Auf die anatomischen Regionen des Gesichts übertragen, ergab

sich die größte Asymmetrie eindeutig im vorderen Gesichtsdrittel in Regio orbitalis und buccalis. Kleiner, jedoch auch eindeutig über der Nulllinie, dafür aber stabiler aufgrund geringerer Spannweite, werden die Werte seitlich am Kopf. Die Punkte F2H1, F2H2 und F2H3 zeigten mit Werten von ca. 3mm eine eindeutige Asymmetrie im Bereich der Regio parotidea sowie Regio buccalis. F3H1, F3H2 sowie F3H3 wiesen mit Werten zwischen 1mm und 2mm zwar die geringste Asymmetrie in transversaler Richtung auf, aber auch hier zeigte sich eine überwiegende Anzahl von Punkten mit eindeutig positiver Asymmetrie auf der betroffenen Seite.

3.4.2 Vertikale Differenzen

Dargestellt sind die Differenzen in vertikaler Richtung vor Helmtherapie als absolute Werte [mm] und als relative Werte [%] (grau hinterlegt). Auch hier zur besseren Übersicht zunächst in grafischer Darstellung.

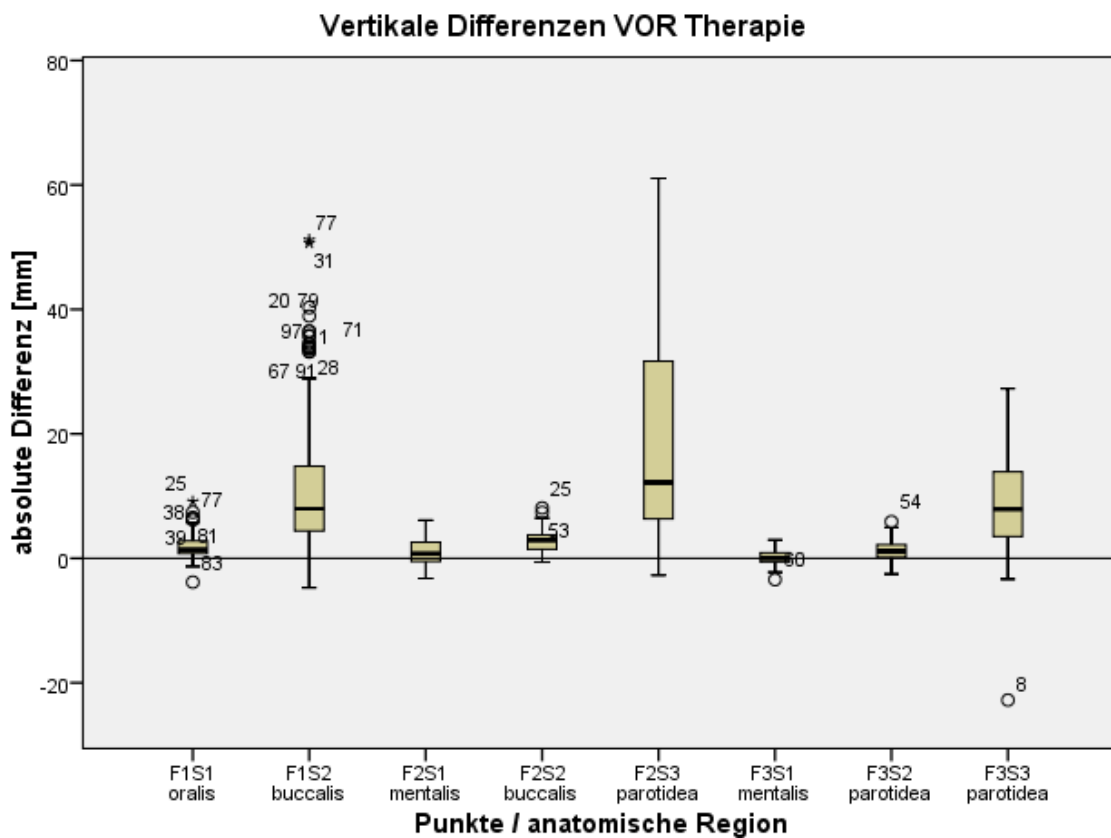


Abbildung 16: absolute vertikale Differenzen vor Therapie

Vertikale Differenzen VOR Therapie

		N	Median	Minimum	Maximum	Range
F1S1 oralis	absolut	98	1,40	-3,83	9,13	12,96
	relativ	98	3,67%	-10,66%	34,14%	44,79%
F1S2 buccalis	absolut	100	7,97	-4,71	51,17	55,88
	relativ	100	24,43%	-21,38%	17929,00%	17950,38%
F2S1 mentalis	absolut	96	,79	-3,24	6,11	9,35
	relativ	96	1,36%	-6,07%	13,77%	19,84%
F2S2 buccalis	absolut	100	2,92	-,61	8,10	8,71
	relativ	100	6,37%	-1,31%	20,39%	21,71%
F2S3 parotidea	absolut	44	12,20	-2,70	61,08	63,78
	relativ	44	48,70%	-35,77%	199,59%	235,37%
F3S1 mentalis	absolut	66	,00	-3,42	2,96	6,38
	relativ	66	0,00%	-5,37%	4,69%	10,07%
F3S2 parotidea	absolut	84	1,14	-2,53	5,89	8,42
	relativ	84	2,12%	-4,69%	12,04%	16,73%
F3S3 parotidea	absolut	99	7,90	-22,77	27,29	50,06
	relativ	99	101,70%	-1658,63%	2816,41%	4475,04%

Tabelle 9: vertikale Differenzen vor Therapie

Die auffälligsten Werte befanden sich in Regio buccalis (F1S2) und Regio parotidea (F2S3 und F3S3). Sowohl deren Mediane ($y_{F1S2}=7,97\text{mm}$; $y_{F2S3}= 12,2\text{ mm}$ und $y_{F3S3}= 7,90\text{ mm}$) lagen deutlich über den restlichen Medianen, als auch deren Spannweite lag weit über den anderen vermessenen Punkten. Die übrigen Werte wiesen keine Besonderheiten auf, spiegeln allerdings durch positive Mediane eine positive Asymmetrie wider. Dabei zeigte sich insgesamt in vertikaler Richtung eine, im Vergleich zu den beiden anderen Raumrichtungen, geringere Asymmetrie mit Werten zwischen $\text{Median}_{F3S1}= 0,00\text{mm}$ und $\text{Median}_{F2S2}= 2,97\text{mm}$. Diese Punkte liegen allesamt im unteren Gesichtsdrittel, sodass Asymmetrie in vertikaler Richtung lediglich im unteren Gesichtsdrittel beschrieben werden konnte.

3.4.3 Sagittale Differenzen

Dargestellt sind die Differenzen in sagittaler Richtung vor Helmtherapie als absolute Werte [mm] und als relative Werte [%] (grau hinterlegt). Ebenfalls zur besseren Übersicht zunächst wieder die Darstellung der absoluten Differenzen in grafischer Form.

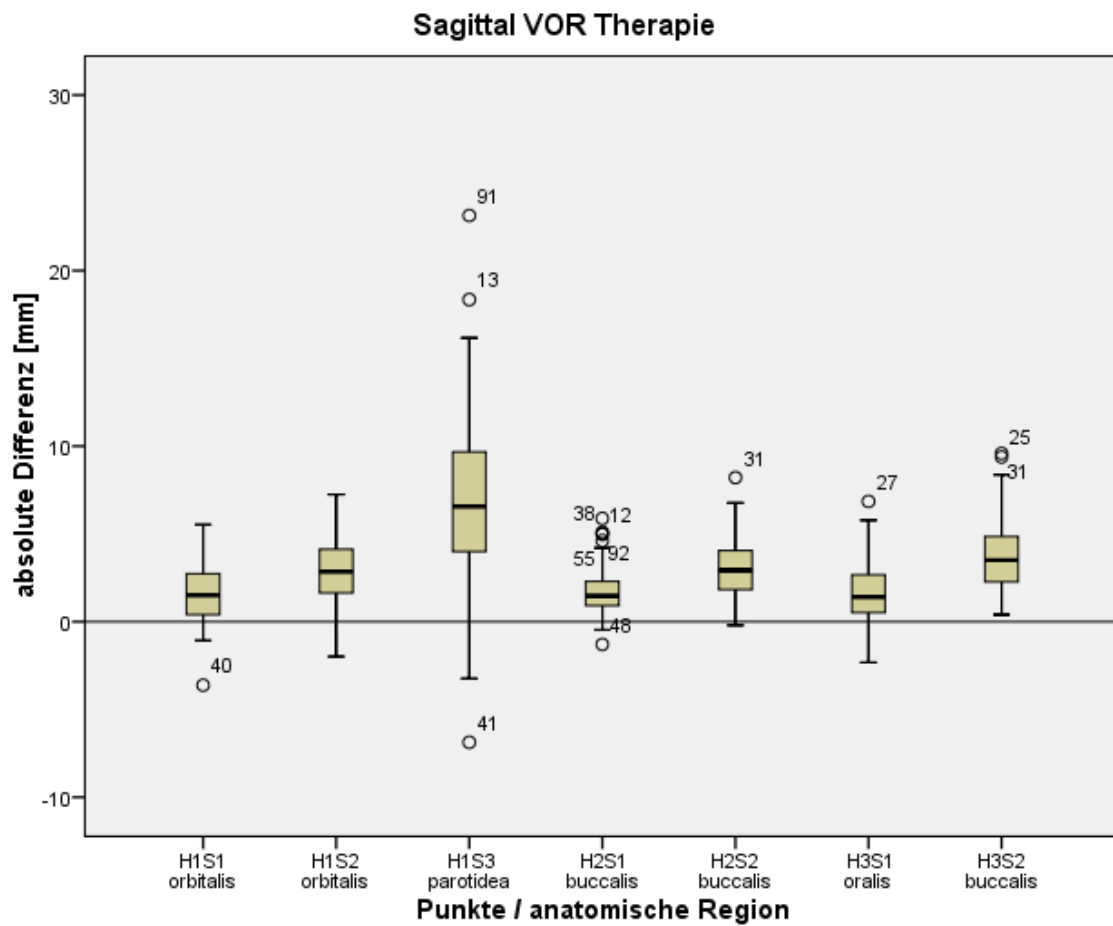


Abbildung 17: absolute sagittale Differenzen vor Therapie

Sagittale Differenzen VOR Therapie

		N	Median	Minimum	Maximum	Range
H1S1 orbitalis	absolut	100	1,51	-3,62	5,53	9,15
	relativ	100	2,48%	-6,15%	9,18%	15,33%
H1S2 orbitalis	absolut	100	2,85	-1,98	7,25	9,23
	relativ	100	5,35%	-3,45%	13,20%	16,65%
H1S3 parotidea	absolut	100	6,57	-6,87	23,13	30,01
	relativ	100	21,38%	-31,94%	1475,45%	1507,39%
H2S1 buccalis	absolut	100	1,47	-1,29	5,88	7,18
	relativ	100	2,35%	-2,20%	9,62%	11,82%
H2S2 buccalis	absolut	100	2,93	-,21	8,21	8,42
	relativ	100	5,51%	-0,32%	14,27%	14,59%
H3S1 oralis	absolut	93	1,40	-2,31	6,85	9,17
	relativ	93	2,58%	-5,04%	13,80%	18,84%
H3S2 buccalis	absolut	100	3,51	,41	9,59	9,18
	relativ	100	7,79%	0,78%	22,95%	22,17%

Tabelle 10: sagittale Differenzen vor Therapie

Sowohl tabellarisch als auch grafisch fällt sofort auf, dass alle betrachteten Mediane auf eine positive Asymmetrie hinweisen. Zusätzlich waren die Spannweiten der einzelnen Werte relativ gering, sodass die Aussage der positiven Asymmetrie als stabil angenommen werden konnte. Lediglich H1S3 wies sowohl im Median, als auch in der Spannweite eine überdurchschnittliche Tendenz auf.

Nach Auswertung der Daten ergab sich sowohl orbital (H1S1 und H1S2), als auch bukkal (H2S1 und H2S2 beziehungsweise H3S2) ipsilateral eine Asymmetrie des Gesichts mit Werten zwischen $\text{Median}_{H3S1} = 1,40\text{mm}$ und $\text{Median}_{H3S2} = 3,51\text{mm}$.

3.4.4 Prätherapeutische intraindividuelle Differenzen nach Gesichtsregionen

Die prätherapeutischen absoluten Differenzen, sortiert nach den zuvor definierten Gesichtsregionen und korrigiert um in der Aussage nicht verwertbare Ausreißer, werden in Abbildung 18 dargestellt.

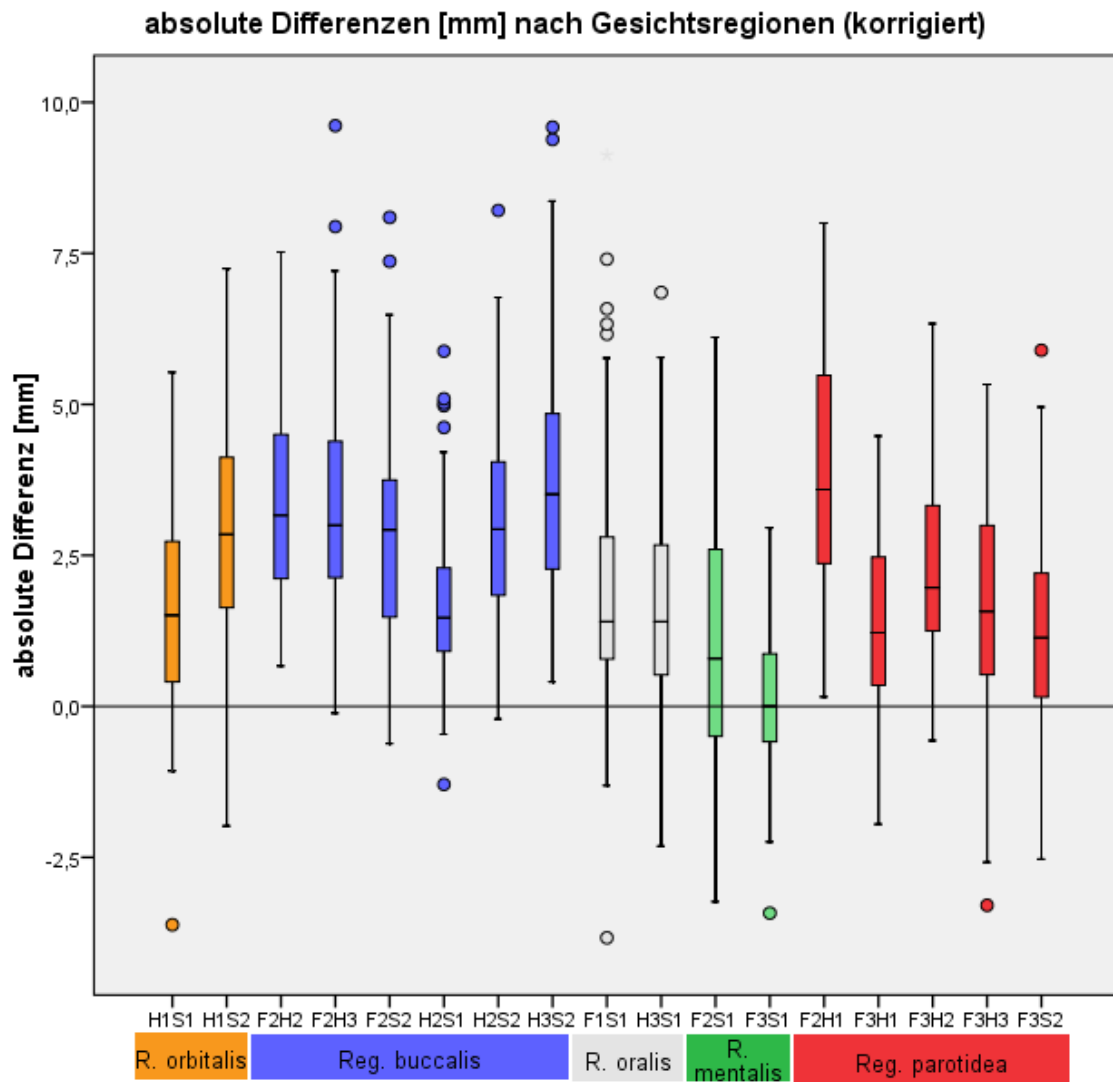


Abbildung 18: absolute Differenzen vor Helmtherapie nach Gesichtsregionen (um Ausreißer korrigiert)

Die horizontale Gerade parallel zur x-Achse für $y = 0$ steht für das Vorhandensein einer absoluten perfekten Symmetrie ohne Abweichung zwischen rechter und linker Gesichtshälfte. Deutlich zu erkennen ist die positive Asymmetrie aller Gesichtsregionen, wobei Regio buccalis und Regio parotidea generell die größte

Asymmetrie zeigten. Aber auch die laterale Orbitaregion (Punkt H1S2) scheint prätherapeutisch eine deutliche Asymmetrie aufzuweisen.

3.5 Gesichtsasymmetrie nach Helmtherapie

3.5.1 Transversale Differenzen

Analog zu Kapitel 3.4 werden im Folgenden die Werte nach Helmtherapie betrachtet, beginnend mit der Transversalen. Ebenfalls zur besseren Übersicht zunächst wieder die Darstellung der absoluten Differenzen in grafischer Form.

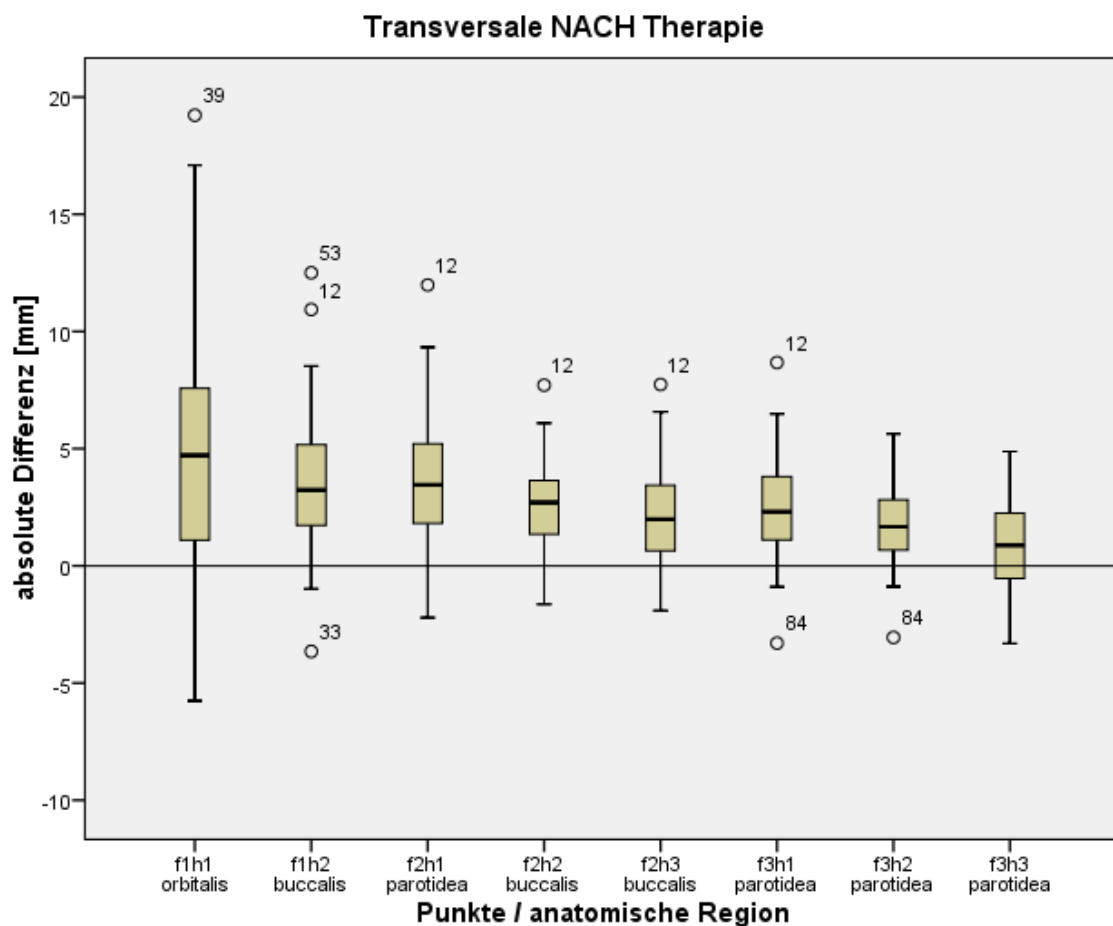


Abbildung 19: absolute transversale Differenzen nach Therapie

Transversale Differenzen NACH Therapie

		N	Median	Minimum	Maximum	Range
f1h1 orbitalis	absolut	100	4,71	-5,76	19,23	24,99
	relativ	100	14,05%	-15,76%	67,08%	82,83%
f1h2 buccalis	absolut	100	3,24	-3,65	12,50	16,15
	relativ	100	8,55%	-9,37%	52,43%	61,80%
f2h1 parotidea	absolut	100	3,46	-2,21	11,98	14,20
	relativ	100	6,70%	-3,82%	24,98%	28,80%
f2h2 buccalis	absolut	100	2,70	-1,64	7,71	9,34
	relativ	100	5,45%	-3,18%	16,19%	19,37%
f2h3 buccalis	absolut	100	1,99	-1,91	7,74	9,65
	relativ	100	4,90%	-5,64%	20,36%	25,99%
f3h1 parotidea	absolut	100	2,30	-3,30	8,68	11,97
	relativ	100	3,97%	-5,53%	15,99%	21,52%
f3h2 parotidea	absolut	100	1,67	-3,05	5,63	8,69
	relativ	100	3,28%	-5,77%	10,80%	16,57%
f3h3 parotidea	absolut	98	,87	-3,31	4,88	8,19
	relativ	98	1,77%	-6,96%	11,07%	18,03%

Tabelle 11: transversale Differenzen nach Therapie

Auffälligster Wert war, wie bereits prätherapeutisch, f1h1. Für die anderen Werte ließ sich nach wie vor ebenfalls eine positive Asymmetrie erkennen, da die Mediane weiterhin über der Nulllinie lagen. Allerdings reichten die unteren Whisker der Boxplot-Diagramme alle bis unter die Nulllinie, sodass für diese Fälle sogar eine „Übertherapie“ mit Umkehr der Gesichtsasymmetrie festzustellen war. Insgesamt deuten die verminderten Mediane auf einen Rückgang der positiven Asymmetrie in Richtung Symmetrie hin.

3.5.2 Vertikale Differenzen

Abbildung 20 und Tabelle 12 stellen die Ergebnisse für die posttherapeutischen vertikalen Werte dar.

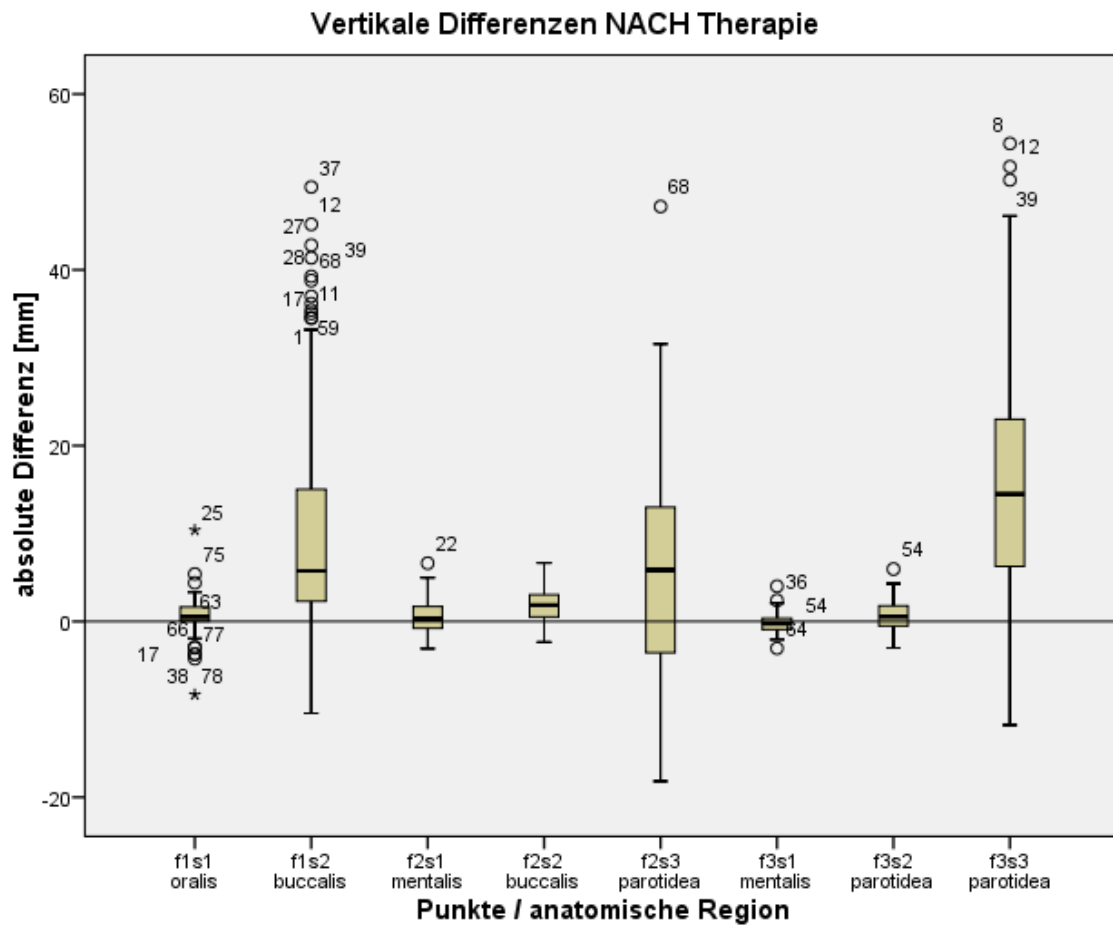


Abbildung 20: absolute vertikale Differenzen nach Therapie

Vertikale Differenzen NACH Therapie

		N	Median	Minimum	Maximum	Range
f1s1	absolut	98	,52	-8,33	10,39	18,72
oralis	relativ	98	1,42%	-17,46%	38,45%	55,91%
f1s2	absolut	100	5,75	-10,45	49,42	59,87
buccalis	relativ	100	18,25%	-38,06%	15150,00%	15188,06%
f2s1	absolut	94	,29	-3,10	6,63	9,73
mentalis	relativ	94	0,45%	-4,81%	10,93%	15,74%
f2s2	absolut	99	1,86	-2,36	6,67	9,02
buccalis	relativ	99	3,70%	-4,43%	16,10%	20,53%
f2s3	absolut	38	5,86	-18,19	47,20	65,39
parotidea	relativ	38	9,86%	-32,74%	88,12%	120,85%
f3s1	absolut	72	-,25	-3,05	4,01	7,06
mentalis	relativ	72	-0,38%	-4,21%	6,54%	10,75%
f3s2	absolut	87	,53	-3,03	5,96	8,99
parotidea	relativ	87	0,93%	-5,44%	11,39%	16,83%
f3s3	absolut	96	14,49	-11,78	54,37	66,15
parotidea	relativ	96	135,32%	-99,52%	2730,31%	2829,83%

Tabelle 12: vertikale Differenzen nach Therapie

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Köpfe posttherapeutisch im Schnitt (außer drei Ausreißer) in vertikaler Richtung sehr symmetrisch zu sein schienen. Auffälligste Werte waren (wie schon prätherapeutisch) f1s2, f2s3 und f3s3. Die übrigen Werte hingegen zeigten eine sehr geringe Spannweite mit Werten nahe der Nulllinie – was für deren stabile Aussage spricht. Beinahe alle Mediane lagen oberhalb der Nulllinie, sodass sich auch posttherapeutisch eine positive Asymmetrie feststellen ließ. Lediglich f3s1 wies einen negativen Median ($y_{f3s1} = -0,25$ mm) auf, sodass hier sogar eine leichte Überkorrektur der ursprünglich vorhandene Symmetrie (Median $y_{F3S1} = 0,00$ mm) vorhanden war.

3.5.3 Sagittale Differenzen

Nachfolgend in bekannter Darstellungsform die posttherapeutische Auswertung für die Sagittalebene.

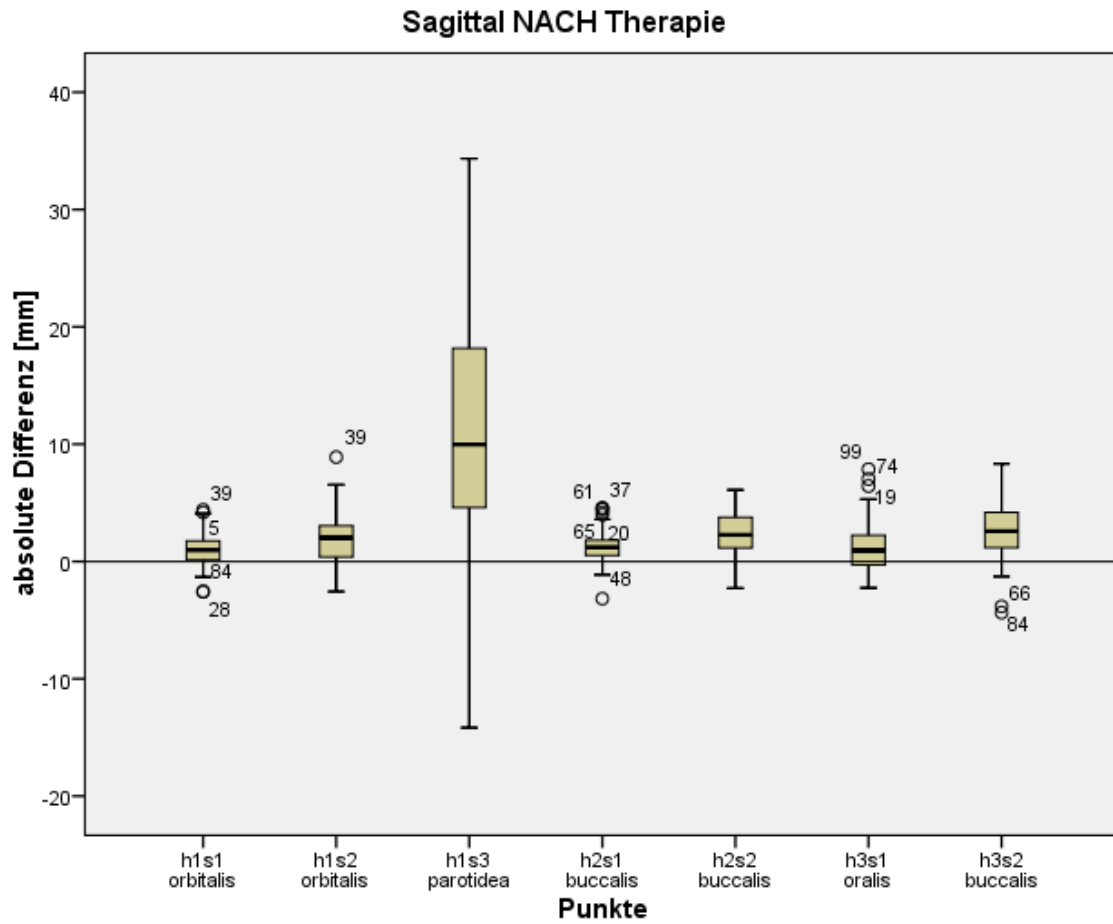


Abbildung 21: absolute sagittale Differenzen nach Therapie

Sagittale Differenzen NACH Therapie

		N	Median	Minimum	Maximum	Bereich
h1s1	absolut	100	,97	-2,59	4,40	7,00
	orbitalis	100	1,56%	-4,13%	7,02%	11,15%
h1s2	absolut	100	2,03	-2,57	8,89	11,46
	orbitalis	100	3,57%	-4,66%	15,02%	19,68%
h1s3	absolut	84	9,96	-14,16	34,34	48,49
	parotidea	84	38,69%	-55,00%	4126,80%	4181,81%
h2s1	absolut	100	1,20	-3,17	4,59	7,76
	buccalis	100	1,75%	-4,79%	7,23%	12,02%
h2s2	absolut	100	2,28	-2,27	6,09	8,37
	buccalis	100	3,71%	-3,58%	9,99%	13,57%
h3s1	absolut	92	,93	-2,26	7,87	10,13
	oralis	92	1,70%	-3,74%	16,54%	20,28%
h3s2	absolut	100	2,58	-4,36	8,32	12,68
	buccalis	100	4,86%	-10,80%	16,98%	27,78%

Tabelle 13: sagittale Differenzen nach Therapie

Die meisten Werte zeigten, wie schon prätherapeutisch, weiterhin eine positive Asymmetrie, jedoch schien diese marginal klein zu sein. Lediglich h1s2, h2s2 und h3s2 lagen mit ihrem Median $z_{h1s2} = 2,03$ mm, $z_{h2s2} = 2,28$ mm und $z_{h3s2} = 2,58$ mm überhaupt oberhalb von 2mm. Die kleine Spannweite der Werte (außer h1s3) spricht für deren Stabilität. Auffälligster Punkt war wie bereits prätherapeutisch h1s3 (s.a. *Diskussion*).

3.5.4 Posttherapeutische intraindividuelle Differenzen nach Gesichtsregionen

Die posttherapeutischen absoluten Differenzen, sortiert nach den zuvor definierten Gesichtsregionen, werden wie zuvor in Abbildung 22 dargestellt.

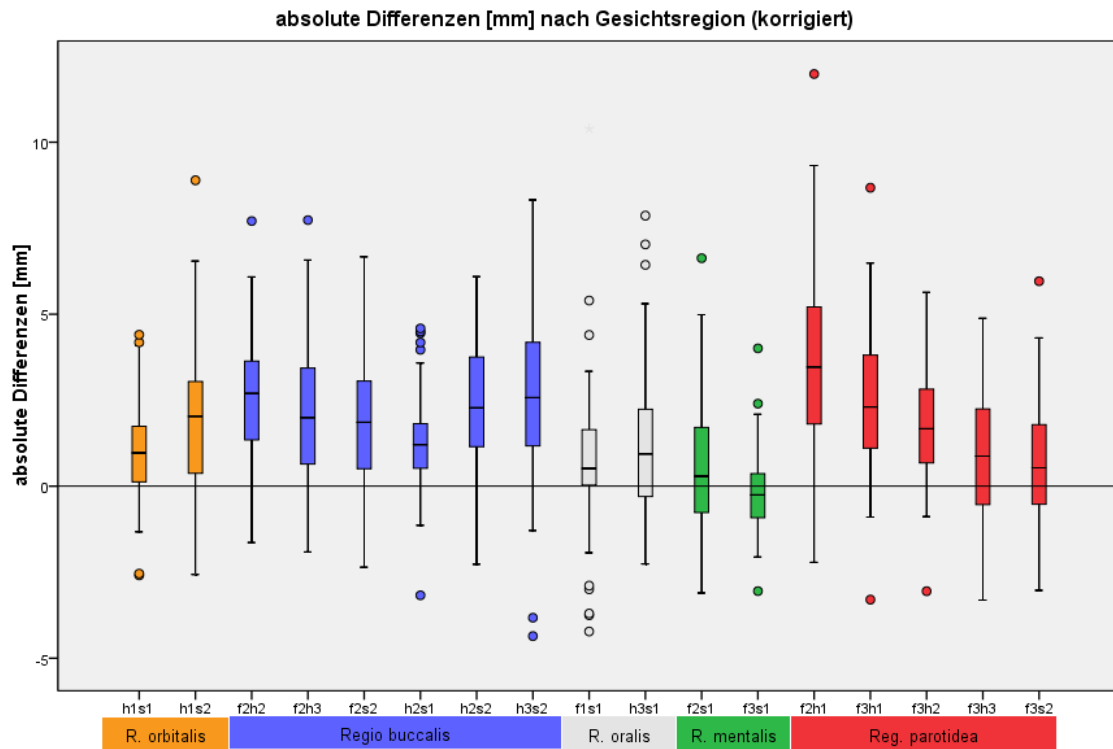


Abbildung 22: absolute Differenzen nach Helmtherapie nach Gesichtsregionen (um Ausreißer korrigiert)

Die um Ausreißer korrigierte Grafik zeigt auch posttherapeutisch das Vorhandensein einer positiven Asymmetrie mit größter Ausprägung im Bereich der Regio buccalis sowie Regio parotidea und lateraler Orbita. In den Regionen um den Mund, den inneren Augenwinkeln (h1s1) sowie um das Kinn zeigte sich posttherapeutisch nur noch eine geringe Asymmetrie mit Werten ≤ 1 mm im Median. Im Falle des mentalen Punktes f3s1 wurde bei isolierter Betrachtung des Median sogar eine Überkorrektur erreicht.

3.6 Vergleich prä- zu posttherapeutisch

Im nachfolgend beschriebenen Vorher-Nachher-Vergleich sollte anhand der relativen Differenzen untersucht werden, welche Auswirkung die Helmtherapie auf die vorhandene Gesichtasymmetrie hatte. Hierfür wurde zunächst punktweise die intraindividuelle Differenz von prätherapeutischer zu posttherapeutischer relativer Differenz jedes Kindes gebildet ($=\Delta_{\text{indiv}1-100}$). In einem zweiten Schritt wurde der Median dieser intraindividuellen Differenzen aller Kinder errechnet ($=\Delta\text{-Median}$). Eine (auch im Median) positive Differenz deutet dabei auf eine Verkleinerung der prätherapeutisch bestandenen positiven Asymmetrie hin, sodass die Helmtherapie sich günstig auf die plagiozephaliebedingte Gesichtasymmetrie auswirkt und diese durch die Helmtherapie zurückgeht. Des Weiteren sind in der Spalte $\Delta\text{-Median}$ die prozentuale Veränderung der relativen Punktpaardifferenzen im Vergleich zum Ausgangswert dargestellt ($=\Delta\text{-Median}\%$).

Zur Überprüfung der Signifikanz der Änderung unter Helmtherapie wurde der Wilcoxon-Rang-Test durchgeführt.

Das gleiche Vorgehen wurde auch zur Analyse des prä- zu posttherapeutischen CVAI angewendet.

3.6.1 CVAI

In Tabelle 14 ist zunächst die Entwicklung des CVAI dargestellt. Betrachtet wurden dabei die Mediane vor und nach Therapie sowie der Median der Differenzen ($\Delta\text{-Median}$) als Maß für das Erreichen des Primärziels der Helmtherapie – der Verminderung der Schädelasymmetrie und damit des CVAI. Der CVAI war posttherapeutisch, wie in der letzten Spalte der Tabelle 14 abzulesen, signifikant geringer. Dennoch konnte die von Loveday und De Chalain

geforderten 3,5% als therapeutisch zu unterschreitender Zielwert des CVAI nach Therapie im Median nicht erreicht werden (Loveday and De Chalain, 2001).

	N	Median	Δ -Median	Minimum	Maximum	Sig.
CVAI vor Therapie	100	12,87	9,39	6,89	27,02	
nach Therapie	99	4,00		0,00	12,50	0,000

Tabelle 14: CVAI vor und nach Helmtherapie

Abbildung 23 stellt die Entwicklung des CVAI im prä- zu posttherapeutischen Vergleich grafisch dar.

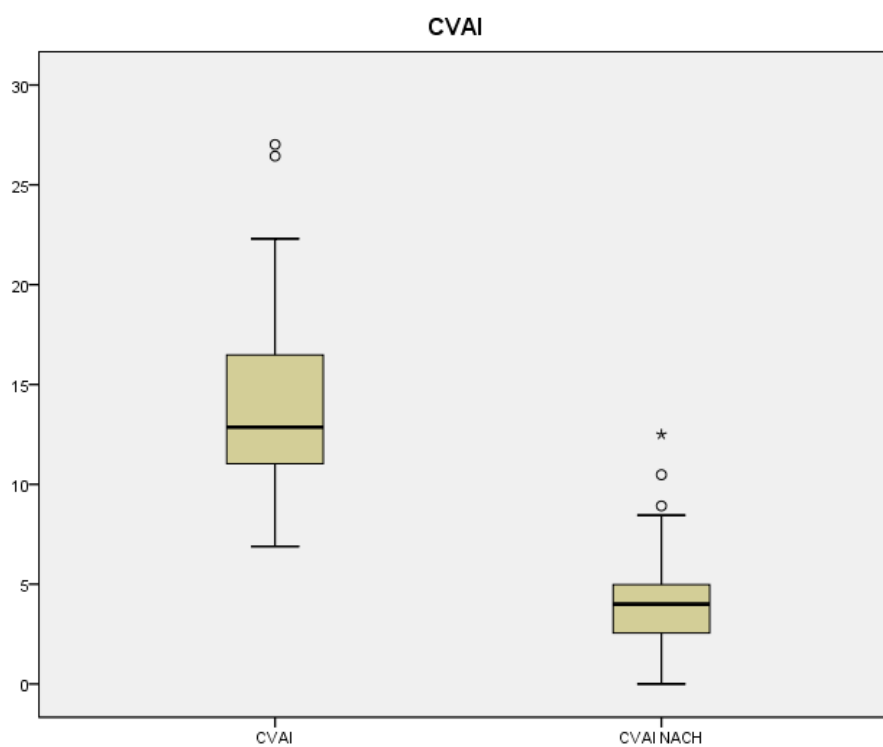


Abbildung 23: CVAI vor und nach Therapie

3.6.2 Transversale Differenzen

In Tabelle 15 sind die Veränderungen durch Therapie in transversaler Richtung aufgeführt.

		Prä- zu posttherapeutische Ergebnisse transversal					
		N	Median [%]	Δ -Median	Minimum [%]	Maximum [%]	Sig.
F1H1 orbitalis	vor Therapie	100	23,524	9,096	-11,648	63,325	
	nach Therapie	100	14,052	37,15%	-15,758	67,076	0,000
F1H2 buccalis	vor Therapie	100	11,825	3,123	-0,026	40,299	
	nach Therapie	100	8,547	27,98%	-9,373	52,430	0,000
F2H1 parotidea	vor Therapie	100	7,065	1,448	0,298	15,984	
	nach Therapie	100	6,703	15,83%	-3,820	24,983	0,048
F2H2 buccalis	vor Therapie	100	6,824	1,848	1,277	16,697	
	nach Therapie	100	5,445	30,27%	-3,177	16,189	0,000
F2H3 buccalis	vor Therapie	100	7,870	3,144	-0,290	28,272	
	nach Therapie	100	4,898	39,73%	-5,635	20,359	0,000
F3H1 parotidea	vor Therapie	100	2,169	-1,956	-3,120	7,582	
	nach Therapie	100	3,975	-31,93%	-5,533	15,991	0,000
F3H2 parotidea	vor Therapie	100	3,695	0,293	-1,153	11,965	
	nach Therapie	100	3,284	15,91%	-5,774	10,797	0,016
F3H3 parotidea	vor Therapie	96	3,521	1,544	-7,314	14,071	
	nach Therapie	96	1,769	64,16%	-6,965	11,069	0,001

Tabelle 15: prä- zu posttherapeutischer Vergleich - transversal (Δ -Median% fett markiert und grau hinterlegt)

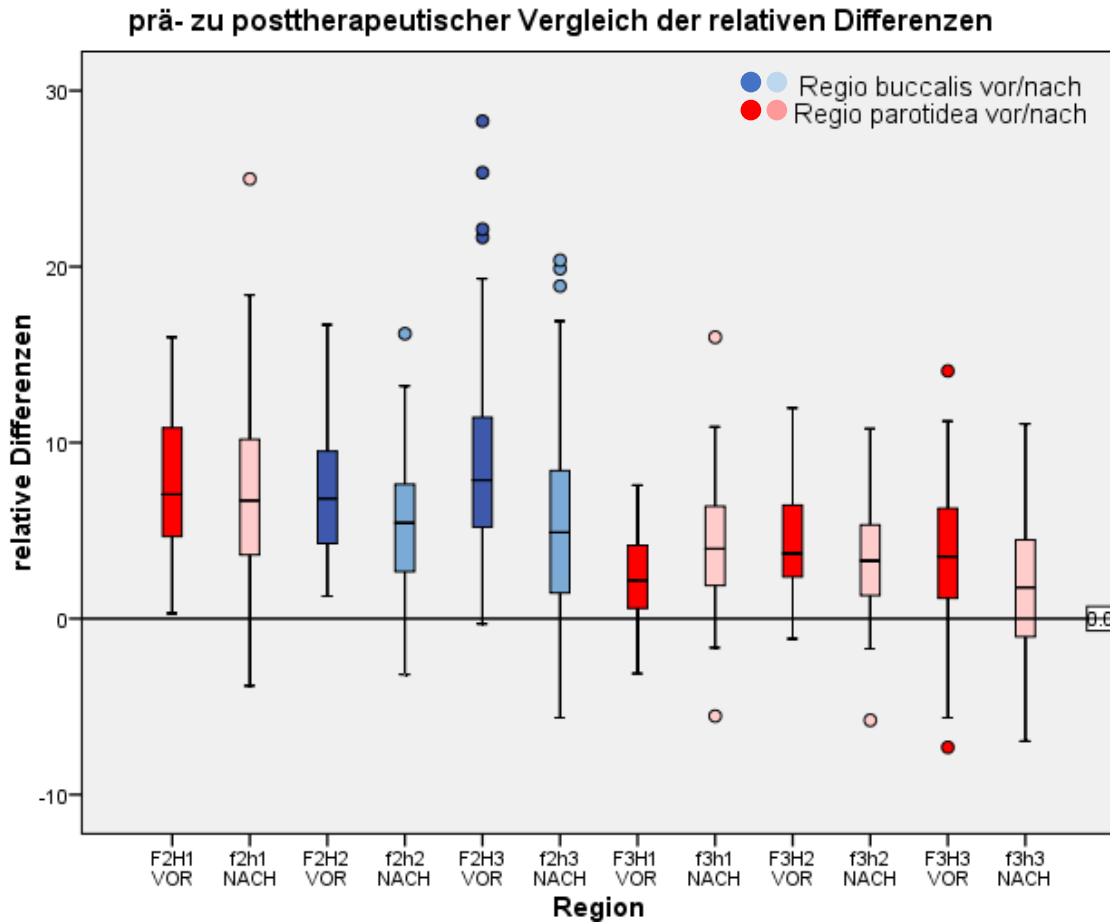


Abbildung 24: prä- zu posttherapeutischer Vergleich - transversal

Wie in Tabelle 15 in Spalte Δ -Median abzulesen sowie in grafischer Form anhand der Boxplots in Abbildung 24 dargestellt, konnte im „prä- zu posttherapeutischen Vergleich“ ein Rückgang der prätherapeutisch bestandenen positiven Asymmetrie verzeichnet werden. Im Diagramm sind zur besseren Übersicht die Ausreißerpunkte F1H1 und F1H2 nicht aufgeführt. Punkt F3H1 hatte im Mittel einen Zuwachs der Asymmetrie aufzuweisen (Δ -Median_{F3H1} = -1,956). Bei Betrachtung der prozentualen Veränderung ($=\Delta$ -Median%) wird eine deutliche Verringerung der initial bestandenen Asymmetrie in transversaler Richtung deutlich. Die Asymmetrie konnte in den meisten Fällen im Vergleich zum Ausgangswert um rund 30% verringert werden. Diese Verringerung erwies sich nach Auswertung des Wilcoxon-Tests für alle Punkte als signifikant.

3.6.3 Vertikale Differenzen

Analog zu Kapitel 3.6.2 sind auch für die vertikale Dimension die quantitativen Veränderungen der Gesichtssymmetrie durch Helmtherapie dargestellt.

		Prä- zu posttherapeutische Ergebnisse vertikal					
		N	Median [%]	Δ -Median	Minimum [%]	Maximum [%]	Sig.
F1S1 oralis	vor Therapie	98	3,672	2,456	-10,655	34,136	
	nach Therapie	98	1,416	65,75%	-17,458	38,455	0,000
F1S2 buccalis	vor Therapie	100	24,433	9,492	-21,377	17929,000	
	nach Therapie	100	18,249	46,59%	-38,057	15150,000	0,017
F2S1 mentalis	vor Therapie	96	1,360	1,141	-6,068	13,773	
	nach Therapie	94	0,447	86,24%	-4,810	10,932	0,004
F2S2 buccalis	vor Therapie	100	6,371	2,409	-1,314	20,395	
	nach Therapie	99	3,701	38,98%	-4,434	16,095	0,000
F2S3 parotidea	vor Therapie	44	48,704	37,330	-35,774	199,595	
	nach Therapie	38	9,861	72,84%	-32,738	88,116	0,000
F3S1 mentalis	vor Therapie	66	0,001	0,216	-5,372	4,693	
	nach Therapie	72	-0,380	63,25%	-4,209	6,541	0,299
F3S2 parotidea	vor Therapie	84	2,117	0,815	-4,687	12,044	
	nach Therapie	87	0,930	48,37%	-5,437	11,393	0,002
F3S3 parotidea	vor Therapie	99	101,697	-12,526	-1658,631	2816,409	
	nach Therapie	96	135,325	8,09%	-99,518	2730,310	0,460

Tabelle 16: prä- zu posttherapeutischer Vergleich - vertikal (Δ -Median% fett markiert und grau hinterlegt)

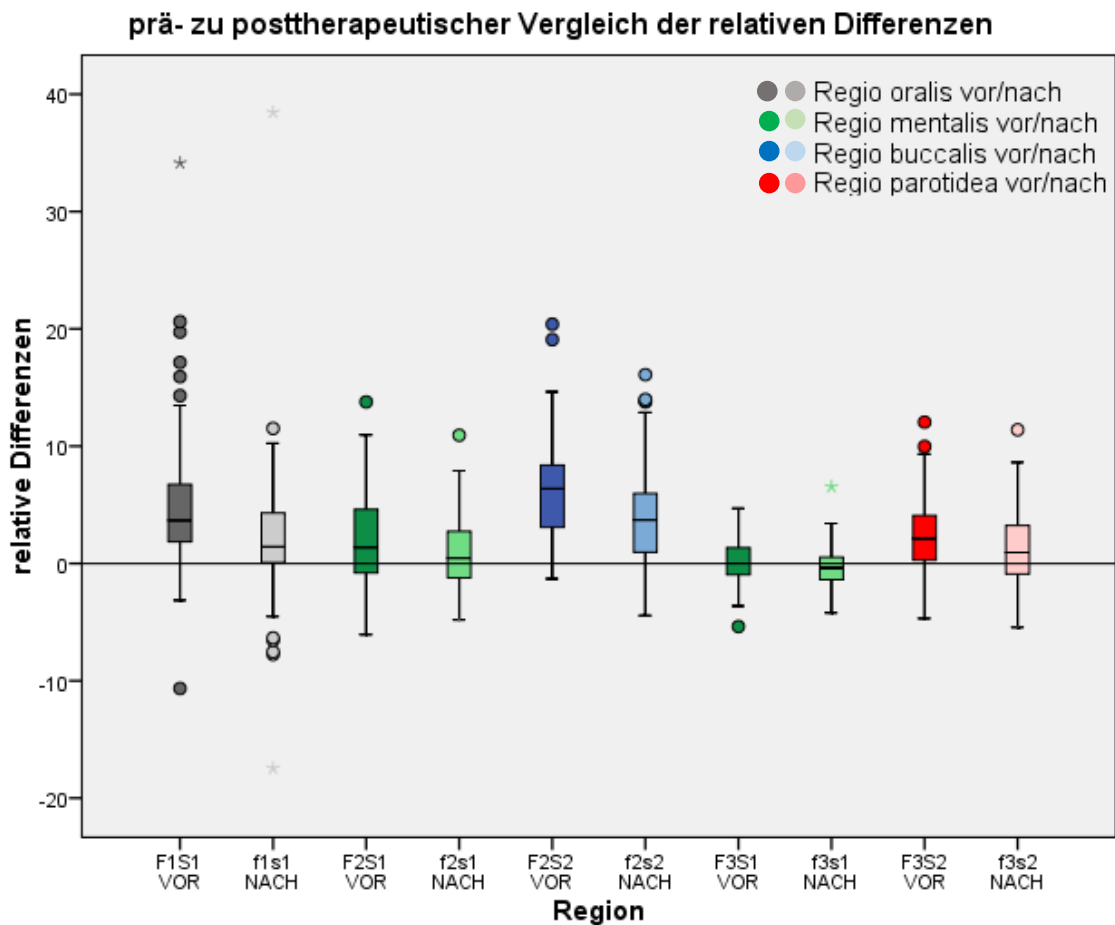


Abbildung 25: prä- zu posttherapeutischer Vergleich – vertikal

In Tabelle 16 Spalte Δ -Median lässt sich auch für die vertikalen Differenzen im Mittel ein leichter Rückgang der Asymmetrie erkennen. Ausreißer sind dabei F2S3 mit einem überproportionalen Rückgang der Asymmetrie und F3S3, welcher sogar durch eine überproportionale Zunahme der Asymmetrie gekennzeichnet ist. In der grafischen Auswertung (Abbildung 25) wurden die Ausreißer-Punkte F1S2, F2S3 sowie F3S3 wiederum nicht aufgeführt. Alle übrigen Punkte zeigen auch in grafischer Darstellung einen klaren Trend zu Verringerung der prätherapeutisch bestandenen Asymmetrie. Bei Betrachtung der Änderung zur initial bestandenen Differenz zeigt sich ein deutlicher Rückgang der Asymmetrie um teilweise mehr als 50%. Die beobachteten Änderungen der Asymmetrie in vertikaler Richtung können bis auf F3S1 und F3S3 alle als signifikant bezeichnet werden.

3.6.4 Sagittale Differenzen

Die Ergebnisse für die therapeutischen Veränderungen in der Sagittalebene stellen Tabelle 17 und Abbildung 26 in bekannter Form dar.

		N	Median [%]	Δ -Median	Minimum [%]	Maximum [%]	Sig.
H1S1 orbitalis	vor Therapie	100	2,480	0,985	-6,155	9,179	
	nach Therapie	100	1,557	53,00%	-4,129	7,024	0,000
H1S2 orbitalis	vor Therapie	100	5,349	2,023	-3,455	13,196	
	nach Therapie	100	3,568	45,31%	-4,661	15,018	0,000
H1S3 parotidea	vor Therapie	100	21,375	-11,692	-31,939	1475,446	
	nach Therapie	84	38,693	-94,96%	-55,003	4126,803	0,000
H2S1 buccalis	vor Therapie	100	2,352	0,603	-2,202	9,619	
	nach Therapie	100	1,752	31,87%	-4,794	7,229	0,000
H2S2 buccalis	vor Therapie	100	5,513	1,310	-0,317	14,272	
	nach Therapie	100	3,713	29,00%	-3,577	9,993	0,000
H3S1 oralis	vor Therapie	93	2,575	0,924	-5,040	13,801	
	nach Therapie	92	1,702	43,15%	-3,742	16,539	0,023
H3S2 buccalis	vor Therapie	100	7,788	2,654	0,781	22,949	
	nach Therapie	100	4,859	38,13%	-10,801	16,980	0,000

Tabelle 17: prä- zu posttherapeutischer Vergleich - sagittal (Δ -Median% fett markiert und grau hinterlegt)

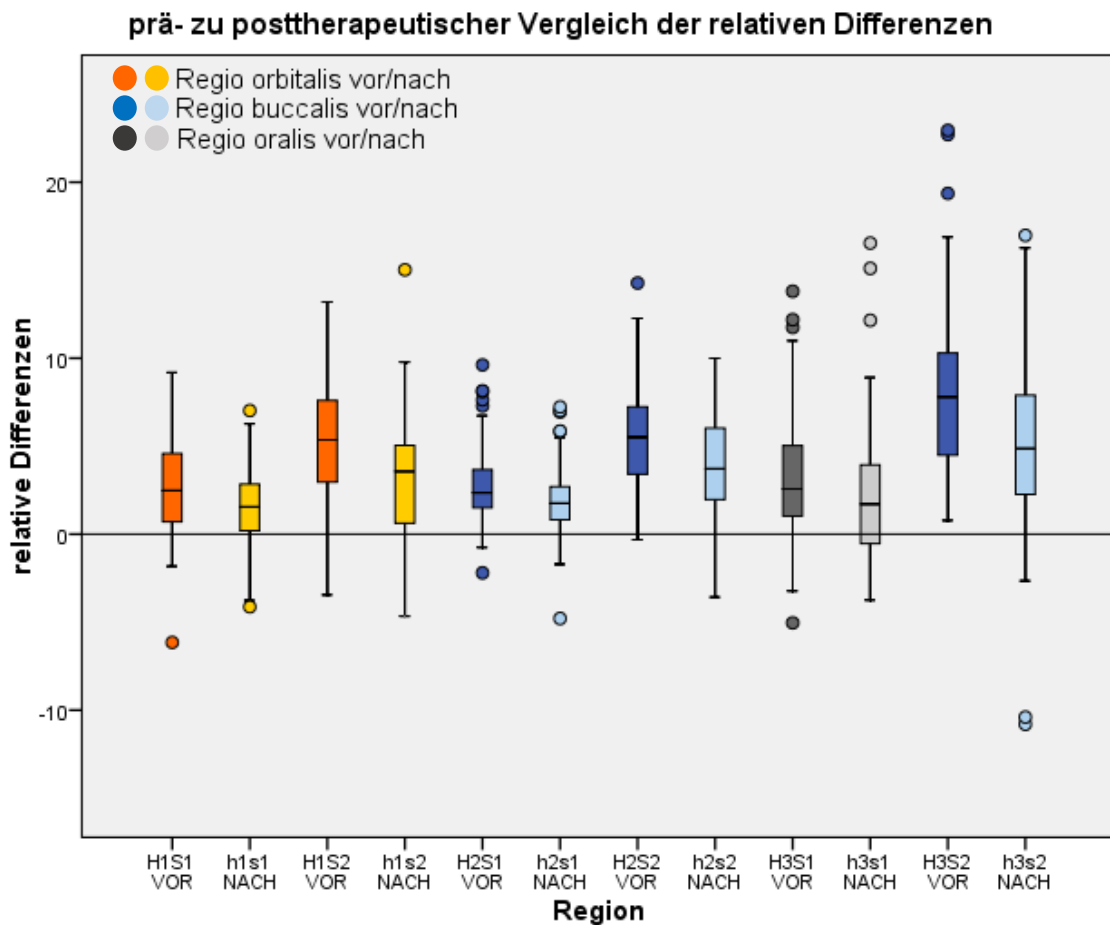


Abbildung 26: prä- zu posttherapeutischer Vergleich - sagittal

Wie auch schon bei Betrachtung der anderen Raumrichtungen lässt sich ebenso für die sagittalen Differenzen ein Rückgang der Asymmetrie im Diagramm sowie bei Betrachtung des Median beobachten. Einziger auffälliger Ausreißer ist der Punkt H1S3 (Regio parotidea). Dieser wurde ebenfalls aus Gründen der Übersichtlichkeit im obigen Diagramm nicht aufgeführt. Alle anderen Punkte zeigen einen stark signifikanten Rückgang der initial bestandenen Asymmetrie mit rund 30% Verringerung der vor Helmtherapie bestandenen Punktpaardifferenz.

3.6.5 Veränderung der Asymmetrie nach anatomischen Regionen

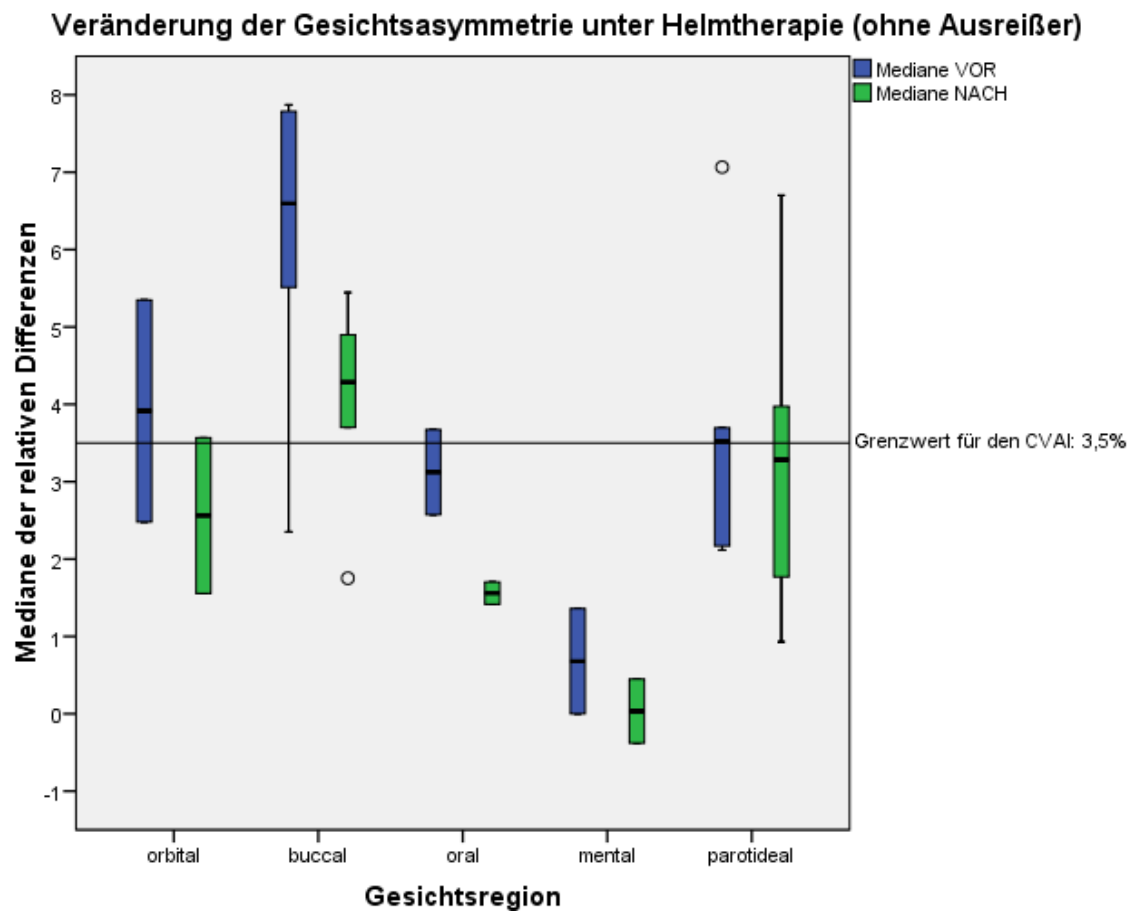


Abbildung 27: Veränderung der Asymmetrie nach anatomischen Gesichtsregionen (ohne Ausreißer)

Prozentuale Verbesserung der einzelnen Gesichtsregionen unter Helmtherapie

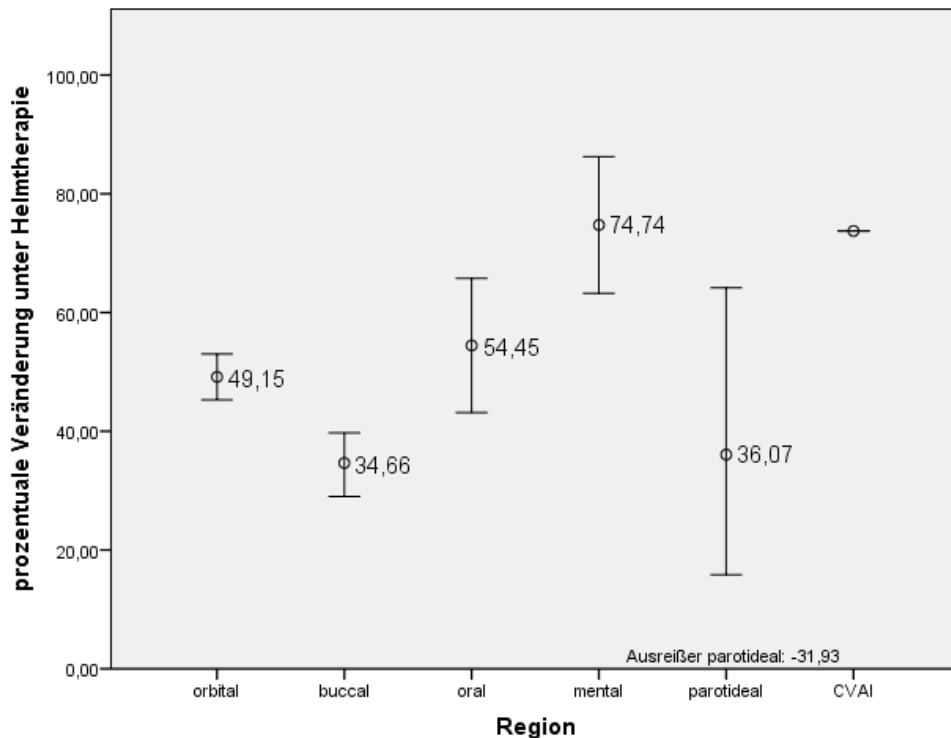


Abbildung 28: Prozentuale Verbesserung der Gesichtsregionen unter Helmtherapie

Abbildung 27 stellt die Veränderung der Gesichtsasymmetrie im prä- zu posttherapeutischen Vergleich, sortiert nach Gesichtsregionen, dar. Die Grafik verdeutlicht die Entwicklung der relativen Punktepaaardifferenzen anhand des Medians. Nicht berücksichtigt wurden die in vorangegangenen Kapiteln ebenfalls ausgeschlossenen Ausreißer (F1H1 (orbital); F1H2 und F1S2 (je bukkal); F2S3, F3S3 und H1S3 (je parotideal)). Zusätzlich, zur besseren Orientierung und Einordnung der Daten, ist der von Loveday und De Chalain postulierte therapeutische Zielwert für den CVAI $\leq 3,5\%$ (Loveday and De Chalain, 2001) in der Grafik vermerkt.

Generell zeigte sich für alle Regionen ein Rückgang der Asymmetrie im Median. Für einige Punkte konnte der Grenzwert von 3,5% durch die Helmtherapie unterschritten werden, andere erreichten diesen nicht in Gänze. Insgesamt betrachtet zeigte sich allerdings eine klar rückläufige Tendenz mit geringerer Gesichtsasymmetrie nach Abschluss der Helmtherapie. Lediglich bei Punkt F3H1 konnte keine posttherapeutische Verringerung festgestellt werden. Die

Auswertung für die Einzelpunkte ist im Anhang in Tabelle 27 beziehungsweise Abbildung 84 aufgeführt.

Abbildung 28 stellt die Veränderung der Asymmetrie im Verhältnis zur ursprünglich bestandenen Asymmetrie dar. Dabei wurden Minimum, Maximum und der Mittelwert der Veränderung aufgeteilt nach Gesichtsregionen betrachtet. Zusätzlich ist die Veränderung des CVAI im Vergleich zum Ausgangswert als Referenzmarke angegeben (im Median: 73,74%). Es zeigte sich wie bereits in den vorigen Kapiteln dargelegt eine deutliche Minderung der Gesichtsasymmetrie von rund 30% bis zu weit über 50% verglichen zum prätherapeutischen Wert. Die größte Veränderung mit einer mittleren Prozentzahl von 74,74% lässt sich in der Regio mentalis verzeichnen. Regio buccalis und Regio parotidea veränderten sich durch Helmtherapie prozentual am wenigsten.

3.7 Korrelationen

3.7.1 Korrelation CVAI zu Differenz der Punktepaare vor Therapie

In Tabelle 18 bis Tabelle 20 sind Kennzahlen der Korrelationsanalyse aufgeführt. Untersucht wurde dabei der Zusammenhang zwischen prätherapeutischem CVAI und der Differenzen der Punktepaare, jeweils aufgelistet nach betrachteter Raumrichtung. Angegeben ist der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman.

Der Median des CVAI lag prätherapeutisch bei 12,87.

Regio (Punkt transversal)	N	Median [mm]	Spearman ρ
orbitalis F1H1	100	7,04	0,368
buccalis F1H2	100	4,13	0,465
parotidea F2H1	100	3,59	0,374
buccalis F2H2	100	3,16	0,428
buccalis F2H3	100	3,00	0,342
parotidea F3H1	100	1,22	0,058
parotidea F3H2	100	1,97	0,310
parotidea F3H3	98	1,57	0,143

Tabelle 18: Korrelation CVAI zu transversalen Differenzen vor Therapie

Regio (Punkt vertikal)	N	Median [mm]	Spearman ρ
oralis F1S1	98	1,40	0,239
buccalis F1S2	100	7,97	0,345
mentalis F2S1	96	0,79	-0,088
buccalis F2S2	100	2,92	0,367
parotidea F2S3	44	12,2	0,232
mentalis F3S1	66	0,00	-0,071
parotidea F3S2	84	1,14	0,204
parotidea F3S3	99	7,90	0,168

Tabelle 19: Korrelation CVAI zu vertikalen Differenzen vor Therapie

Regio (Punkt sagittal)	N	Median [mm]	Spearman ρ
orbitalis H1S1	100	1,51	0,168
orbitalis H1S2	100	2,85	0,427
parotidea H1S3	100	6,57	0,267
buccalis H2S1	100	1,47	0,359
buccalis H2S2	100	2,93	0,445
oralis H3S1	93	1,40	0,052
buccalis H3S2	100	3,51	0,416

Tabelle 20: Korrelation CVAI zu sagittalen Differenzen vor Therapie

In transversaler Richtung ergab sich prätherapeutisch eine sehr schwache (F3H1) bis mittlere Korrelation (F1H2, F2H2), in vertikaler Richtung eine sehr schwache negative Korrelation (F2S1, F3S1) bis schwache Korrelation für die Punkte F1S2 und F2S2. In sagittaler Richtung zeigte sich ebenfalls eine sehr schwache (H3S1) bis mittlere Korrelation (H1S2, H2S2 und H3S2) für den Zusammenhang zwischen prätherapeutisch erhobenen CVAI und die gemessenen Punktedifferenzen.

3.7.2 Korrelation CVAI zu Differenz der Punktepaare nach Therapie

In Tabelle 21 bis Tabelle 23 sind Kennzahlen der posttherapeutischen Korrelationsanalyse aufgeführt. Untersucht wurde mit Hilfe des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman, ob ein Zusammenhang zwischen posttherapeutisch erhobenem CVAI und posttherapeutischer Gesichtasymmetrie besteht.

Der Median des CVAI lag posttherapeutisch bei 4,00.

Regio (Punkt transversal)	N	Median [mm]	Spearman ρ
orbitalis f1h1	99	4,71	-0,001
buccalis f1h2	99	3,24	0,268
parotidea f2h1	99	3,46	0,134
buccalis f2h2	99	2,70	0,239
buccalis f2h3	99	1,99	0,143
parotidea f3h1	99	2,30	-0,020
parotidea f3h2	99	1,67	0,172
parotidea f3h3	97	0,87	0,059

Tabella 21: Korrelation CVAI zu transversalen Differenzen nach Therapie

Regio (Punkt vertikal)	N	Median [mm]	Spearman ρ
oralis f1s1	97	0,52	0,044
buccalis f1s2	99	5,75	0,167
mentalis f2s1	94	0,29	0,200
buccalis f2s2	98	1,86	0,164
parotidea f2s3	37	5,86	0,132
mentalis f3s1	72	-0,25	0,039
parotidea f3s2	87	0,53	0,036
parotidea f3s3	95	14,49	-0,060

Tabella 22: Korrelation CVAI zu vertikalen Differenzen nach Therapie

Regio (Punkt sagittal)	N	Median [mm]	Spearman ρ
orbitalis h1s1	99	0,97	-0,051
orbitalis h1s2	99	2,03	0,052
parotidea h1s3	83	9,96	-0,103
buccalis h2s1	99	1,20	0,153
buccalis h2s2	99	2,28	0,311
oralis h3s1	91	0,93	0,126
buccalis h3s2	99	2,58	0,144

Tabella 23: Korrelation CVAI zu sagittalen Differenzen nach Therapie

In alle Raumebenen konnte für die Punktepaare in der posttherapeutischen Korrelationsanalyse kein beziehungsweise allenfalls ein sehr schwach negativer bis maximal schwach positiver Zusammenhang zum CVAI nach Therapie festgestellt werden.

4. Diskussion

4.1 3D-Mess- und Auswertungsverfahren

Die Gesichtsbeteiligung als Folge der lagebedingten Plagiozephalie ist ein bereits frühzeitig unter anderem von Bruneteau und Mulliken (Bruneteau and Mulliken, 1992) häufig postuliertes und dennoch wenig untersuchtes Symptom der lageassoziierten Schädeldeformitäten. Dabei konnten insbesondere kaum Studien zur Quantität der Gesichtssymmetrie gefunden werden, sodass die Datenlage diesbezüglich sehr dünn zu sein scheint.

Die vorgelegte Arbeit schließt diese Lücke und liefert quantifizierbare Ergebnisse. Die eigens dazu entwickelte Methode zur Vermessung von linker und rechter Gesichtshälfte und anschließendem individuellen Vergleich beider Seiten stellt ebenso ein Novum im Forschungsgebiet der lagebedingten Plagiozephalie dar. Dazu wurde zunächst die Verwendung von digitalen Landmarken als vermessbare Fixpunkte des Gesichts diskutiert. Obwohl Studien die ausreichende Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von Landmarken, welche indirekt am Computer gesetzt wurden, bestätigen (de Menezes et al., 2010), entschied man sich im Hinblick auf die besonderen anatomischen Verhältnisse im Gesicht von Säuglingen und aufgrund der mangelnden Anzahl sicherer Landmarken im lateralen Gesicht für eine andere Möglichkeit der Vermessung (Metzler et al., 2012). Eine weitere Möglichkeit zur Quantifizierung wäre die Verwendung von Volumina gewesen. Dabei ließen sich ebenso die anatomischen Regionen des Gesichts unterteilen und einzeln betrachten. Doch auch diese Herangehensweise würde die Problematik des massiven Größenwachstums im betrachteten Untersuchungszeitraum nicht lösen und zudem wäre die Differenzierung der Asymmetrie nach Raumrichtung dadurch ebenfalls nicht möglich. Insofern fand die Methode der Gesichtsvermessung mittels Volumina ebenfalls keine Anwendung. Dennoch könnte diese Methode eine interessante, wenn auch nicht fehlerfreie (Taylor et al., 2014) Möglichkeit zur Validierung des hier angewendeten Verfahrens darstellen und Raum für weitere

Erkenntnisse im Bereich der Gesichtasymmetrie bei lagebedingter Plagiozephalie bieten.

Im Entwicklungsprozess der hier angewendeten Methode kristallisierte sich die Verwendung von orthogonal zueinander stehenden Ebenen, orientiert an einem zugrunde gelegten Koordinatensystem und den sich daraus ergebenden neuen „Landmarken“, als sinnvollste und mit den vorhandenen 3D-Fotografien am besten durchführbare Option heraus.

Durch die Kombination der zuvor implementierten Ebenen war es möglich Schnittpunkte zu generieren, deren Koordinaten je nach kombinierter Ebene die Asymmetrie des Gesichts quantifizieren. Aufgrund dieses Vorgehens konnten alle drei Raumebenen getrennt voneinander betrachtet und ausgewertet werden.

4.1.1 Fotogrammetrie

Die dreidimensionale Fotogrammetrie ist ein in der Medizin weit verbreitetes Verfahren zur Analyse und Auswertung dreidimensionaler Fotografien. Eine Vielzahl von Studien belegen deren Genauigkeit und beschreiben deren Zuverlässigkeit, auch im Vergleich zu direkt erhobenen anthropometrischen Daten (Schaaf et al., 2010, Wong et al., 2008) beziehungsweise im Vergleich zu Messungen zweidimensionaler Fotografien (Krimmel et al., 2005, Heike et al., 2009). Besonders im Bereich der Plagiozephalie wird die 3D-Scan-Methode zur Verlaufskontrolle empfohlen (Littlefield et al., 2004a). Insbesondere da durch die Erstellung eines virtuellen 3D-Modells auf Grundlage der 3D-Fotografie Strahlenbelastung vermieden werden kann (McKay et al., 2010) und zudem Messungen möglich sind, die unabhängig der Compliance des Patienten durchgeführt werden, steigert die 3D-Fotogrammetrie zusätzlich die Reproduzierbarkeit der verwendeten Methode (Weinberg et al., 2006).

Das Aufnahmeverfahren der 3D-Bilddateien gestaltet sich, insbesondere mit dem in der Tübinger Helmsprechstunde verwendeten 3D-Scannern Vectra-CR 3D sehr einfach und unkompliziert in der Handhabung. Vorteilhaft ist, in Anbetracht des besonderen Patientenkontextes, sicherlich die kurze Aufnahmedauer und die

schnelle Durchführbarkeit der Einzelaufnahmen. Zudem bietet die 3D-Fotografie eine ausreichend hohe Auflösung und farbige Oberflächen bei Aufnahmezeiten von unter einer Sekunde (Weinberg et al., 2006).

Die Definition von Landmarken spielt beim verwendeten Vermessungsverfahren eine zentrale Rolle. Sowohl zur Orientierung des Kopfes im Koordinatensystem, als auch zur Definition der eingezogenen Ebenen wurden Landmarken verwendet. Grundvoraussetzung war die Sicherheit, Stabilität und eindeutige Definition der verwendeten Landmarken (Metzler et al., 2012). Die Schwierigkeit dieser indirekten Punktsetzung auf einer virtuellen Oberfläche liegt in der nicht vorhandenen Haptik (Weinberg and Kolar, 2005). Zusätzlich erschwert die dem Datensatz zugrunde liegende Polygonoberfläche, bestehend aus kleinen Dreiecken, die Definition der Landmarken. Dabei können die zu setzenden Landmarken nur direkt auf die Eckpunkte solcher Dreiecke gelegt werden, sodass dadurch bereits kleinere Ungenauigkeiten auftreten können.

Beide Probleme konnten allerdings mithilfe des Grafikprogramms Rhinoceros 3D® zu einem gewissen Grad umgangen werden und damit eine hinreichende Genauigkeit erreicht werden. Durch Auswahl von einfach zu identifizierenden Landmarken und mithilfe von Rhinoceros 3D® war es möglich, die während der 3D-Aufnahme ebenfalls erfasste farbliche Textur über die Polygonoberfläche legen zu lassen. Dadurch konnten Punkte wie zum Beispiel Exocanthion oder Endocanthion deutlich sicherer identifiziert werden. Ein weiteres Tool von Rhinoceros 3D® ermöglicht es, eine sogenannte „Punktewolke“ über die durch die Dreiecke definierte Oberfläche zu legen, sodass damit nicht nur die Eckpunkte der Dreiecke, sondern beliebig viele Punkte zur Definition einer Landmarke zur Verfügung standen. Durch dieses Vorgehen konnte die Punktsetzung deutlich exakter erfolgen (Genauigkeit 0,0001 mm) und das Problem der Polygonoberfläche umgangen werden.

Die Kontrolle der Punktsetzung konnte in Rhinoceros 3D® dabei simultan mithilfe der vier Ansichtsfenster (Ansicht von links, rechts, front und perspektive) in allen drei Dimensionen überwacht werden, sodass die Punktsetzung optimal erfolgen konnte. Insgesamt kann damit die Definition der Landmarken als konstant und

reproduzierbar angesehen werden. Das in der Helmsprechstunde verwendete 3D-Aufnahmegerät Vectra-CR 3D wurde dabei hinsichtlich Genauigkeit der Landmarkensetzung sowie deren Reproduzierbarkeit durch mehrere Studien bestätigt. Sowohl Menezes et al. (de Menezes et al., 2010), als auch Othman et al. (Othman et al., 2013) zeigen trotz unterschiedlicher Studiendesigns die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der mit dem Vectra-CR 3D System aufgenommenen 3D-Fotografien und den darin gesetzten Landmarken.

Die Konstruktion zur Orientierung des Kopfes im Koordinatensystem erfolgte dabei mit Hilfe der Punkte des Helixansatzes, des Nasions und dem Subnasalpunkt. Nasion und Subnasalpunkt konnten mithilfe der vier Ansichtsfenster einfach und sicher markiert werden. In einer Studie von Gwilliam et al. konnte die sichere und reproduzierbare Identifikation dieser Punkte bereits gezeigt werden (Gwilliam et al., 2006). Lediglich die Definition des Helixansatzes erfordert ein routiniertes Vorgehen und etwas Übung. Zum einen verwischt dort aufnahmebedingt die Oberflächentextur etwas, zum anderen ist die Dichte der Polygondreiecke teilweise etwas herabgesetzt, verglichen mit der restlichen Gesichtsoberfläche.

Alternative Landmarke zur Beschreibung der Lage des Ohrs wäre der sogenannte Traguspunkt (Farkas, 1994) gewesen. Allerdings war dieser im Fall der vorliegenden 3D-Datensätze sehr unsicher auffindbar und damit schlichtweg ungeeignet.

Die Markierung der Landmarken zur Definition der Ebenen Exocanthion, Endocanthion, seitlichster, basalster Punkt der Nasenflügel sowie die beiden Mundwinkel stellten ebenfalls kein Problem dar und konnten mit etwas Übung sicher identifiziert werden. Hajeer et al. bestätigen die Sicherheit und intraindividuelle Reproduzierbarkeit der verwendeten Punkte mit einem Fehler von deutlich unter 0,5 mm (Hajeer et al., 2002). Hilfreich bei der Identifikation der Landmarken war auch in diesem Fall die in Rhinoceros 3D® mögliche Aufteilung

in vier Ansichtsfenster, sodass jede Dimension simultan eingesehen werden konnte.

Die weitere Definition der Ebenen erforderte lediglich etwas Routine, weshalb die Implementierung der Ebenen keine weiteren Schwierigkeiten darstellte.

Der letzte Schritt, die Definition der Punktepaare, erforderte ebenfalls einige Übung, kann aber als automatisierter Ablauf ähnlich eines Programmalgorithmus angesehen werden. Das verwendete Programm Rhinoceros 3D® beinhaltet diesbezüglich ein Tool zum Errechnen des Schnittpunktes der jeweils betrachteten Ebenen mit der Gesichtsoberfläche, sodass auch hier keine weitere Fehlerquelle zu vermuten ist.

Insgesamt wäre sicherlich eine Automatisierung des gesamten Prozesses – von Definition der Punkte für die Orientierung im Koordinatensystem sowie der Punkte zu Definition der Ebenen, bis hin zum Export der Koordinaten der Punktepaare – wünschenswert gewesen, da durch die manuelle Definition der Punkte Ungenauigkeiten nie gänzlich ausgeschlossen werden können. Da das Verfahren jedoch komplett neu entwickelt wurde, war eine solche Automatisierung des Prozesses in einem ersten Ansatz allerdings nicht angedacht. Hier besteht durchaus noch Entwicklungspotenzial. Eine denkbare Möglichkeit wäre die Definition von Punkten über mathematische Funktionen und Formeln. Bspw. ließe sich der Subnasalpunkt mithilfe einer Kurve und deren Scheitelpunkt sicher identifizieren (Liang et al., 2013). Da der gesamte Prozess aber durch nur einen Untersucher stattfand, konnten zumindest Interobserver-Fehler ausgeschlossen und damit die Genauigkeit erhöht werden.

4.1.2 Wachstum im Untersuchungszeitraum

Größte Schwierigkeit in Bezug auf die Verwendung der Punktkoordinaten stellte das physiologische Wachstum der Patienten dar. Meyer-Marcotty et al. beschreiben in ihrer 2013 vorgestellten Studie eine Volumenzunahme des kindlichen Schädels von 18,76% im Zeitraum vom sechsten bis zum zwölften Lebensmonat (Meyer-Marcotty et al., 2013). In einer Studie von Knickmeyer et

al. steigt das Volumen des kindlichen Gehirns im ersten Lebensjahr sogar um 101% (Knickmeyer et al., 2008), sodass mit dem zweiten Lebensjahres 80- 90% des Volumens eines Erwachsenen erreicht sind (Pfefferbaum et al., 1994). Dieser hohe Prozentsatz stellt das Wachstumspotential und auch die Geschwindigkeit des damit einhergehenden Schädelwachstums sehr eindrücklich dar. Die dargelegte, im Untersuchungszeitraum auftretende Größenzunahme führt unweigerlich auch zur Vergrößerung der in dieser Studie gemessenen Punktkoordinaten. Das Problem wurde mit der Einführung der relativen Differenzen gelöst. So wurde die physiologische Größenzunahme aus den gemessenen Differenzen herausgerechnet und eine longitudinale Vergleichbarkeit geschaffen. Die Effektivität der Helmtherapie bezüglich der Gesichtsasymmetrie konnte dadurch entsprechend beurteilt werden. Angelehnt ist die Formel zur Errechnung der relativen Differenzen dabei an den von Loveday und De Chalain postulierten Ansatz der Berechnung des CVAI (Loveday and De Chalain, 2001).

4.1.3 Methodische Grenzen – das „Asymptoten-Problem“

Das bereits im Ergebnisteil der vorgelegten Arbeit erwähnte „Asymptoten-Problem“ stellt eine methodenimmanente Schwachstelle der angewandten Vorgehensweise dar. Die indirekte Generierung von neuen Landmarken mit Hilfe orthogonaler Schnittebenen und die sich daraus ergebende Verwendung von lediglich einer Koordinate jedes Punktes beziehungsweise der Differenz der beiden Punktepartner führt zwangsläufig zu Ungenauigkeiten, wie sie das Asymptoten-Problem beinhaltet. Dabei verstärkt sich die Wirkung auf die Punktedifferenzen mit asymptotischer Annäherung der generierten Schnittgerade an die Gesichtsoberfläche.

Im Folgenden soll erläutert werden, wie es zu solch immensen Maximalwerten der Differenzen von linker zu rechter Gesichtshälfte von bis zu bspw. 61,08 mm (F2S3) kommen kann. Dazu betrachten wir die Schnittgerade der Ebenen F2 und S3 (die Erklärung für andere vom Asymptoten-Problem betroffene Punkte gilt analog). Die Schnittgerade von F2 und S3 verläuft sehr weit lateral am Kopf.

Somit nähert sie sich, im Falle des Schneidens mit der Gesichtsoberfläche, dieser asymptotisch an. Das bedeutet, dass kleinste Veränderungen der Gesichtsoberfläche orthogonal zur Schnittgerade, immense Auswirkungen auf die Position des Schnittpunktes von Schnittgerade und Gesichtsoberfläche haben.

Mit folgender Abbildung soll dieses Phänomen verdeutlicht werden:

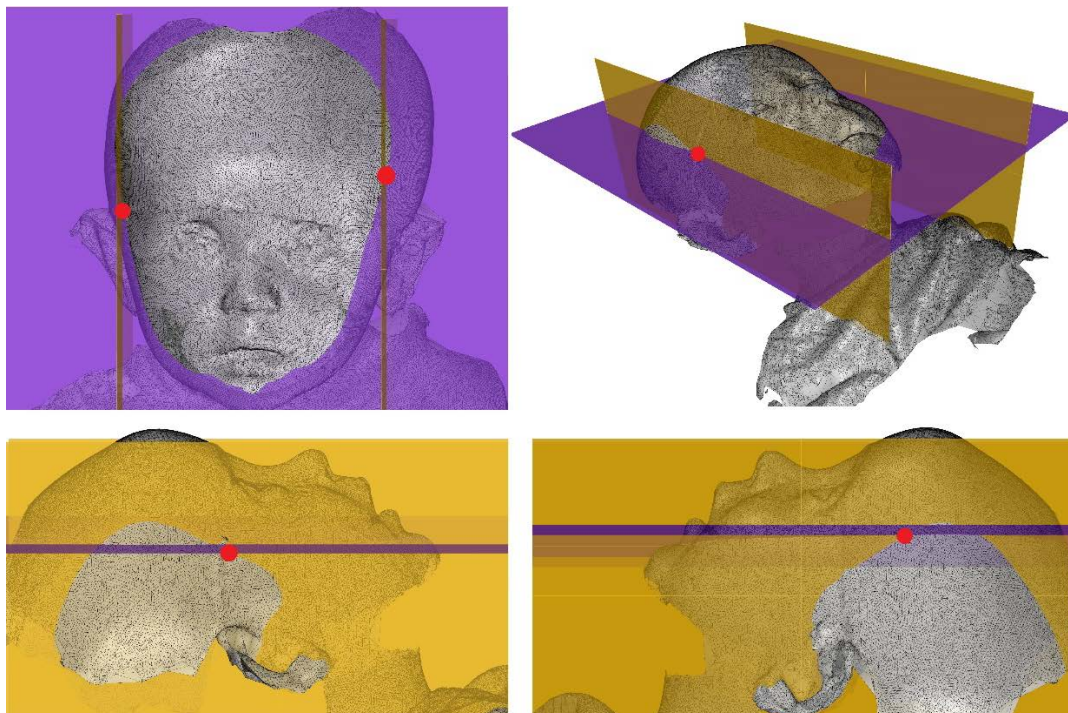


Abbildung 29: Darstellung Asymptoten-Problem

Dargestellt sind verschiedene Ansichten der Ebenen F2 und S3. Die beiden oberen Bildanteile zeigen eine Ansicht von Frontal (a.) beziehungsweise in frontaler Perspektive (b.). Hier lässt sich die asymptotische Annäherung der Schnittgeraden an die Gesichtsoberfläche gut erkennen. In Abbildung 29a.) liegt der Schnittpunkt der rechten Gesichtshälfte circa auf Höhe des Supraorbitalrandes, der linke Schnittpunkt deutlich darüber auf Höhe der Stirn (siehe rote Punkte in Abbildung 29). Die beiden unteren Bilder stellen jeweils die Ansicht von rechts (c.) beziehungsweise von links (d.) dar. Hier lässt sich deutlich die große Differenz der beiden Schnittpunkte in y-Richtung (Körperachse)

erkennen. In der Ansicht von rechts (c.) liegt der Schnittpunkt auf Höhe des Helixansatzes. In der linken Ansicht (d.) deutlich weiter kranial auf Höhe der Stirn.

Stellvertreter für das Asymptoten-Problem sind die Punkte F1H1 und F1H2 in transversaler, F1S2, F2S3 und F3S3 in vertikaler sowie H1S3 in sagittaler Richtung. Diese Punkte zeigen deshalb deutlich vergrößerte Spannweiten und meist einen deutlich über den übrigen Werten liegenden Median. Dadurch wird das Ausmaß der Asymmetrie bezogen auf diese Sonderpunkte wahrscheinlich vergrößert und damit das Bild etwas verzerrt.

Als Folge des hier beschriebenen Asymptoten-Problems ergibt sich eine Verstärkung der Verzerrung bei Betrachtung der entsprechenden relativen Differenzen. Diese auffälligen relativen Differenzen zeigen sich in den bereits genannten Regionen: Regio buccalis (F1S2) und Regio parotidea (F2S3 und F3S3). Einerseits erklären sich die relativen Differenzen natürlich über die Größe der absoluten Differenzen. Allerdings spielt ein weiterer Fakt eine entscheidende Rolle: Oftmals liegt der Punktepartner der nicht betroffenen Seite in y-Richtung (auf der Schnittgeraden) nahe dem Ursprung der Koordinatenachse. Der Punktepartner der kontralateralen, betroffenen Seite liegt bei großer Differenz entsprechend weit weg von Null. Da, wie in Abschnitt 2.6.2 erläutert, der Wert der nicht betroffenen Seite der relativen Berechnung zugrunde liegt, potenziert sich die Differenz der beiden Punktepartner in relativer Betrachtung dadurch und es kommt zum Auftreten von absurd hohen prozentualen Werte der relativen Differenzen wie bspw. von F2S3, F1S2 und F3S3 in vertikaler Richtung sowie H1S3 in sagittaler Richtung. Diese Ergebnisse zeigen sich als weitere Auswirkung des beschriebenen Asymptoten-Problems, sodass die Interpretation der Daten bezüglich dieser Punkte zumindest mit Vorsicht erfolgen muss.

Trotz dieser vergrößerten Maßzahlen ist die Aussage der oben genannten, vom Asymptoten-Problem betroffenen Punktepaare, nicht zu verwerfen. Es lässt sich zwar nur eine quantitative Bewertung von verminderter Aussagekraft ableiten, das Auftreten einer Asymmetrie kann aber dennoch eindeutig geschlussfolgert werden. Dabei stellen sich Punkte mit Asymptoten-Problem als Gegenpart der im Abschnitt „*Material und Methoden*“ dargelegten Kategorie „Asymmetrie“ dar

(Kapitel 2.6.1 *Punkteexistenz*). Im Falle der Kategorie „Asymmetrie“ wird die Gesichtsoberfläche von der Schnittgeraden auf einer Seite geschnitten, auf der gegenüber befindlichen Seite hingegen nicht. Daraus wurde eine nicht quantifizierbare Asymmetrie abgeleitet. Die Kategorie „Asymmetrie“ wie auch Punkte mit Asymptoten-Problem können zwar keine Quantifizierung der Asymmetrie bieten, belegen allerdings trotzdem die Vermutung des Vorhandenseins einer Gesichtsasymmetrie bei lagebedingter Plagiozephalie. Aufgrund der oftmals massiven Ausprägung der vom Asymptoten-Problem betroffenen Punkte sind diese in den grafischen Darstellungen quantifizierbarer Ergebnisse im Abschnitt „*vor zu nach Vergleich*“ Kapitel 3.6 aufgrund der erläuterten Problematik als Ausreißer, wie entsprechend vermerkt, nicht berücksichtigt.

Zweiter methodenimmanenter Kritikpunkt stellt die nicht gegebene Möglichkeit dar, einzelne Punkte in allen Raumrichtungen gleichzeitig – im Sinne eines Vektors – zu beschreiben. Die hier angewendete Methode ermöglicht lediglich die Beschreibung jedes Schnittpunktes in einer der drei Raumrichtungen.

Die Verwendung von einzelnen Landmarken und die Zentrierung der 3D-Fotografien in einem Koordinatensystem hätte die Möglichkeit der Auswertung und Differenzierung von Punkten linker zu rechter Gesichtshälfte in allen drei Raumrichtungen durch Auswertung von x-, y- und z-Koordinate einer Landmarke geboten. Dieses Vorgehen wurde allerdings aus in Abschnitt 4.3 erläuterten Gründen nicht angewendet.

4.2 Punkteexistenz

Bei Betrachtung der einzelnen Kategorien („existiert“, „Asymmetrie“, „fehlt“, „Fotodefekt“) zeigten sich charakteristische Merkmale in jeder Kategorie, welche im Folgenden erneut aufgegriffen und deren vermutete Ursache dargelegt werden soll. Für die Kategorie „existiert“ stellt der Punkt F1H3 eine Besonderheit dar: F1H3 wurde nicht miteinbezogen, da die Anzahl vollständiger Punktepaare mit $n = 35$ als ungenügend eingestuft wurde und die Lage der

Punkte sehr instabil zu sein scheint. Ursächlich dafür ist die Lokalisation der Punkte F1H3. Diese liegen im Bereich der Mundwinkel, wobei bei dem untersuchten Patientenkollektiv davon ausgegangen werden kann, dass dies eine „unruhige“ Region des Gesichts darstellt und zudem die Anatomie des Gesichts im betrachteten Alter eine Besonderheit im Sinne eines alterstypischen Profils mit fliehendem Kinn und dementsprechend weiter dorsal liegendem Mundbereich ist.

Die Kategorie „Asymmetrie“ beschreibt das einseitige Auftreten eines Punktes ohne den dazugehörigen Partner auf der kontralateralen Gesichtsseite. Diese besondere Konstellation deutet auf eine Asymmetrie des Gesichts im betrachteten Bereich hin. Eine Aussage über das Ausmaß der Asymmetrie bleibt diese Herangehensweise leider dennoch schuldig. Häufig betroffen davon sind, abgesehen von den ausgeschlossenen Punktepaaren, die Punktepaare F2S3 sowohl prätherapeutisch mit $n = 37$, als auch posttherapeutisch mit $n = 32$.

Ein beidseitiges Fehlen der betrachteten Schnittpunkte führte zur Eingruppierung in die Kategorie „fehlt“. Diese Kategorie erklärt sich durch die Verjüngung des Gesichts nach kaudal im Bereich der Wange, sodass die Ebenen S3 das Gesicht nicht mehr schneiden können und entsprechende Schnittpunkte der Ebenen nicht mehr zustande kommen.

Fehlende beziehungsweise unvollständige Punktepaare aufgrund von Fehlern beziehungsweise Abbildungslücken im 3D-Foto deckt die Kategorie „Fotodefekt“ ab. Besonders auffällig ist dieses Phänomen in der Submentalregion. Erklären lässt sich dies dadurch, dass das vordere Kinn die submentale Region während der Aufnahme der 3D-Fotografie verdeckt.

4.3 Gesichtsasymmetrie bei Plagiozephalie

Das Auftreten einer Gesichtsasymmetrie bei lagebedingter Plagiozephalie wird von Biggs et al. als charakteristisch und in Abgrenzung zur Plagiozephalie bedingt durch eine Kraniosynostose als Unterscheidungsmerkmal benannt. Eine genauere Beschreibung oder gar eine Quantifizierung bleibt diese Studie

dennoch schuldig (Biggs, 2003). Lediglich die bereits von Argenta et al. im Jahr 1996 postulierte Trapezform des Säuglingsschädels mit vermuteter und durch CT- Aufnahmen validierter Gesichtsasymmetrie wird in dieser Studie rezipiert.

Im von Argenta publizierten Modell gleicht der Kopf eines Säuglings mit lagebedingter Plagiozephalie in axialer Aufsicht einem Parallelogramm (Argenta et al., 1996). Abbildung 30 zeigt einen Säuglingsschädel mit lageassoziiierter Plagiozephalie in der Aufsicht von oben.

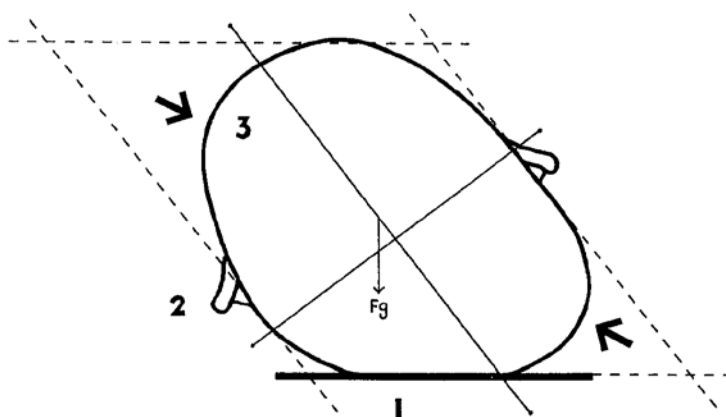


Abbildung 30: Veränderungen des Schädels nach Argenta (Littlefield et al., 1998)

Dieses Modell und die obige Abbildung verdeutlichen die Kraftvektoren und die mögliche Richtung der Asymmetrie. Abgeleitet von diesem Modell stellt die sagittale Richtung eine Hauptachse für mögliche Veränderungen des Gesichts dar. Die Asymmetrie des Gesichts in sagittaler Richtung stellt mit Sicherheit die klinisch interessanteste Richtung der Asymmetrie dar. Die Verformung des Hinterkopfes in sagittaler Richtung zeigt die größte Ausprägung, da sich Kraftvektor der Schwerkraft und Verformung des Kopfes mit vermuteter Gesichtsasymmetrie in gleicher Richtung ausprägen. Die in dieser Untersuchung erhobenen Daten zeigen in allen Regionen des Gesichts eine positive Asymmetrie in sagittaler Ausdehnung. Diese reicht von $\text{Median}_{H3S1} = 1,40\text{mm}$ bis hin zu deutlich größeren Werten mit $\text{Median}_{H1S3} = 6,57\text{mm}$. Insbesondere im Bereich des Auges als sehr markante und auffällige Landmarke wurde eine Asymmetrie von $\text{Median}_{H1S1} = 1,51\text{mm}$ medial beziehungsweise lateral sogar sehr ausgeprägt von $\text{Median}_{H1S2} = 2,85\text{mm}$ gemessen. Diese Werte passen zu den bisher subjektiven Beobachtungen eines Hervortretens des Auges auf der

betroffenen Seite. Als ebenfalls auffallend asymmetrisch zeigt sich die Region der Wangen, des Jochbogens beziehungsweise die infraorbitale Region (im Ergebnisteil als Regio buccalis zusammengefasst). Hierbei werden Werte zwischen $\text{Median}_{H2S1} = 1,47\text{mm}$ bis zu $\text{Median}_{H3S2} = 3,51\text{mm}$ in sagittaler Richtung gemessen und verdeutlichen damit die Asymmetrie in dieser Region. Rogers et al. beschreiben die Ursache dessen als Folge der Wanderung des ipsilateralen Jochbogens in sagittaler Richtung mit daran beteiligtem lateralen Augenwinkel (Rogers, 2011a). Bestätigt wird diese Schlussfolgerung der ursächlichen Verschiebung des Jochbogens durch eine Studie von Netherway et al., die eine Verkürzung des Jochbogens (gemessen als Strecke zwischen Porion und der Mitte des konkaven Jochbogens) bestätigen (Netherway et al., 2006).

Netherway et al. beschreiben in einer 2006 veröffentlichten Studie anhand verschiedenster Landmarken und Strecken die Asymmetrie des Schädels sowie des Gesichts. Dazu wurden 78 knöcherner Landmarken auf CT-Aufnahmen von Kindern mit lagebedingter Plagiozephalie gesetzt und vermessen (Netherway et al., 2006).

Die Verkürzung der Strecke von Condylus mandibulae zu Proc. coronoideus sowie die Verkürzung des Jochbogens in Kombination werden dabei als Verzerrung der (Infra-)Temporalregion interpretiert. Diese Erkenntnis deckt sich mit den in der hier vorgelegten Studie erhobenen Werten, repräsentiert durch unter anderem die bukkalen Punkte H2S2 und F2H2. Diese zeigen eine Asymmetrie, dargelegt durch eine Differenz mit einem prätherapeutischen Median von 2,93mm in sagittaler Richtung und sogar von 3,16mm in transversaler Richtung (F2H2), im Bereich des ipsilateralen Jochbogens beziehungsweise der Wange. Sowohl Netherway et al., als auch eine Studie von Kane et al. aus dem Jahr 1996 beschreiben trotz unterschiedlicher Landmarken eine deutliche Asymmetrie der Mandibula (Netherway et al., 2006, Kane et al., 1996a). Netherway beschreibt weiter sogar eine Asymmetrie des Oberkiefers. Diese anhand knöcherner Strukturen erhobenen Daten bestätigen sich in der hier durchgeführten Studie anhand weichteiliger Landmarken. Dabei zeigen insbesondere die oral gelegenen Punkte F1S1 in vertikaler und H3S1 in sagittaler Richtung eine Asymmetrie des Oberkiefers - weichteilig repräsentiert durch die

Oberlippe beziehungsweise den Mundwinkel. Zudem sprechen die Punkte H3S2 in sagittaler sowie F3S1, F3S2 und F3S3 in vertikaler Richtung und F3H2 und F3H3 in transversaler Richtung für eine Asymmetrie wie Kane et al. und Netherway et al. sie beschreiben.

Trotz deutlicher Unterschiede in der Methodik der Vermessung und des zugrunde gelegten Untersuchungsmediums kommen Lee, M.C. et al. (Lee et al., 2015) ebenfalls zu dem Ergebnis, dass mit vorhandener lagebedingter Plagiozephalie eine Gesichtsasymmetrie einhergeht. Lee, M.C. et al. beschreiben dabei die Gesichtsasymmetrie anhand von CT-Aufnahmen der Säuglingsschädel unter Verwendung des von Loveday und De Chalain (Loveday and De Chalain, 2001) beschriebenen CVAI-Werts gemessen in drei unterschiedlichen Ebenen: Ebene in der Mitte des Vertex und des Supraorbitalrandes, Ebene des Supraorbitalrandes und Infraorbitalrandes. Zudem wurde, ähnlich zum Vorgehen von Kluba et al. (Kluba et al., 2012) die Verlagerung des Traguspunktes in sagittaler Richtung beurteilt.

Obwohl die Studie von Netherway et al. (Netherway et al., 2006) und von Lee, M.C. et al. (Lee et al., 2015) ähnliche Ergebnisse nahelegen wie die hier vorgelegte Arbeit, müssen doch einige Aspekte als nachteilig angesehen werden und bedürfen klarer Kritik: Die durch die CT- Aufnahme entstandene Strahlenbelastung ist, vor allem in Bezug auf das Alter des Patientenkollektives, nicht zu vernachlässigen und muss im Sinne einer „Kosten-Nutzenrechnung“ kritisch beurteilt werden (Pearce et al., 2012). Im Gegensatz dazu stellt das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren der 3D-Fotografie eine strahlungsfreie und gesundheitlich nicht belastende Alternative dar. Weiterhin bleibt die Untersuchung von Lee, M.C. et al. eine Quantifizierung der tatsächlichen Gesichtsasymmetrie schuldig, da lediglich ein Schädelindex zur Beschreibung der Gesichtsasymmetrie verwendet wird (Lee et al., 2015). Diese Informationslücke konnte mit der vorgelegten Arbeit geschlossen werden, womit eine weicheitliche Beurteilung der Gesichtsoberfläche möglich gemacht wurde.

Abschließend bleibt die Frage offen, inwiefern die in dieser Studie erhobenen objektiven und quantitativen Daten in Bezug auf das Vorhandensein einer

Gesichtsasymmetrie im Alltag eine Rolle spielen. Insbesondere ist dabei die subjektive Wahrnehmung sowie die beigemessene Bedeutung einer vorhandenen Gesichtsasymmetrie durch Eltern, Behandler und letztlich die Patienten von höchstem Interesse.

Die Entscheidung zur Beendigung der Helmtherapie wird, in Abstimmung mit den behandelnden Ärzten, immer vorrangig auf Grundlage des von Eltern subjektiven Verständnisses von Symmetrie getroffen. In ihren Studien kommen sowohl Schweitzer et al. (Schweitzer et al., 2013) als auch Xia et al. (Xia et al., 2008) zu der Schlussfolgerung, dass davon ausgegangen werden kann, dass ein gewisser Toleranzbereich bezüglich einer Asymmetrie naturgegeben vorhanden sein muss und die Therapie deshalb eher aufgrund des Erreichens des individuellen Toleranzbereichs, anstatt aufgrund absoluter, perfekter anthropometrischer Symmetrie beendet wird. Zwar beziehen sich beide Studien in ihrer Aussage auf den Hinterkopf und zudem liegt, wie Vles et al. in ihrer Studie postulieren (Vles et al., 2000), der Fokus der Eltern bei Beendigung der Helmtherapie auf der Symmetrie des Hinterhauptes, so kann sich dennoch die Toleranz gegenüber geringgradiger Asymmetrie sicherlich auch auf das Gesicht übertragen lassen. Studien in diesem Bereich zeigen, dass symmetrischere Gesichter zwar als attraktiver wahrgenommen werden als asymmetrische (Langlois et al., 1994, Grammer and Thornhill, 1994), makellose Perfektion im Sinne einer absoluten Symmetrie hingegen senkt das Attraktivitätslevel (Zaidel and Deblieck, 2007). Kaipainen et al. untersuchten anhand von 3D-Fotografien von Gesichtern und deren Unterteilung in anatomische Partien die vorhandene Asymmetrie und beurteilten deren Attraktivität. Sie konnten feststellen, dass die Attraktivität der Gesichter nahezu unabhängig ist von Symmetrie in bestimmten Regionen des Gesichts (Kaipainen et al., 2015).

Diese Erkenntnisse zeigen wie divers und individuell unterschiedlich die Wahrnehmung und Bewertung von Gesichtern und der ihnen innewohnenden (A-)Symmetrie ist.

Die hier durchgeführte Studie hat ganz bewusst einen Fokus auf die Quantifizierung der Asymmetrie gesetzt und verzichtet insbesondere darauf die

gemessene Asymmetrie subjektiv zu bewerten. In diesem Bereich bestünde damit noch Raum für weitere Untersuchungen. Bspw. wäre interessant, wie verschiedene Personengruppen die Gesichtsasymmetrie der behandelten Kinder vor und nach Helmtherapie bewerten würden. Insbesondere die Sicht der Eltern, aber auch die der Behandler sowie gänzlich unbeteiligter Personen und im Langzeitversuch evtl. sogar die der Patienten selbst, stellen dabei interessante Ansätze für weitere Untersuchungen dar. Langfristig ließe sich sogar eine Studie durchführen, in der die Gesichtsasymmetrie sowohl quantitativ, mit der hier vorgestellten Methode, als auch qualitativ, im Sinne einer Bewertung der Gesichtsasymmetrie anhand neuer 3D-Scans von ehemaligen Helmpatienten im Erwachsenenalter untersucht wird.

Weiteren Raum für zukünftige Untersuchungen ließe sich in der Anwendung der hier vorgestellten Vermessungsmethode an Säuglingen ohne jeglichen plagiozephalen Befund finden. Diese könnten als Kontrollgruppe zur Evaluation der natürlichen Asymmetrie von Babygesichtern dienen und damit die hier dargelegten Ergebnisse in Relation zu einer Normalpopulation setzen. In einer 2014 durchgeführten Studie konnten Taylor et al. bereits zeigen, dass Gesichtern einer Normpopulation stets eine gewisse Asymmetrie innewohnt (Taylor et al., 2014). Allerdings lag in deren Studie das durchschnittliche Alter der Studienteilnehmer bei 34,2 Jahren und damit weit über dem des hier betrachteten Patientenkollektivs. Bei Anwendung der hier vorgestellten Vermessungsmethode bei Kindern zwischen dem 6. und 12. Lebensmonat ohne plagiozephalen Ausgangsbefund ließe sich eine Referenz zu den hier erhobenen Daten erfassen. Dies könnte sowohl die Entscheidung für beziehungsweise gegen eine Helmtherapie, aber auch die Entscheidung der Beendigung einer Helmtherapie in Bezug auf eine etwaige Gesichtsbeteiligung vereinfachen. Dass sich die Gesichtsasymmetrie unter Helm verringert, konnte mit der hier vorgelegten Studie ja bereits gezeigt werden.

Ursächlich für diese Fragestellung und damit Ansporn für weitere Untersuchungen ist die bisher nur bei Erwachsenen untersuchte Quantität von Gesichtssymmetrie beziehungsweise -asymmetrie.

4.4 Änderung der Gesichtsasymmetrie

Das primäre Behandlungsziel der Helmtherapie ist die Wachstumssteuerung und daraus folgend die Minderung der Kopfasymmetrie. Bisher nicht als therapeutisch zu erreichendes Ziel galt im Gegensatz dazu die Minderung der Gesichtsasymmetrie. Dennoch konnte die vorgelegte Studie eine signifikante Verbesserung der Gesichtsasymmetrie unter Helmtherapie zeigen und belegt damit, neben der Korrektur des abgeflachten Hinterkopfes, einen positiven Nebeneffekt. Dass die Helmtherapie durchaus weitere Effekte auf den wachsenden Schädel hat, zeigen verschiedenste Studien. Es konnte gezeigt werden, dass sowohl die Schädelbasis beeinflusst wird, die Ohrachse sich verändert und sogar die Auswirkung auf die Gesichtsasymmetrie ist im Ansatz belegt.

Teichgräber et al. beziehungsweise auch Lee, R.P. et al. zeigten anhand anthropometrischer Messungen einen signifikanten Rückgang der prätherapeutisch bestandenen CBA (Cranial Base Asymmetry) (Teichgräber et al., 2002, Lee et al., 2008). Littlefield et al. konnten des Weiteren anhand von zweidimensionalen Fotografien eine Reduktion der Asymmetrie der Schädelbasis zeigen (Littlefield et al., 1998). Kluba et al. und Lee, M.C. et al. zeigten zudem anhand der Auswertung von 3D-Fotografien beziehungsweise CT-Aufnahmen eine signifikante Veränderung der Ohrachse unter Helmtherapie (Kluba et al., 2012, Lee et al., 2015). Katzel et al. konnten außerdem zeigen, dass die Verbesserung der Ohrachse auch subjektiv, durch Eltern, wahrgenommen wird (Katzel et al., 2011).

Lim et al. untersuchten im Tierversuch sogar eine direkte Beeinflussung der Mittelgesichtsknochen durch das Tragen eines Helms (Lim et al., 2016). Die Studie zeigte deutliche Unterschiede in der kraniofazialen Breite, der Breite des Schädels sowie der Breite des Ober- und Unterkiefers zwischen Versuchs- und

Referenzgruppe, sodass ein Zusammenhang zwischen Helmtherapie und Wachstum des Mittelgesichts geschlussfolgert wurde.

Lee, M.C. et al. konnten in der bereits im vorigen Abschnitt vorgestellten Studie ebenfalls einen Effekt auf das Mittelgesicht nachweisen. Anhand des CVAI-Wertes in drei unterschiedlichen vertikalen Höhenlevel konnte eine signifikante Reduktion der Mittelgesichtsasymmetrie nachgewiesen werden – allerdings nur bei Patienten, deren Behandlungsbeginn mit ≤ 1 Jahr erfolgte (Lee et al., 2015).

Das primäre Behandlungsziel, die Reduktion der Schädelasymmetrie, konnte wie auch in anderen Studien (Teichgraeber et al., 2002, Littlefield et al., 1998, Graham et al., 2005, Lipira et al., 2010, Rogers et al., 2008, Kluba et al., 2014), in der vorliegenden Studie mit Hilfe der Therapie mittels eines Helmes signifikant reduziert werden. Prätherapeutisch lag der Median des CVAI bei 12,87% mit Maximalwerten von bis zu 27,02%. Dieser konnte mittels Helmtherapie auf 4,00% reduziert werden, wobei es im Maximum auch Werte mit 12,50% und damit einer deutlichen Restasymmetrie gab. Betrachtet man allerdings die Verteilungskurve beziehungsweise das entsprechende Boxplot (Abbildung 33 beziehungsweise Abbildung 34, Anhang Kapitel 11.1.1) fällt auf, dass diese hohen Werte als Ausreißer anzusehen sind und damit eher die Ausnahme darstellen.

Bei Betrachtung der prätherapeutischen und posttherapeutisch bestandenen Gesichtsasymmetrie konnte gezeigt werden, dass zumeist eine signifikante Reduktion der prätherapeutischen Asymmetrie erreicht werden konnte.

In transversaler Richtung zeigen die Punkte F1H1 und F1H2 die größte Reduktion der Asymmetrie. Allerdings ist die Aussage auch hier aufgrund des Asymptoten-Problems mutmaßlich etwas verzerrt. Stabile Werte mit eindeutiger Tendenz liefern die Punkte F2H3, F3H3, F2H2 und F3H2. Diese zeigen in absteigender Reihenfolge eine Reduktion der Asymmetrie. Einen besonderen Ausreißer stellt der Punkt F3H1 dar. Im Falle dieses infratemporal liegenden Punktes wurde die Asymmetrie im Vergleich zu Behandlungsbeginn posttherapeutisch ausgeprägter.

In vertikaler Richtung zeigten die Punkte F1S2, F2S3 und F3S3 die größte Veränderung. Exakt diese Punkte wurden bereits in den vorigen Kapiteln als vom

Asymptoten-Problem betroffen identifiziert und bedürfen daraus folgend einer vorsichtigen Interpretation. F3S3 zeigt sogar einen deutlichen Zuwachs der Asymmetrie (Δ -Median_{F3S3}= -12,526). Dieser Wert lässt sich klinisch allerdings nicht auf eine derartig große Zunahme zurückführen, sodass er als Folge des Asymptoten-Problems angesehen werden muss. Stabile Werte mit eindeutiger Tendenz der rückläufigen Asymmetrie liefern die Punkte F2S2, F1S1, F3S2, F2S1 sowie F3S1. Alle Punkte zeigten anhand des positiven Δ -Median eine Verbesserung nach Helmtherapie. Der Punkt F3S1 zeigt sogar eine leichte Übertherapie: Prätherapeutisch bestand gemessen am Median_{F3S1}= 0,001 bereits nahezu perfekte Symmetrie. Posttherapeutisch ergab sich ein Median_{F3S1}= -0,380, sodass zumindest bei reiner Betrachtung des Median von einer Verschlechterung der Asymmetrie gesprochen werden kann – auch wenn diese mit Δ -Median_{F3S1}= 0,216 marginal klein ist. Des Weiteren bedarf der vertikale Punkt F3S3 einer Einordnung: Δ -Median und Δ -Median% zeigen, wie in Tabelle 16 dargestellt, unterschiedliche Vorzeichen. Bei Betrachtung von Δ -Median zeigte sich eine Zunahme der Asymmetrie. Δ -Median% zeigte hingegen einen Rückgang unter Helmtherapie. Diese gegensätzliche Aussage ist speziell im Falle des Punktes F3S3 dem Fakt der Betrachtung des Median geschuldet. Aufgrund der relativ hohen prä- und posttherapeutischen Minima beziehungsweise Maxima und daraus resultierend auch hoher Mediane ergab sich dieser Vorzeichenwechsel.

In sagittaler Richtung bestätigen sich, wie bei Betrachtung der zwei anderen Raumrichtungen, das Auftreten und die Folgen des Asymptoten-Problems für den Punkt H1S3. Dieser zeigt eine übermäßig große Zunahme der prätherapeutisch vorhandenen Asymmetrie, ohne dass dafür klinisch eine Erklärung oder Anzeichen zu finden sind. Die Betrachtung der übrigen Punkte liefert auch in sagittaler Richtung eindeutige Hinweise auf einen Rückgang der Asymmetrie unter Helmtherapie. Betrachtet man die beteiligten Gesichtsregionen, so ist prätherapeutisch auffällig, dass die Asymmetrie in sagittaler Richtung absolut größer zu werden scheint, umso weiter lateral am Kopf die Punkte liegen. H1S2, H2S2 und H3S2 zeigen prätherapeutisch größere Differenzen als die weiter medial gelegen Punkte H1S1, H2S1 und H3S1.

Generell zeigt sich in bukkalen und lateral orbitalen Bereichen des Gesichts eine prätherapeutisch ausgeprägtere Asymmetrie als in weiter medial gelegenen Regionen. Betrachtet man nun die Änderung der Gesichtsasymmetrie anhand der relativen Differenzen ergibt sich das gleiche Bild: Umso weiter lateral die Punkte liegen, desto größer der festgestellte Rückgang der Asymmetrie.

Abgeleitet aus dieser Erkenntnis decken sich die Ergebnisse dieser Studie mit den Ergebnissen der Studie von Kluba et al., deren Verschiebung der Ohrachse sich ebenfalls signifikant verbesserte unter Helmtherapie (Kluba et al., 2012). In dieser Studie wurde über den linken und rechten Tragus auf die Entwicklung der Ohrachse geschlossen. Der Tragus stellt übertragen auf die hier angewendete Vorgehensweise die lateralste Landmarke dar, sodass sich die Ergebnisse der beiden Studien decken, beziehungsweise die vorliegende Arbeit als ergänzend betrachtet werden kann.

Im prä- zum posttherapeutischen Vergleich zeigte sich bei Betrachtung der anatomischen Gesichtsregionen, wie in Kapitel 3.6.5 dargelegt, eine generell rückläufige Tendenz der vor Helmtherapie bestandenen Gesichtsasymmetrie unabhängig von der betrachteten Raumrichtung. Diese Erkenntnisse legen den Schluss nahe, dass die Helmtherapie durchaus die Symmetrie des Gesichts beeinflusst. In Abbildung 28 zeigte die mentale Region die stärkste Verbesserung im Vergleich zum Ausgangswert. Allerdings ist diese Region prätherapeutisch schon am symmetrischsten, d.h. die Differenz zwischen linker und rechter Gesichtshälfte ist ohnehin nahe null. Dementsprechend fällt eine Veränderung durch Helmtherapie hier stärker ins Gewicht als bspw. in bukkaler Region mit schon vor Helmtherapie großen Differenzen links zu rechts. Bei Interpretation von Abbildung 27 (und Abbildung 84, im *Anhang*) bestätigt sich dieser Eindruck, weshalb die tatsächlich größten Veränderungen im Bereich des Gesichts eher in Regio buccalis und Regio orbitalis zu finden sind.

4.5 Korrelation der Gesichtsasymmetrie zum CVAI

In der von Argenta et al. beschriebenen Klassifikation der lagebedingten Plagiozephalie (Argenta et al., 2004) findet die Asymmetrie des Gesichts bereits Einzug und wird ab Argenta-Klasse IV sogar als charakteristisch ausgewiesen. Die deutliche Mehrheit der in vorliegender Studie betrachteten Kinder zeigten eine Argenta-Klasse III (41,1%) oder sogar weniger (73,7% kumuliert). Diese Klassen werden jedoch von Argenta nicht durch das Auftreten einer Gesichtsasymmetrie charakterisiert.

Eine Studie von Spermon et al. legt den Verdacht nahe, dass die Argenta-Klassifikation nur näherungsweise eine sichere Möglichkeit der Einteilung lagebedingter Plagiozephalie darstellt. Zwar bietet sie eine einfache, ohne Notwendigkeit zusätzlicher Geräte und Messungen, durchführbare Einordnung des Schweregrades, allerdings mit dem Nachteil sowohl intra-, als auch interindividuell keine verlässliche Klassifizierung bieten zu können. Im Speziellen die Unterscheidung zwischen Klasse III und Klasse IV, deren Unterschied lediglich im Vorhandensein der Gesichtsasymmetrie liegt, fällt schwer und differiert von Behandler zu Behandler und von Patient zu Patient, so Spermon et al. (Spermon et al., 2008).

Des Weiteren bietet die Einteilung von Argenta keine Möglichkeit der Klassifizierung des Schweregrades der Gesichtsbeteiligung und stellt damit lediglich eine dichotome Entscheidung zur Verfügung. In der hier durchgeführten Studie wird allerdings klar, dass der Übergang von nicht vorhandener Asymmetrie bis hin zu schwerer, ausgeprägter Gesichtsbeteiligung fließend ist und daher eine eindeutige Zuordnung zur Argenta-Klasse, insbesondere zu Klasse III oder IV, klinisch nicht immer zweifelsfrei möglich ist.

Die Ergebnisse der hier vorgelegten Studie zeigen, dass auch bei Argenta-Klasse I bis III eine Gesichtsbeteiligung nicht ausgeschlossen werden kann (73,7% der untersuchten Kinder hatten Argenta-Klasse \leq III, rund ein Drittel sogar eine Argenta-Klasse \leq II). Schlussfolgernd daraus ergibt sich, dass die graduelle Einteilung von Argenta mit Auftreten einer Gesichtsbeteiligung bei großer

Hinterkopfasymmetrie und damit entsprechend großem CVAI nicht zwingend zutreffend ist.

Der CVAI (Cranial Vault Asymmetry Index) nach Loveday und De Chalain (Loveday and De Chalain, 2001) wurde im Rahmen der Helmsprechstunde sowohl prätherapeutisch als auch posttherapeutisch erhoben. Der CVAI stellt dabei im klinischen Alltag ein Standardwerkzeug zur Beurteilung des Schweregrades der lagebedingten Plagiozephalie dar. Um individuelle Unterschiede von Kopfgröße und Kopfumfang zu berücksichtigen und einer Verzerrung durch Verwendung absoluter Werte entgegen zu treten, wird mit dem CVAI ein prozentualer Index verwendet, um die Schwere der Asymmetrie auszudrücken. Eine perfekte Symmetrie des Kopfes wird durch einen CVAI von 0,0% ausgedrückt, Werte von $\text{CVAI} \geq 3,5\%$ können als deutlich asymmetrisch angesehen werden (Loveday and De Chalain, 2001). Mit Zunahme der Abflachung am Hinterkopf steigt der erhobene CVAI. Die prätherapeutischen Werte reichten dabei von $\text{CVAI}_{\text{VOR}} = 6,89\%$ bis $27,02\%$ mit einem Median von $12,87\%$. Posttherapeutisch lagen die Werte im Bereich von $\text{CVAI}_{\text{NACH}} = 0,00\%$ bis $12,50\%$ mit einem Median von $4,00\%$. Diese Werte liegen mehrheitlich über dem oben genannten, von Loveday und De Chalain postulierten (Loveday and De Chalain, 2001) Grenzwert von $3,5\%$ und indizieren für die prätherapeutischen Werte eine Helmtherapie. Regelsberger schlägt allerdings einen Grenzwert von 5% vor, sodass bei Verwendung des Median posttherapeutisch dieser Grenzwert unterschritten wird (Regelsberger, 2007).

Da mit steigendem CVAI auch die Asymmetrie des Hinterhauptes zunimmt, wurde in der vorliegenden Studie untersucht, inwieweit die festgestellte Gesichtsasymmetrie mit dem klinisch gemessenen CVAI korreliert. Dabei wurde sowohl der prä- wie auch posttherapeutische Zusammenhang anhand des Spearmans Rangkorrelationskoeffizienten überprüft.

Prätherapeutisch ergibt sich über alle Raumrichtungen hinweg eine sehr schwache (z.T. negative) bis maximal mittlere Korrelation zwischen CVAI und aufgetretener Gesichtsasymmetrie. Diese Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen der Studie von Kluba et al., bei der unter anderem die

Verschiebung der Ohrachse in Bezug zum gemessenen CVAI gesetzt wurde (Kluba et al., 2012). In dieser Studie konnte ebenfalls lediglich eine mittlere Korrelation (Pearson $p=0,47$) zwischen der initial aufgetretenen Ohrverlagerung und des gemessenen CVAI festgestellt werden (Kluba et al., 2012). Trotz unterschiedlicher Fragestellung und unterschiedlicher Untersuchungsmethode deuten sowohl diese, wie auch die hier festgestellten Ergebnisse ähnliche Tendenzen an.

In der hier vorgelegten Studie bliebe zu untersuchen, ob und wenn ja, welche Gesichtsregionen stärker mit dem CVAI korrelieren als andere. Dazu sei auch an dieser Stelle zur vereinfachten Darstellung und zur Orientierung bezüglich der anatomischen Regionen erneut auf das Kapitel 2.5.5 verwiesen.

In Betrachtung über alle Raumrichtungen und Gesichtsregionen hinweg findet sich zwar lediglich ein mittlerer bis schwacher Zusammenhang zwischen Betrag des CVAI und Ausprägung der aufgetretenen Asymmetrie, dennoch kann man aufgrund der im Ergebnisteil dargelegten Zahlen interpretieren, dass weichgewebige Anteile, die direkt knöchern unterstützt sind (und hierbei vor allem bukkale und lateroorbitale Regionen) wohl dem größten Einfluss der Hinterkopfdeformität unterliegen. In der im vorigen Kapitel erwähnten Studie von Netherway et al. zeigt sich in entsprechenden Regionen ebenfalls eine deutlichere Ausprägung der Gesichtsasymmetrie, weshalb ein direkter Zusammenhang zumindest möglich erscheint (Netherway et al., 2006).

4.6 Schlussfolgerung/ Ausblick

Im klinischen Alltag ist die direkte Anthropometrie bis heute das Untersuchungsverfahren der Wahl – diese ist schnell, einfach und kostengünstig. Und doch zeigen sich gravierende Nachteile bei alleiniger Verwendung dieser Methode. Speziell in Anbetracht des zu untersuchenden Patientenklintel sind anthropometrische Messungen schwierig durchzuführen und damit fehlerbehaftet. Des Weiteren lassen sich nur einzelne wenige Messungen durchführen, sodass vor allem auch wissenschaftlichen Untersuchungen in diesem Bereich oftmals sehr rudimentäre und einfache Daten zugrunde liegen. Die bereits um die Jahrtausendwende beginnende Entwicklung von dreidimensionalen Fotoaufnahmegeräten und damit gegebenen Möglichkeiten erweiterte das Spektrum der Analysen beachtlich. Denkbar hierbei ist sowohl die „digitale Untersuchung“ des Patienten, indem die entsprechenden Untersuchungen kontaktfrei und vor allem Vermessungen nachträglich und ohne die Anwesenheit der Patienten durchgeführt werden können. Dabei wird nicht nur die Belastung der kleinen Patienten verringert, sondern die Vermessung kann standardisierter, genauer und beliebig oft wiederholbar durchgeführt werden. Insgesamt ist diese Digitalisierung der Untersuchung eine zu begrüßende Entwicklung, ohne dass dabei selbstverständlich das sensible Verhältnis zwischen behandelndem Arzt und Patient und in diesem Fall den Eltern der Patienten darunter leiden darf.

Die Anfertigung von 3D-Datensätzen zur Diagnostik beziehungsweise zur Verwendung als Grundlage zur individuellen Herstellung des Helms bietet letztlich auch die Möglichkeit der wissenschaftlichen Verwertung der Daten, um Charakteristika und Folgen der lagebedingten Plagiozephalie untersuchen zu können. Ein erster Ansatz zur Untersuchung der Gesichtsasymmetrie bei Säuglingen mit lagebedingter Plagiozephalie konnte mit dieser Studie gemacht werden. In der hier vorliegenden Studie konnte zum ersten Mal eine Quantifizierung der oft postulierten und bisher lediglich subjektiv wahrgenommenen Asymmetrie des Gesichts durchgeführt werden und zugleich gezeigt werden, welchen Einfluss die Helmtherapie auf die Entwicklung des

Mittelgesichts nimmt. Jedoch hat auch das hier vorgestellte Verfahren Schwächen, die es in weiterführenden Untersuchungen zu vermeiden gilt. Einen methodisch anderen Ansatz zur Quantifizierung der Gesichtsasymmetrie wäre ein Vorgehen wie es Netherway et al. (Netherway et al., 2006) mit Hilfe der sogenannten Procrustes-Analyse anhand von CT-Datensätzen durchgeführt haben. Prinzipiell wäre diese mathematisch anspruchsvolle Methode auch unter Verwendung von 3D-Datensätzen möglich. Krey et al. führte derartige Untersuchungen mithilfe aufwendiger mathematischer Verfahren (Zentroidgrößen, Procrustes-Transformation und Thin-Plate Splines) bereits an zwei-dimensionalen, standardisierten Fotoaufnahmen und FRS-Bildern durch (Krey and Dannhauer, 2008). Gegenstand seiner Untersuchungen war allerdings lediglich die generelle morphometrische Analyse von Erwachsenen. Unter Verwendung der in der Tübinger Helmsprechstunde angefertigten prä- und posttherapeutischen Datensätze wäre auch eine interdisziplinäre Forschungsarbeit mit Untersuchung der Schädel- und Gesichtsmorphologie bei Kindern mit lagebedingter Plagiozephalie mithilfe dieser mathematischen Methoden denkbar.

Weitere interessante Fragestellungen auf Grundlage von 3D-Fotografien bieten sich bezüglich der Wahrnehmung der vorhandenen Gesichtsasymmetrie. Bspw. wäre eine Skalierung der wahrgenommenen Asymmetrie mit anschließender Bewertung denkbar. Dabei wäre sicherlich interessant, wie betroffene Eltern, Behandler (bspw. Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen, Kinderärzte und Physiotherapeuten) und gänzlich Unbeteiligte mit und ohne Vorwissen den Grad der Asymmetrie bewerten. Studien mit ähnlichem Ansatz wurden zum Beispiel bereits von Kluba et al. bezüglich der Verschiebung der Ohrachse durchgeführt (Kluba et al., 2012). Mit ähnlichem Studiendesign bieten sich bezogen auf die Asymmetrie des Gesichts vielfältige Möglichkeiten für weitere Forschungsarbeiten.

Eine langfristig in Aussicht zu stellende Arbeit wäre eine Studie zum long time Follow-up der Entwicklung des Gesichts bei Kindern mit lagebedingter Plagiozephalie. Dazu wären 3D-Fotografien in bestimmten definierten Alters- und Entwicklungsstadien nötig. Denkbar wäre eine Vermessung der Gesichter mit der

in dieser Arbeit vorgestellten Methode, um eine direkte Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. Die daraus abgeleiteten Ergebnisse ließen sich dann in Verbindung mit Forschungen zur Asymmetrie beziehungsweise Symmetrie nicht betroffener Personengruppen setzen.

Die hier vorgelegte Arbeit konnte zum ersten Mal eine Quantifizierung der Gesichtsasymmetrie bei lagebedingter Plagiozephalie anhand dreidimensionaler Fotodaten bieten. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen liefern weitere gewichtige Argumente im schwierigen Abwägungsprozess zur Entscheidungsfindung von Eltern und Behandlern bezüglich des Für und Wider bei Durchführung einer Helmtherapie. Zum Einzug in den klinischen Alltag mit Analyse und Quantifizierung eines jeden Patienten ist die angewendete Methode jedoch nicht geeignet, das Vorgehen ist für eine Implementierung noch zu zeit- und arbeitsintensiv. Dennoch sollten die Ergebnisse dieser Studie im klinischen Bereich Beachtung finden und insbesondere bei Therapiebeginn beziehungsweise Therapieabschluss gesondert ins Auge gefasst werden. Das in dieser Studie bestätigte Auftreten einer Gesichtsasymmetrie kann prätherapeutisch als Argument für die Therapie mittels eines individuellen Helms angeführt werden und es sollte auch bei der Verlaufskontrolle und Beendigung der Helmtherapie zumindest ein gesonderter Fokus auf den Nebeneffekt der Gesichtsbeteiligung beziehungsweise deren Korrektur gelegt werden.

5. Zusammenfassung

Die Argenta-Klassifikation der lagebedingten Plagiozephalie beschreibt eine Gesichtsasymmetrie bei stärkerer Plagiozephalie, beziehungsweise wird eine Gesichtsasymmetrie sogar erst ab Argenta-Klasse IV als charakteristisch ausgewiesen. Die Quantifizierung derselben ist bisher allerdings nur unzureichend untersucht worden. Die vorgelegte Arbeit untersucht das Ausmaß der Gesichtsbeteiligung und die Auswirkung der Helmtherapie auf die Asymmetrie.

Analysiert wurden 3D-Datensätze von 100 im Rahmen der Helmsprechstunde der Universitätsklinik Tübingen mit Helm behandelten Kindern. Diese wurden in eine CAD-Software (Rhinoceros 5®) eingebunden. Grundlage der Vermessung und der Auswertung war die Differenzbildung von maximal 27 (theoretisch) möglichen Punktkoordinaten. Zunächst wurden die Köpfe mit lagestabilen Landmarken des Gesichts in einem zugrunde gelegten Koordinatensystem ausgerichtet und für alle Raumrichtungen je drei Schnittebenen festgelegt. Durch die alternierende Kombination der Schnittebenen konnten im Durchschnitt vor Helmtherapie 21,8 Schnittpunkte und nach der Behandlung noch 21,6 Schnittpunkte ausgewertet werden. Die Koordinaten der Schnittpunkte von Gesichtsoberfläche und Schnittebenen rechts und links definierten die Punktepaare. Die Quantifizierung der Asymmetrie erfolgte durch Betrachtung der Differenzen der Koordinaten jedes vollständigen Punktepaares sowohl im intraindividuellen Seitenvergleich, als auch prä- und posttherapeutisch. Der intraindividuelle Vergleich konnte anhand absoluter Werte in Millimeter-Skalierung erfolgen und damit eine direkte Quantifizierung der Asymmetrie durchgeführt werden. Zum Vergleich der Asymmetrie vor und nach Helmtherapie bestand die Notwendigkeit die enorme Größenzunahme des Gesichtsschädels der Säuglinge zu berücksichtigen. Diese Herausforderung konnte mithilfe der

Definition relativer Differenzen bewältigt und eine Auswertung der Helmtherapie auf das Mittelgesicht ermöglicht werden.

Die prätherapeutischen intraindividuellen Abweichungen der Gesichtshälften betragen bei den Punktpaaren in transversaler Richtung zwischen 1,22 mm und 3,59 mm, in vertikaler Richtung zwischen 0,00 mm und 2,92 mm sowie in sagittaler Richtung zwischen 1,40 mm und 3,51 mm bei reiner Betrachtung des Median. Diese Angaben schließen Punkte aus, die zwar eine Asymmetrie klar beschreiben, aber methodisch bedingt eine Quantifizierung nicht erlauben (Asymptoten-Problem) beziehungsweise unmöglich machen. Die meisten Punkte wiesen eine signifikante ($p < 0,05$) Reduktion (0,38% - 2,93%) der intraindividuellen relativen Differenzen nach Helmtherapie auf, sodass ein Rückgang der prätherapeutisch vorhandenen Asymmetrie unter Helmtherapie geschlussfolgert werden kann. Insofern kann ebenso abgeleitet beziehungsweise vermutet werden, dass die initial ermittelte Asymmetrie der Gesichtsteile nicht allein einer natürlichen, normalen Asymmetrie geschuldet, sondern eher durch die Plagiozephalie begründet ist. CVAI und Gesichtsasymmetrie korrelierten dabei kaum bis schwach positiv (Spearman-Korrelationskoeffizient -0,088 bis +0,445).

Das vorgestellte Verfahren erlaubt eine Quantifizierung der Gesichtsbeteiligung bei Plagiozephalie. Nahezu alle Regionen des Gesichtes sind von einer gewissen Asymmetrie betroffen. Die Korrelation zum CVAI ist lediglich schwach, so dass eine zunehmende Gesichtsbeteiligung mit zunehmender Plagiozephalie, wie in der Argenta-Klassifikation postuliert, nicht zwingend angenommen werden kann. Die Asymmetrie wurde durch Helmtherapie zwar verbessert, gänzlich aufgehoben werden konnte sie allerdings nicht.

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesichtsasymmetrie nach Argenta (Argenta et al., 1996).	8
Abbildung 2: Einteilung der lagebedingten Plagiozephalie nach Argenta et al. (Argenta et al., 2004).....	9
Abbildung 3: Einteilung der lagebedingten Brachyzephalie nach Argenta et al. (Argenta et al., 2004).....	10
Abbildung 4: Darstellung von sagittalen und horizontalen Ebenen zur Generierung von Punktpaaren	23
Abbildung 5: Konstruktion zur Ausrichtung der Köpfe im Koordinatensystem..	24
Abbildung 6: Landmarken (grün) mit korrespondierenden Mittelpunkten (orange)	26
Abbildung 7: frontale Ebenen F1, F2, F3.....	27
Abbildung 8: sagittale Ebene S1, S2, S3.....	28
Abbildung 9: horizontale Ebene H1, H2, H3.....	28
Abbildung 10: Bildung transversaler Punktpaare.....	29
Abbildung 11: anatomische Regionen.....	31
Abbildung 12: Anatomische Region	32
Abbildung 13: Anatomische Region	32
Abbildung 14: Anatomische Regionen	32
Abbildung 15: absolute transversale Differenzen vor Therapie	44
Abbildung 16: absolute vertikale Differenzen vor Therapie	46
Abbildung 17: absolute sagittale Differenzen vor Therapie	48
Abbildung 18: absolute Differenzen vor Helmtherapie nach Gesichtsregionen (um Ausreißer korrigiert).....	50
Abbildung 19: absolute transversale Differenzen nach Therapie	51
Abbildung 20: absolute vertikale Differenzen nach Therapie	53
Abbildung 21: absolute sagittale Differenzen nach Therapie	55
Abbildung 22: absolute Differenzen nach Helmtherapie nach Gesichtsregionen (um Ausreißer korrigiert).....	57
Abbildung 23: CVAI vor und nach Therapie	59
Abbildung 24: prä- zu posttherapeutischer Vergleich - transversal	61

Abbildung 25: prä- zu posttherapeutischer Vergleich – vertikal.....	63
Abbildung 26: prä- zu posttherapeutischer Vergleich - sagittal.....	65
Abbildung 27: Veränderung der Asymmetrie nach anatomischen Gesichtsregionen (ohne Ausreißer).....	66
Abbildung 28: Prozentuale Verbesserung der Gesichtsregionen unter Helmtherapie.....	67
Abbildung 29: Darstellung Asymptoten-Problem.....	78
Abbildung 30: Veränderungen des Schädels nach Argenta (Littlefield et al., 1998)	82
Abbildung 31: Histogramm CVAI vor Therapie.....	115
Abbildung 32: Boxplot CVAI vor Therapie.....	115
Abbildung 33: Histogramm CVAI nach Therapie.....	116
Abbildung 34: Boxplot CVAI nach Therapie.....	116
Abbildung 35: Boxplot absolute Differenzen F1H1.....	117
Abbildung 36: Boxplot absolute Differenzen F1H2.....	117
Abbildung 37: Boxplot absolute Differenzen F1H3.....	118
Abbildung 38: Boxplot absolute Differenzen F2H1.....	118
Abbildung 39: Boxplot absolute Differenzen F2H2.....	119
Abbildung 40: Boxplot absolute Differenzen F2H3.....	119
Abbildung 41: Boxplot absolute Differenzen F3H1.....	120
Abbildung 42: Boxplot absolute Differenzen F3H2.....	120
Abbildung 43: Boxplot absolute Differenzen F3H3.....	121
Abbildung 44: Boxplot absolute Differenzen F1S1.....	121
Abbildung 45: Boxplot absolute Differenzen F1S2.....	122
Abbildung 46: Boxplot absolute Differenzen F2S1.....	122
Abbildung 47: Boxplot absolute Differenzen F2S2.....	123
Abbildung 48: Boxplot absolute Differenzen F2S3.....	123
Abbildung 49: Boxplot absolute Differenzen F3S1.....	124
Abbildung 50: Boxplot absolute Differenzen F3S2.....	124
Abbildung 51: Boxplot absolute Differenzen F3S3.....	125
Abbildung 52: Boxplot absolute Differenzen H1S1.....	125
Abbildung 53: Boxplot absolute Differenzen H1S2.....	126

Abbildung 54: Boxplot absolute Differenzen H1S3.....	126
Abbildung 55: Boxplot absolute Differenzen H2S1	127
Abbildung 56: Boxplot absolute Differenzen H2S2.....	127
Abbildung 57: Boxplot absolute Differenzen H2S3.....	128
Abbildung 58: Boxplot absolute Differenzen H3S1	128
Abbildung 59: Boxplot absolute Differenzen H3S2.....	129
Abbildung 60: Boxplot absolute Differenzen f1h1	129
Abbildung 61: Boxplot absolute Differenzen f1h2.....	130
Abbildung 62: Boxplot absolute Differenzen f1h3.....	130
Abbildung 63: Boxplot absolute Differenzen f2h1	131
Abbildung 64: Boxplot absolute Differenzen f2h2.....	131
Abbildung 65: Boxplot absolute Differenzen f2h3.....	132
Abbildung 66: Boxplot absolute Differenzen f3h1	132
Abbildung 67: Boxplot absolute Differenzen f3h2.....	133
Abbildung 68: Boxplot absolute Differenzen f3h3.....	133
Abbildung 69: Boxplot absolute Differenzen f1s1	134
Abbildung 70: Boxplot absolute Differenzen f1s2	134
Abbildung 71: Boxplot absolute Differenzen f2s1	135
Abbildung 72: Boxplot absolute Differenzen f2s2	135
Abbildung 73: Boxplot absolute Differenzen f2s3.....	136
Abbildung 74: Boxplot absolute Differenzen f3s1	136
Abbildung 75: Boxplot absolute Differenzen f3s2.....	137
Abbildung 76: Boxplot absolute Differenzen f3s3.....	137
Abbildung 77: Boxplot absolute Differenzen h1s1	138
Abbildung 78: Boxplot absolute Differenzen h1s2.....	138
Abbildung 79: Boxplot absolute Differenzen h1s3.....	139
Abbildung 80: Boxplot absolute Differenzen h2s1	139
Abbildung 81: Boxplot absolute Differenzen h2s2.....	140
Abbildung 82: Boxplot absolute Differenzen h3s1	140
Abbildung 83: Boxplot absolute Differenzen h3s2.....	141
Abbildung 84: Veränderung der Asymmetrie nach anatomischen Gesichtsregionen (ohne Ausreißer).....	141

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der lagebedingten Plagiozephalie nach Argenta et al. (Argenta et al., 2004).....	9
Tabelle 2: Einteilung der lagebedingten Brachyzeephalie nach Argenta et al. (Argenta et al., 2004).....	10
Tabelle 3: Patientenkollektiv.....	39
Tabelle 4: Patientenkollektiv Argenta-Klasse	39
Tabelle 5: Existenz der transversalen Punktepaare	41
Tabelle 6: Existenz der vertikalen Punktepaare	41
Tabelle 7: Existenz der sagittalen Punktepaare	42
Tabelle 8: transversale Differenzen vor Therapie.....	45
Tabelle 9: vertikale Differenzen vor Therapie.....	47
Tabelle 10: sagittale Differenzen vor Therapie.....	49
Tabelle 11: transversale Differenzen nach Therapie.....	52
Tabelle 12: vertikale Differenzen nach Therapie.....	54
Tabelle 13: sagittale Differenzen nach Therapie.....	56
Tabelle 14: CVAI vor und nach Helmtherapie	59
Tabelle 15: prä- zu posttherapeutischer Vergleich - transversal (Δ -Median% fett markiert und grau hinterlegt)	60
Tabelle 16: prä- zu posttherapeutischer Vergleich - vertikal (Δ -Median% fett markiert und grau hinterlegt)	62
Tabelle 17: prä- zu posttherapeutischer Vergleich - sagittal (Δ -Median% fett markiert und grau hinterlegt)	64
Tabelle 18: Korrelation CVAI zu transversalen Differenzen vor Therapie	69
Tabelle 19: Korrelation CVAI zu vertikalen Differenzen vor Therapie.....	69
Tabelle 20: Korrelation CVAI zu sagittalen Differenzen vor Therapie.....	70
Tabelle 21: Korrelation CVAI zu transversalen Differenzen nach Therapie.....	71
Tabelle 22: Korrelation CVAI zu vertikalen Differenzen nach Therapie.....	71
Tabelle 23: Korrelation CVAI zu sagittalen Differenzen nach Therapie.....	71
Tabelle 24: Test auf Normalverteilung der Punktepaare in transversaler Richtung	142

Tabelle 25: Test auf Normalverteilung der Punktepaare in vertikaler Richtung	142
Tabelle 26: Test auf Normalverteilung der Punktepaare in sagittaler Richtung	143
Tabelle 27: Änderung der Gesichtsasymmetrie nach anatomischen Regionen	143

8. Literaturverzeichnis

- AAP TASK FORCE ON INFANT POSITIONING & SIDS 1992. American Academy of Pediatrics AAP Task Force on Infant Positioning and SIDS: Positioning and SIDS. *Pediatrics*, 89, 1120-1126.
- AAP TASK FORCE ON INFANT POSITIONING & SIDS 1996. Positioning and sudden infant death syndrome (SIDS): update. American Academy of Pediatrics Task Force on Infant Positioning and SIDS. *Pediatrics*, 98, 1216-8.
- AAP TASK FORCE ON INFANT POSITIONING & SIDS 2000. Changing concepts of sudden infant death syndrome: implications for infant sleeping environment and sleep position. *Pediatrics*, 105, 650-6.
- AMIEL-TISON, C. & SOYEZ-PAPIERNIK, E. 2008. [Cranial osteopathy as a complementary treatment of postural plagiocephaly]. *Arch Pediatr*, 15 Suppl 1, S24-30.
- ARGENTA, L., DAVID, L. & THOMPSON, J. 2004. Clinical classification of positional plagiocephaly. *J.Craniofac.Surg.*, 15, 368-372.
- ARGENTA, L. C., DAVID, L. R., WILSON, J. A. & BELL, W. O. 1996. An increase in infant cranial deformity with supine sleeping position. *J.Craniofac.Surg.*, 7, 5-11.
- BIALOCERKOWSKI, A. 2008. Physiotherapy reduces the risk of deformational plagiocephaly in infants who have a preferred head position when lying supine. *Australian Journal of Physiotherapy*, 54, 283.
- BIALOCERKOWSKI, A. E., VLADUSIC, S. L. & HOWELL, S. M. 2005. Conservative interventions for positional plagiocephaly: a systematic review. *Dev.Med.Child Neurol.*, 47, 563-570.
- BIGGS, W. S. 2003. Diagnosis and management of positional head deformity. *Am Fam Physician*, 67, 1953-6.
- BOAS, F. 1912. Changes in the Bodily Form of Descendants of Immigrants. *American Anthropologist*, 14, 530-562.
- BOERE-BOONEKAMP, M. M. & VAN DER LINDEN-KUIPER, L. L. 2001. Positional preference: prevalence in infants and follow-up after two years. *Pediatrics*, 107, 339-343.
- BRUNER, T. W., DAVID, L. R., GAGE, H. D. & ARGENTA, L. C. 2004. Objective outcome analysis of soft shell helmet therapy in the treatment of deformational plagiocephaly. *J.Craniofac.Surg.*, 15, 643-650.
- BRUNETEAU, R. J. & MULLIKEN, J. B. 1992. Frontal plagiocephaly: synostotic, compensational, or deformational. *Plast Reconstr Surg*, 89, 21-31; discussion 32-3.
- CAVALIER, A., PICOT, M. C., ARTIAGA, C., MAZURIER, E., AMILHAU, M. O., FROYE, E., CAPTIER, G. & PICAUD, J. C. 2011. Prevention of deformational plagiocephaly in neonates. *Early Hum.Dev.*, 87, 537-543.

- CLARREN, S. K. 1981. Plagiocephaly and torticollis: etiology, natural history, and helmet treatment. *J.Pediatr.*, 98, 92-95.
- CLARREN, S. K., SMITH, D. W. & HANSON, J. W. 1979. Helmet treatment for plagiocephaly and congenital muscular torticollis. *J Pediatr*, 94, 43-6.
- CUNNINGHAM, M. L. & HEIKE, C. L. 2007. Evaluation of the infant with an abnormal skull shape. *Curr Opin Pediatr*, 19, 645-51.
- DE MENEZES, M., ROSATI, R., FERRARIO, V. F. & SFORZA, C. 2010. Accuracy and reproducibility of a 3-dimensional stereophotogrammetric imaging system. *J.Oral Maxillofac.Surg.*, 68, 2129-2135.
- DE RIBAUPIERRE, S., VERNET, O., RILLIET, B., CAVIN, B., KALINA, D. & LEYVRAZ, P. 2007. Posterior positional plagiocephaly treated with cranial remodeling orthosis. *Swiss Med Wkly*, 137, 368-72.
- DEGRUYTER, W. 2004. *Pschyrembel klinisches Wörterbuch*, Berlin, New York, Walter de Gruyter.
- FARKAS, L. G. 1994. *Anthropometry of the head and face*, Michigan, Raven Press.
- GAUTSCHI, O. P., RILLIET, B., SCHALLER, K. & JENNY, B. 2013. [Positional plagiocephaly in infancy: diagnosis and management]. *Praxis (Bern 1994)*, 102, 1537-42.
- GOLDEN, K. A., BEALS, S. P., LITTLEFIELD, T. R. & POMATTO, J. K. 1999. Sternocleidomastoid imbalance versus congenital muscular torticollis: their relationship to positional plagiocephaly. *Cleft Palate Craniofac J*, 36, 256-61.
- GRAHAM, J. M., JR., GOMEZ, M., HALBERG, A., EARL, D. L., KREUTZMAN, J. T., CUI, J. & GUO, X. 2005. Management of deformational plagiocephaly: repositioning versus orthotic therapy. *J.Pediatr.*, 146, 258-262.
- GRAMMER, K. & THORNHILL, R. 1994. Human (Homo sapiens) facial attractiveness and sexual selection: the role of symmetry and averageness. *J Comp Psychol*, 108, 233-42.
- GWILLIAM, J. R., CUNNINGHAM, S. J. & HUTTON, T. 2006. Reproducibility of soft tissue landmarks on three-dimensional facial scans. *Eur.J.Orthod.*, 28, 408-415.
- HABAL, M. B., CASTELANO, C., HEMKES, N., SCHEUERLE, J. & GUILFORD, A. M. 2004. In search of causative factors of deformational plagiocephaly. *J Craniofac Surg*, 15, 835-41.
- HAJEER, M. Y., AYOUB, A. F., MILLETT, D. T., BOCK, M. & SIEBERT, J. P. 2002. Three-dimensional imaging in orthognathic surgery: the clinical application of a new method. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*, 17, 318-30.
- HEIKE, C. L., CUNNINGHAM, M. L., HING, A. V., STUHAUG, E. & STARR, J. R. 2009. Picture perfect? Reliability of craniofacial anthropometry using three-

- dimensional digital stereophotogrammetry. *Plast.Reconstr.Surg.*, 124, 1261-1272.
- HUANG, M. H., GRUSS, J. S., CLARREN, S. K., MOURADIAN, W. E., CUNNINGHAM, M. L., ROBERTS, T. S., LOESER, J. D. & CORNELL, C. J. 1996. The differential diagnosis of posterior plagiocephaly: true lambdoid synostosis versus positional molding. *Plast Reconstr Surg*, 98, 765-74; discussion 775-6.
- HUTCHISON, B. L., STEWART, A. W., DE CHALAIN, T. B. & MITCHELL, E. A. 2010. A randomized controlled trial of positioning treatments in infants with positional head shape deformities. *Acta Paediatr.*, 99, 1556-1560.
- HUTCHISON, B. L., THOMPSON, J. M. & MITCHELL, E. A. 2003. Determinants of nonsynostotic plagiocephaly: a case-control study. *Pediatrics*, 112, e316.
- JOGANIC, J. L., LYNCH, J. M., LITTLEFIELD, T. R. & VERRELLI, B. C. 2009. Risk factors associated with deformational plagiocephaly. *Pediatrics*, 124, e1126-e1133.
- KAIPAINEN, A. E., SIEBER, K. R., NADA, R. M., MAAL, T. J., KATSAROS, C. & FUDALEJ, P. S. 2015. Regional facial asymmetries and attractiveness of the face. *Eur J Orthod*.
- KANE, A. A., LO, L. J., VANNIER, M. W. & MARSH, J. L. 1996a. Mandibular dysmorphology in unicoronal synostosis and plagiocephaly without synostosis. *Cleft Palate Craniofac J*, 33, 418-23.
- KANE, A. A., MITCHELL, L. E., CRAVEN, K. P. & MARSH, J. L. 1996b. Observations on a recent increase in plagiocephaly without synostosis. *Pediatrics*, 97, 877-885.
- KATZEL, E. B., KOLTZ, P. F., SBITANY, H. & GIROTTO, J. A. 2011. Treatment of plagiocephaly with helmet molding therapy: do actual results mimic perception? *Cleft Palate Craniofac.J.*, 48, 205-209.
- KELLY, K. M., LITTLEFIELD, T. R., POMATTO, J. K., RIPLEY, C. E., BEALS, S. P. & JOGANIC, E. F. 1999. Importance of early recognition and treatment of

- deformational plagiocephaly with orthotic cranioplasty. *Cleft Palate Craniofac.J.*, 36, 127-130.
- KENNEDY, E., MAJNEMER, A., FARMER, J. P., BARR, R. G. & PLATT, R. W. 2009. Motor development of infants with positional plagiocephaly. *Phys Occup Ther Pediatr*, 29, 222-35.
- KLEIN, P., LEPERS, Y. & SALEM, W. 2011. [Osteopathic medicine]. *Rev Med Brux*, 32, 369-74.
- KLUBA, S., KRAUT, W., CALGEER, B., REINERT, S. & KRIMMEL, M. 2014. Treatment of positional plagiocephaly--helmet or no helmet? *J Craniomaxillofac Surg*, 42, 683-8.
- KLUBA, S., KRAUT, W., REINERT, S. & KRIMMEL, M. 2011. What is the optimal time to start helmet therapy in positional plagiocephaly? *Plast.Reconstr.Surg.*, 128, 492-498.
- KLUBA, S., ROSSKOPF, F., KRAUT, W., PETERS, J. P., CALGEER, B., REINERT, S. & KRIMMEL, M. 2016. Malocclusion in the primary dentition in children with and without deformational plagiocephaly. *Clin Oral Investig*.
- KLUBA, S., SCHREIBER, R., KRAUT, W., MEISNER, C., REINERT, S. & KRIMMEL, M. 2012. Does helmet therapy influence the ear shift in positional plagiocephaly? *J.Craniofac.Surg.*, 23, 1301-1305.
- KNICKMEYER, R. C., GOUTTARD, S., KANG, C., EVANS, D., WILBER, K., SMITH, J. K., HAMER, R. M., LIN, W., GERIG, G. & GILMORE, J. H. 2008. A structural MRI study of human brain development from birth to 2 years. *J Neurosci*, 28, 12176-82.
- KREY, K. F. & DANNHAUER, K. H. 2008. Morphometric analysis of facial profile in adults. *J Orofac Orthop*, 69, 424-36.
- KRIMMEL, M., KLUBA, S., DIETZ, K. & REINERT, S. 2005. Assessment of precision and accuracy of digital surface photogrammetry with the DSP 400 system. *Biomedizinische Technik*, 50, 45-53.
- LANGLOIS, J. H., ROGGMAN, L. A. & MUSSELMAN, L. 1994. What Is Average and What Is Not Average about Attractive Faces? *Psychological Science*, 5, 214-220.
- LEE, M. C., HWANG, J., KIM, Y. O., SHIM, K. W., PARK, E. K., LEW, D. H. & YUN, I. S. 2015. Three-dimensional analysis of cranial and facial asymmetry after helmet therapy for positional plagiocephaly. *Childs Nerv Syst*.
- LEE, R. P., TEICHGRAEBER, J. F., BAUMGARTNER, J. E., WALLER, A. L., ENGLISH, J. D., LASKY, R. E., MILLER, C. C., GATENO, J. & XIA, J. J. 2008. Long-term treatment effectiveness of molding helmet therapy in the correction of

- posterior deformational plagiocephaly: a five-year follow-up. *Cleft Palate Craniofac.J.*, 45, 240-245.
- LESSARD, S., GAGNON, I. & TROTTIER, N. 2011. Exploring the impact of osteopathic treatment on cranial asymmetries associated with nonsynostotic plagiocephaly in infants. *Complement Ther Clin Pract*, 17, 193-8.
- LIANG, S., WU, J., WEINBERG, S. M. & SHAPIRO, L. G. 2013. Improved detection of landmarks on 3D human face data. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2013, 6482-5.
- LIM, H., CHUNG, J., PARK, D. H. & YOON, S. H. 2016. Long-term results of remodelling the facial bones with a soft moulding helmet in beagles: the “reciprocally stimulated growth” hypothesis. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 54, 40-45.
- LIPIRA, A. B., GORDON, S., DARVANN, T. A., HERMANN, N. V., VAN PELT, A. E., NAIDOO, S. D., GOVIER, D. & KANE, A. A. 2010. Helmet versus active repositioning for plagiocephaly: a three-dimensional analysis. *Pediatrics*, 126, e936-e945.
- LITTLEFIELD, T. R., BEALS, S. P., MANWARING, K. H., POMATTO, J. K., JOGANIC, E. F., GOLDEN, K. A. & RIPLEY, C. E. 1998. Treatment of craniofacial asymmetry with dynamic orthotic cranioplasty. *J Craniofac Surg*, 9, 11-7; discussion 18-9.
- LITTLEFIELD, T. R., KELLY, K. M., CHERNEY, J. C., BEALS, S. P. & POMATTO, J. K. 2004a. Development of a new three-dimensional cranial imaging system. *J Craniofac Surg*, 15, 175-81.
- LITTLEFIELD, T. R., KELLY, K. M., POMATTO, J. K. & BEALS, S. P. 1999. Multiple-birth infants at higher risk for development of deformational plagiocephaly. *Pediatrics*, 103, 565-9.
- LITTLEFIELD, T. R., KELLY, K. M., POMATTO, J. K. & BEALS, S. P. 2002. Multiple-birth infants at higher risk for development of deformational plagiocephaly: II. is one twin at greater risk? *Pediatrics*, 109, 19-25.
- LITTLEFIELD, T. R., POMATTO, J. K. & KELLY, K. M. 2000. Dynamic orthotic cranioplasty: treatment of the older infant. Report of four cases. *Neurosurg Focus*, 9, e5.
- LITTLEFIELD, T. R., SABA, N. M. & KELLY, K. M. 2004b. On the current incidence of deformational plagiocephaly: an estimation based on prospective registration at a single center. *Semin Pediatr Neurol*, 11, 301-4.
- LOVEDAY, B. P. & DE CHALAIN, T. B. 2001. Active counterpositioning or orthotic device to treat positional plagiocephaly? *J.Craniofac.Surg.*, 12, 308-313.
- MAWJI, A., VOLLMAN, A. R., FUNG, T., HATFIELD, J., MCNEIL, D. A. & SAUVE, R. 2014. Risk factors for positional plagiocephaly and appropriate time frames for prevention messaging. *Paediatr Child Health*, 19, 423-7.
- MCKAY, D. R., DAVIDGE, K. M., WILLIAMS, S. K., ELLIS, L. A., CHONG, D. K., TEIXEIRA, R. P., GREENSMITH, A. L. & HOLMES, A. D. 2010. Measuring cranial vault

- volume with three-dimensional photography: a method of measurement comparable to the gold standard. *J Craniofac Surg*, 21, 1419-22.
- MCKINNEY, C. M., CUNNINGHAM, M. L., HOLT, V. L., LEROUX, B. & STARR, J. R. 2008. Characteristics of 2733 cases diagnosed with deformational plagiocephaly and changes in risk factors over time. *Cleft Palate Craniofac J*, 45, 208-16.
- MCKINNEY, C. M., CUNNINGHAM, M. L., HOLT, V. L., LEROUX, B. & STARR, J. R. 2009. A case-control study of infant, maternal and perinatal characteristics associated with deformational plagiocephaly. *Paediatr Perinat Epidemiol*, 23, 332-45.
- METZLER, P., BRUEGGER, L. S., KRUSE GUJER, A. L., MATTHEWS, F., ZEMANN, W., GRAETZ, K. W. & LUEBBERS, H. T. 2012. Craniofacial landmarks in young children: how reliable are measurements based on 3-dimensional imaging? *J Craniofac Surg*, 23, 1790-5.
- MEYER-MARCOTTY, P., B"HM, H., LINZ, C., KRAUSS, J., STELLZIG-EISENHAUER, A. & SCHWEITZER, T. 2013. Three-dimensional analysis of cranial growth from 6 to 12 months of age. *Europ.J.Orthod*.
- MEYER-MARCOTTY, P., SCHWEITZER, T., LINZ, C., KUNZ, F., STELLZIG-EISENHAUER, A., KÜBLER, A. C., ERNESTUS, R. I. & BÖHM, H. 2015. Die interdisziplinäre Therapie von lagebedingten Schädelasymmetrien innerhalb des ersten Lebensjahres. *DZZ Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 70, 25-32.
- MILLER, R. I. & CLARREN, S. K. 2000. Long-term developmental outcomes in patients with deformational plagiocephaly. *Pediatrics*, 105, E26.
- MORRISON, C. S. & CHARIKER, M. 2006. Positional plagiocephaly: pathogenesis, diagnosis, and management. *J.Ky.Med.Assoc.*, 104, 136-140.
- MOSS, S. D. 1997. Nonsurgical, nonorthotic treatment of occipital plagiocephaly: what is the natural history of the misshapen neonatal head? *J.Neurosurg.*, 87, 667-670.
- MULLIKEN, J. B., VANDER WOUDE, D. L., HANSEN, M., LABRIE, R. A. & SCOTT, R. M. 1999. Analysis of posterior plagiocephaly: deformational versus synostotic. *Plast.Reconstr.Surg.*, 103, 371-380.
- NETHERWAY, D. J., ABBOTT, A. H., GULAMHUSEINWALA, N., MCGLAUGHLIN, K. L., ANDERSON, P. J., TOWNSEND, G. C. & DAVID, D. J. 2006. Three-dimensional computed tomography cephalometry of plagiocephaly: asymmetry and shape analysis. *Cleft Palate Craniofac J*, 43, 201-10.
- OTHMAN, S. A., AHMAD, R., MERICANT, A. F. & JAMALUDIN, M. 2013. Reproducibility of facial soft tissue landmarks on facial images captured on a 3D camera. *Aust Orthod J*, 29, 58-65.
- PAQUEREAU, J. 2013. Non-surgical management of posterior positional plagiocephaly: Orthotics versus repositioning. *Ann.Phys.Rehabil.Med*.
- PEARCE, M. S., SALOTTI, J. A., LITTLE, M. P., MCHUGH, K., LEE, C., KIM, K. P., HOWE, N. L., RONCKERS, C. M., RAJARAMAN, P., CRAFT, A. W., PARKER, L. &

- BERRINGTON DE GONZÁLEZ, A. 2012. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *The Lancet*, 380, 499-505.
- PEITSCH, W. K., KEEFER, C. H., LABRIE, R. A. & MULLIKEN, J. B. 2002. Incidence of cranial asymmetry in healthy newborns. *Pediatrics*, 110, e72.
- PERSING, J., JAMES, H., SWANSON, J. & KATTWINKEL, J. 2003. Prevention and management of positional skull deformities in infants. American Academy of Pediatrics Committee on Practice and Ambulatory Medicine, Section on Plastic Surgery and Section on Neurological Surgery. *Pediatrics*, 112, 199-202.
- PFEFFERBAUM, A., MATHALON, D. H., SULLIVAN, E. V., RAWLES, J. M., ZIPURSKY, R. B. & LIM, K. O. 1994. A quantitative magnetic resonance imaging study of changes in brain morphology from infancy to late adulthood. *Arch Neurol*, 51, 874-87.
- POMATTO, J. K., CALCATERRA, J., KELLY, K. M., BEALS, S. P., MANWARING, K. H. & LITTLEFIELD, T. R. 2006. A study of family head shape: environment alters cranial shape. *Clin Pediatr (Phila)*, 45, 55-63.
- RALF-DIETER HILGERS, P. B., VIKTOR SCHEIBER 2003. *Einführung in die Medizinische Statistik*, Heidelberg, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- REGELBERGER, J. 2007. Lagebedingte Plagiocephalien. Aktuelle diagnostische und therapeutische Aspekte. Urban & Vogel.
- ROBINSON, S. 2010. Deformational plagiocephaly delays motor skill development in 6-month-old infants. *J.Pediatr.*, 157, 514-515.
- ROBINSON, S. & PROCTOR, M. 2009. Diagnosis and management of deformational plagiocephaly. *J.Neurosurg.Pediatr.*, 3, 284-295.
- ROGERS, G. F. 2011a. Deformational plagiocephaly, brachycephaly, and scaphocephaly. Part I: terminology, diagnosis, and etiopathogenesis. *J.Craniofac.Surg.*, 22, 9-16.
- ROGERS, G. F. 2011b. Deformational plagiocephaly, brachycephaly, and scaphocephaly. Part II: prevention and treatment. *J.Craniofac.Surg.*, 22, 17-23.
- ROGERS, G. F., MILLER, J. & MULLIKEN, J. B. 2008. Comparison of a modifiable cranial cup versus repositioning and cervical stretching for the early correction of deformational posterior plagiocephaly. *Plast.Reconstr.Surg.*, 121, 941-947.
- SCHAAF, H., WILBRAND, J. F., BOEDEKER, R. H. & HOWALDT, H. P. 2010. Accuracy of photographic assessment compared with standard anthropometric measurements in nonsynostotic cranial deformities. *Cleft Palate Craniofac J*, 47, 447-53.
- SCHWEITZER, T., BOHM, H., LINZ, C., JAGER, B., GERSTL, L., KUNZ, F., STELLZIG-EISENHAEUER, A., ERNESTUS, R. I., KRAUSS, J. & MEYER-MARCOTTY, P. 2013. Three-dimensional analysis of positional plagiocephaly before and after

- molding helmet therapy in comparison to normal head growth. *Childs Nerv.Syst.*
- SERGUEEF, N., NELSON, K. E. & GLONEK, T. 2006. Palpatory diagnosis of plagiocephaly. *Complement Ther Clin Pract*, 12, 101-10.
- SERUYA, M., OH, A. K., TAYLOR, J. H., SAUERHAMMER, T. M. & ROGERS, G. F. 2013. Helmet treatment of deformational plagiocephaly: the relationship between age at initiation and rate of correction. *Plast.Reconstr.Surg.*, 131, 55e-61e.
- SPERMON, J., SPERMON-MARIJNEN, R. & SCHOLTEN-PEETERS, W. 2008. Clinical classification of deformational plagiocephaly according to Argenta: a reliability study. *J Craniofac Surg*, 19, 664-8.
- STEINBOK, P., LAM, D., SINGH, S., MORTENSON, P. A. & SINGHAL, A. 2007. Long-term outcome of infants with positional occipital plagiocephaly. *Childs Nerv.Syst.*, 23, 1275-1283.
- TAYLOR, H. O., MORRISON, C. S., LINDEN, O., PHILLIPS, B., CHANG, J., BYRNE, M. E., SULLIVAN, S. R. & FORREST, C. R. 2014. Quantitative facial asymmetry: using three-dimensional photogrammetry to measure baseline facial surface symmetry. *J Craniofac Surg*, 25, 124-8.
- TEICHGRAEBER, J. F., AULT, J. K., BAUMGARTNER, J., WALLER, A., MESSERSMITH, M., GATENO, J., BRAVENEC, B. & XIA, J. 2002. Deformational posterior plagiocephaly: diagnosis and treatment. *Cleft Palate Craniofac J*, 39, 582-6.
- TEICHGRAEBER, J. F., SEYMOUR-DEMPSEY, K., BAUMGARTNER, J. E., XIA, J. J., WALLER, A. L. & GATENO, J. 2004. Molding helmet therapy in the treatment of brachycephaly and plagiocephaly. *J.Craniofac.Surg.*, 15, 118-123.
- THOMPSON, J. T., DAVID, L. R., WOOD, B., ARGENTA, A., SIMPSON, J. & ARGENTA, L. C. 2009. Outcome analysis of helmet therapy for positional plagiocephaly using a three-dimensional surface scanning laser. *J.Craniofac.Surg.*, 20, 362-365.
- TURK, A. E., MCCARTHY, J. G., THORNE, C. H. & WISOFF, J. H. 1996. The "back to sleep campaign" and deformational plagiocephaly: is there cause for concern? *J Craniofac Surg*, 7, 12-8.
- VAN VLIMMEREN, L. A., VAN DER GRAAF, Y., BOERE-BOONEKAMP, M. M., L'HOIR, M. P., HELDERS, P. J. & ENGELBERT, R. H. 2008. Effect of pediatric physical therapy on deformational plagiocephaly in children with positional preference: a randomized controlled trial. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 162, 712-8.
- VAN VLIMMEREN, L. A., VAN DER, G. Y., BOERE-BOONEKAMP, M. M., L'HOIR, M. P., HELDERS, P. J. & ENGELBERT, R. H. 2007. Risk factors for deformational

- plagiocephaly at birth and at 7 weeks of age: a prospective cohort study. *Pediatrics*, 119, e408-e418.
- VERNET, O., DE RIBAUPIERRE, S., CAVIN, B. & RILLIET, B. 2008. [Treatment of posterior positional plagiocephaly]. *Arch Pediatr*, 15, 1829-33.
- VLES, J. S., COLLA, C., WEBER, J. W., BEULS, E., WILMINK, J. & KINGMA, H. 2000. Helmet versus nonhelmet treatment in nonsynostotic positional posterior plagiocephaly. *J.Craniofac.Surg.*, 11, 572-574.
- WEINBERG, S. M. & KOLAR, J. C. 2005. Three-dimensional surface imaging: limitations and considerations from the anthropometric perspective. *J.Craniofac.Surg.*, 16, 847-851.
- WEINBERG, S. M., NAIDOO, S., GOVIER, D. P., MARTIN, R. A., KANE, A. A. & MARAZITA, M. L. 2006. Anthropometric precision and accuracy of digital three-dimensional photogrammetry: comparing the Genex and 3dMD imaging systems with one another and with direct anthropometry. *J.Craniofac.Surg.*, 17, 477-483.
- WILBRAND, J. F., SEIDL, M., WILBRAND, M., STRECKBEIN, P., BOTTGER, S., PONS-KUEHNEMANN, J., HAHN, A. & HOWALDT, H. P. 2013. A prospective randomized trial on preventative methods for positional head deformity: physiotherapy versus a positioning pillow. *J Pediatr*, 162, 1216-21, 1221.e1.
- WILBRAND, J. F., WILBRAND, M., MALIK, C. Y., HOWALDT, H. P., STRECKBEIN, P., SCHAFF, H. & KERKMANN, H. 2012. Complications in helmet therapy. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 40, 341-346.
- WONG, J. Y., OH, A. K., OHTA, E., HUNT, A. T., ROGERS, G. F., MULLIKEN, J. B. & DEUTSCH, C. K. 2008. Validity and reliability of craniofacial anthropometric measurement of 3D digital photogrammetric images. *Cleft Palate Craniofac J*, 45, 232-9.
- XIA, J. J., KENNEDY, K. A., TEICHGRAEBER, J. F., WU, K. Q., BAUMGARTNER, J. B. & GATENO, J. 2008. Nonsurgical treatment of deformational plagiocephaly: a systematic review. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 162, 719-27.
- YOO, H. S., RAH, D. K. & KIM, Y. O. 2012. Outcome analysis of cranial molding therapy in nonsynostotic plagiocephaly. *Arch.Plast.Surg.*, 39, 338-344.
- ZAIDEL, D. W. & DEBLIECK, C. 2007. ATTRACTIVENESS OF NATURAL FACES COMPARED TO COMPUTER CONSTRUCTED PERFECTLY SYMMETRICAL FACES. *International Journal of Neuroscience*, 117, 423-431.

9. Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde an der Universitätsklinik Tübingen in der Abteilung Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie unter der Betreuung von Prof. Dr. Dr. Krimmel und PD Dr. Dr. Kluba durchgeführt.

Die im Zuge dieser Studie verwendeten 3D-Fotografien wurden im Rahmen der Helmsprechstunde der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie angefertigt und zum Zwecke dieser Studie zur Verfügung gestellt. Die Konzeption der Studie fand in enger Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Dr. Krimmel und PD Dr. Dr. Kluba statt. Die Entwicklung der Vermessungsmethode sowie sämtliche Erhebungen, Übertragungen und Auswertungen der Daten wurden von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig durch mich.

Ich versichere das Manuskript selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

10. Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. Dr. Krimmel für die freundliche Überlassung des sehr interessanten und umfangreichen Themas und möchte mich weiter für die stets kooperative und freundliche Zusammenarbeit bedanken.

Frau PD Dr. Dr. Kluba danke ich für ihre engagierte und herzliche Betreuung, für die vielen wertvollen Inputs und ihre stets quirlige Begeisterung in Gesprächen und Diskussionen.

Des Weiteren möchte ich meinem Bruder Jonas danken. Er hat sich in etlichen Telefonaten als ausgezeichneter Experte im Umgang mit Rhinoceros3D® erwiesen.

Meinen Eltern möchte ich danken für ihre Unterstützung in allen Lebenslagen und die Möglichkeit mich der Arbeit auch nach Studienabschluss mit ganzer Aufmerksamkeit widmen zu können.

Danken möchte ich ganz besonders auch meiner Partnerin Katie. Sie hat sich jeder offenen Frage und jeder Diskussion angenommen und ihre Ansichten „von außen“ waren in vielen Situationen Gold wert.

11. Anhang

11.1 Grafiken

11.1.1 CVAI

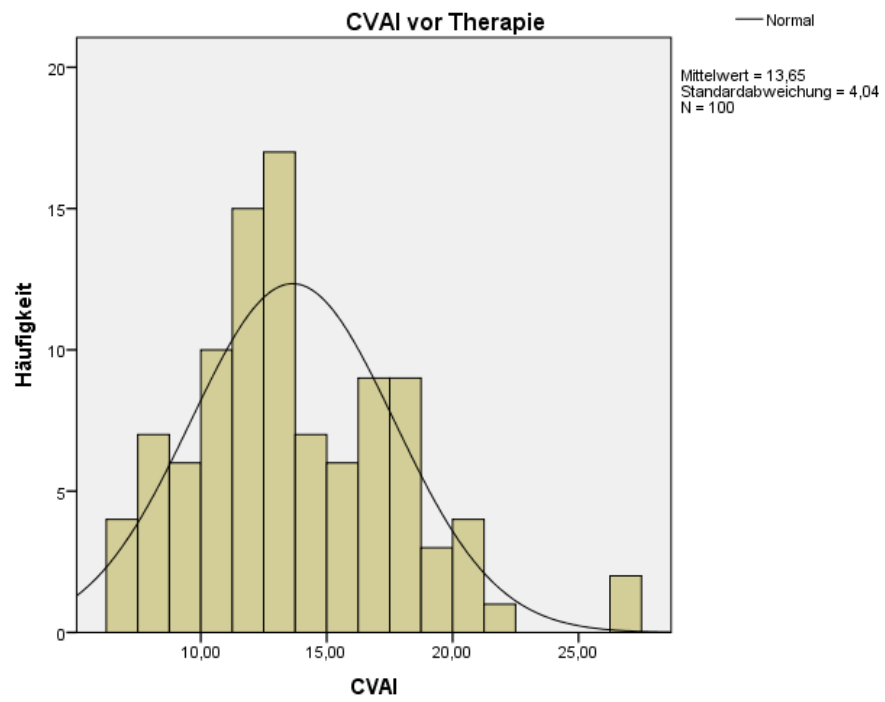


Abbildung 31: Histogramm CVAI vor Therapie

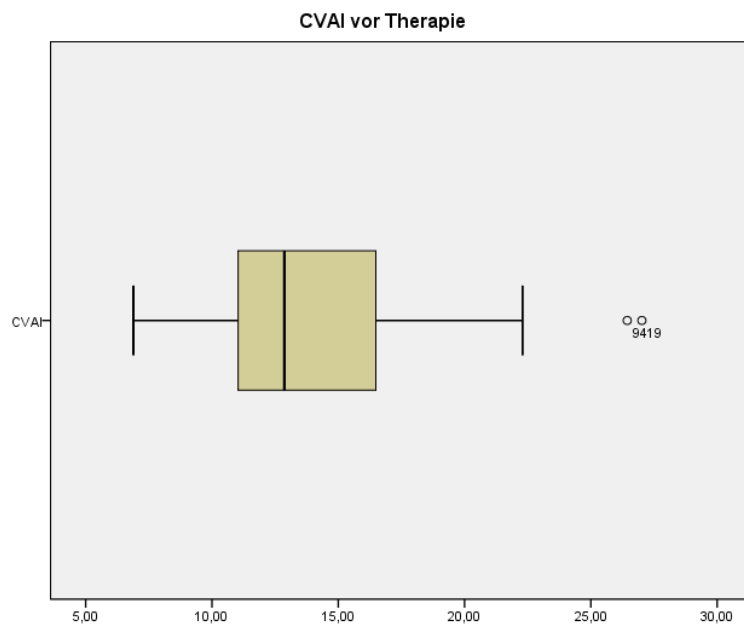


Abbildung 32: Boxplot CVAI vor Therapie

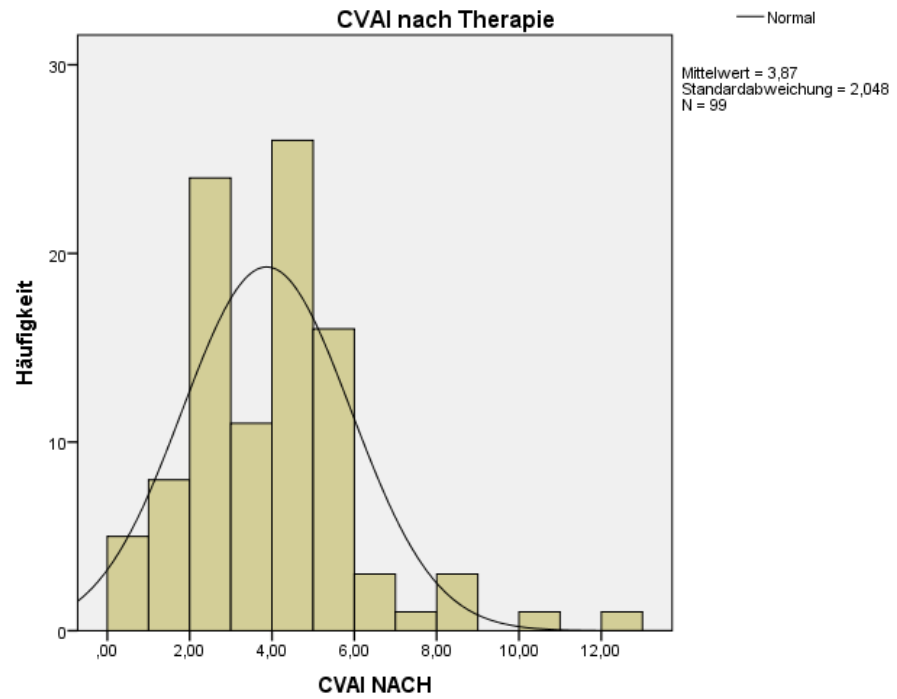


Abbildung 33: Histogramm CVAI nach Therapie

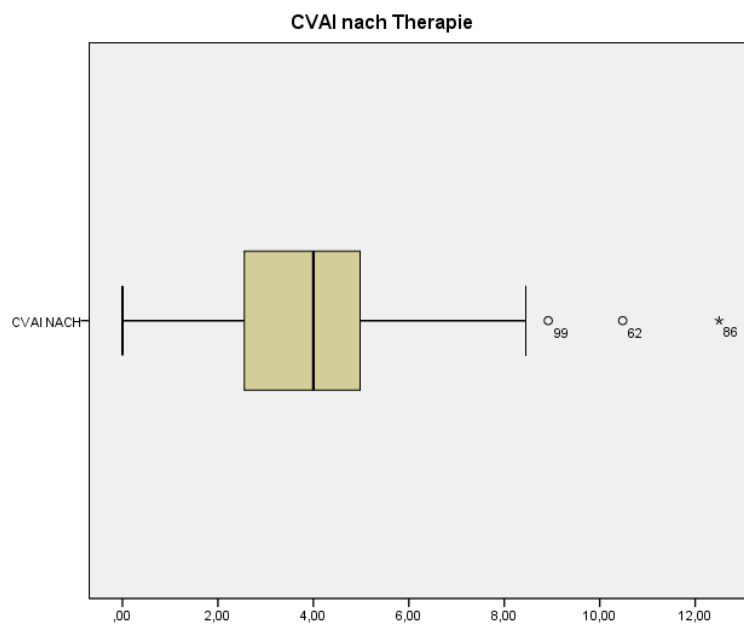


Abbildung 34: Boxplot CVAI nach Therapie

11.1.2 Differenzen vor Helmtherapie

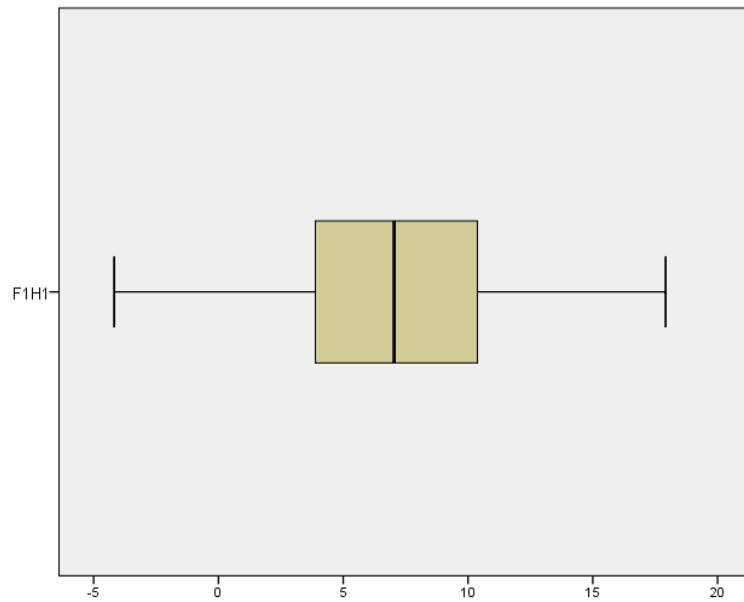


Abbildung 35: Boxplot absolute Differenzen F1H1

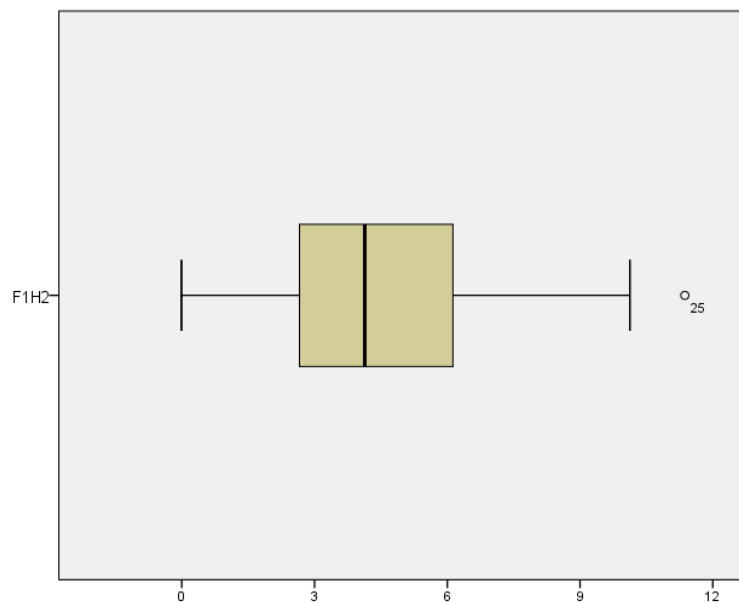


Abbildung 36: Boxplot absolute Differenzen F1H2

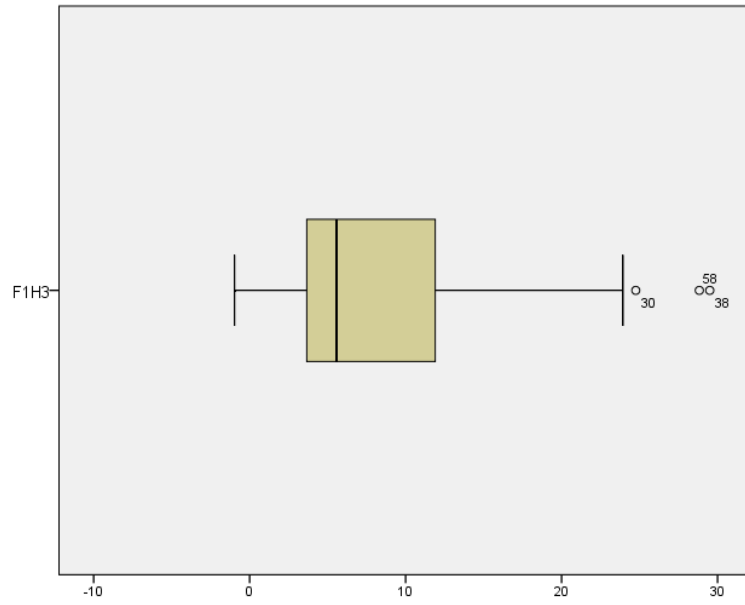


Abbildung 37: Boxplot absolute Differenzen F1H3

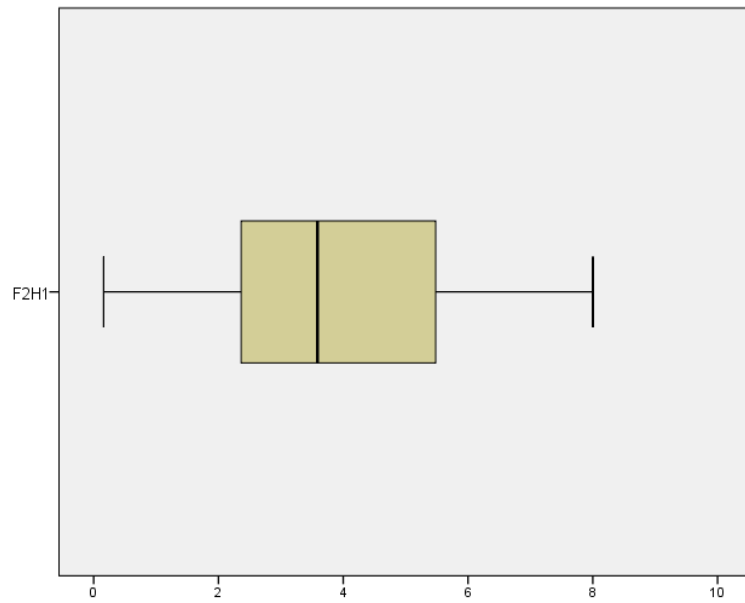


Abbildung 38: Boxplot absolute Differenzen F2H1

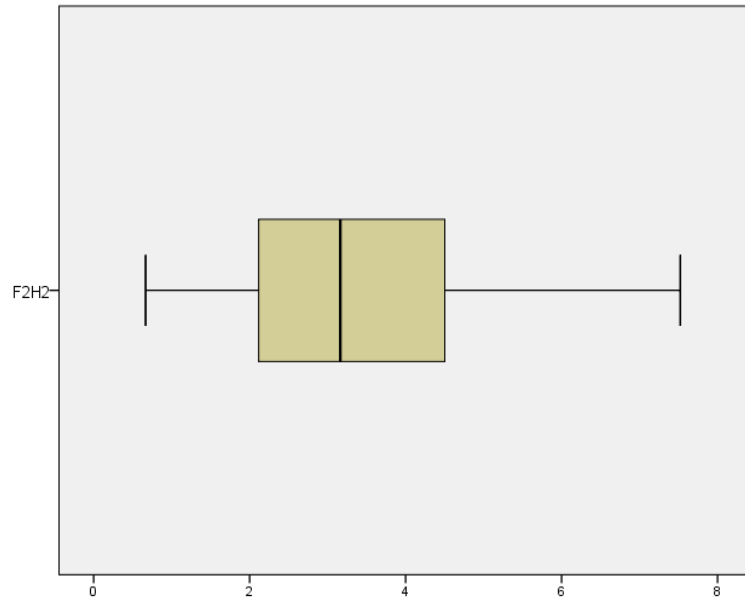


Abbildung 39: Boxplot absolute Differenzen F2H2

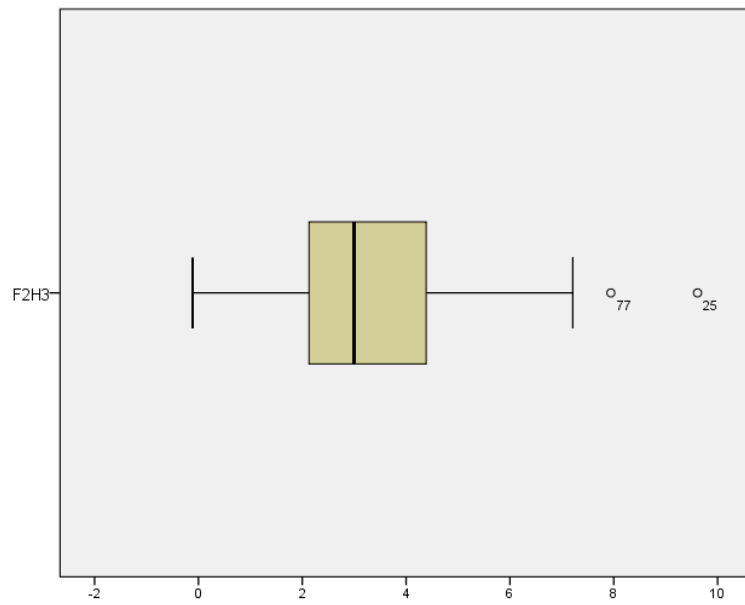


Abbildung 40: Boxplot absolute Differenzen F2H3

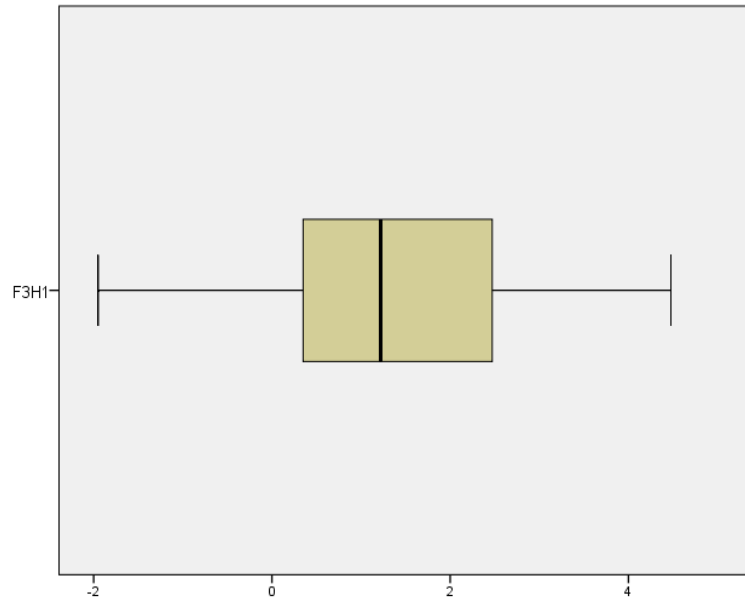


Abbildung 41: Boxplot absolute Differenzen F3H1

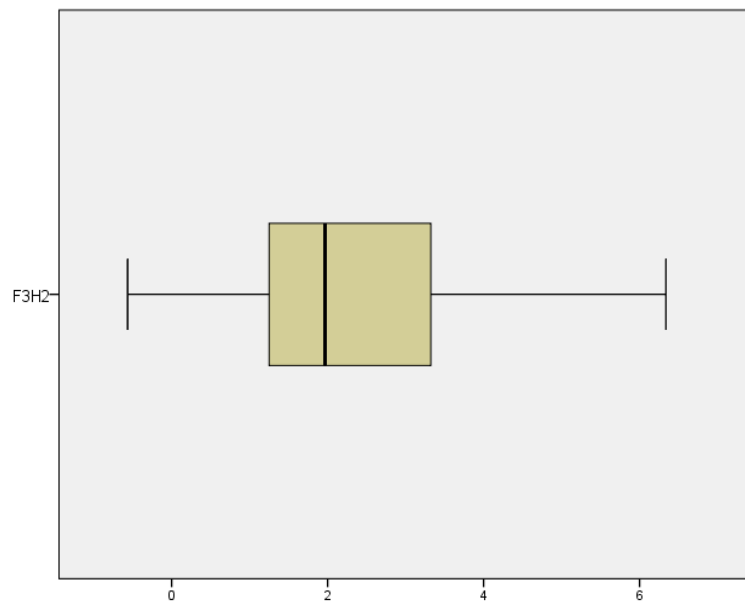


Abbildung 42: Boxplot absolute Differenzen F3H2

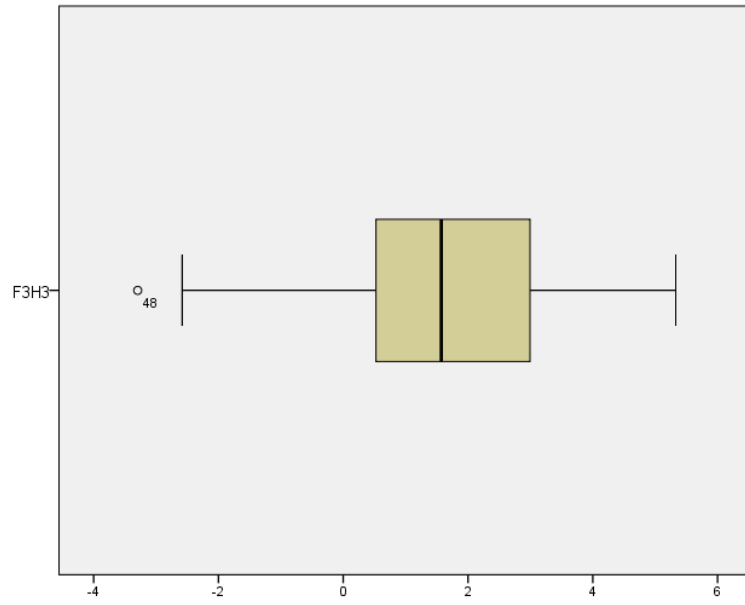


Abbildung 43: Boxplot absolute Differenzen F3H3

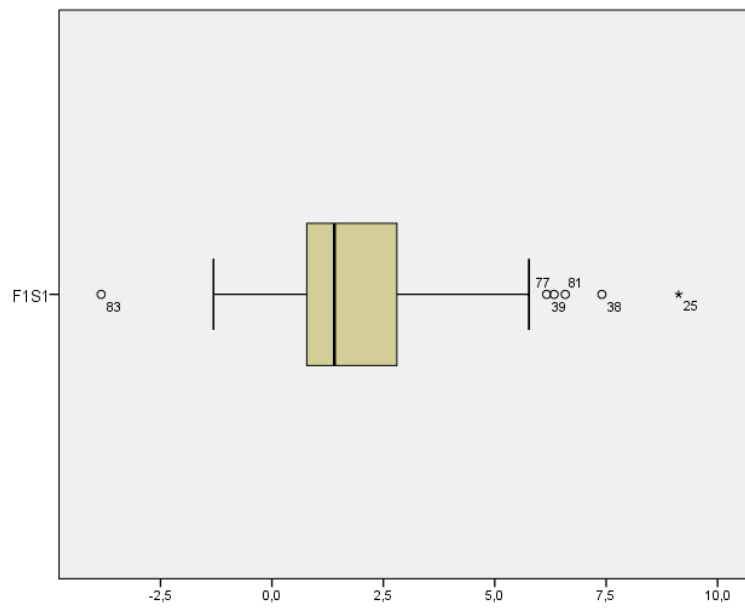


Abbildung 44: Boxplot absolute Differenzen F1S1

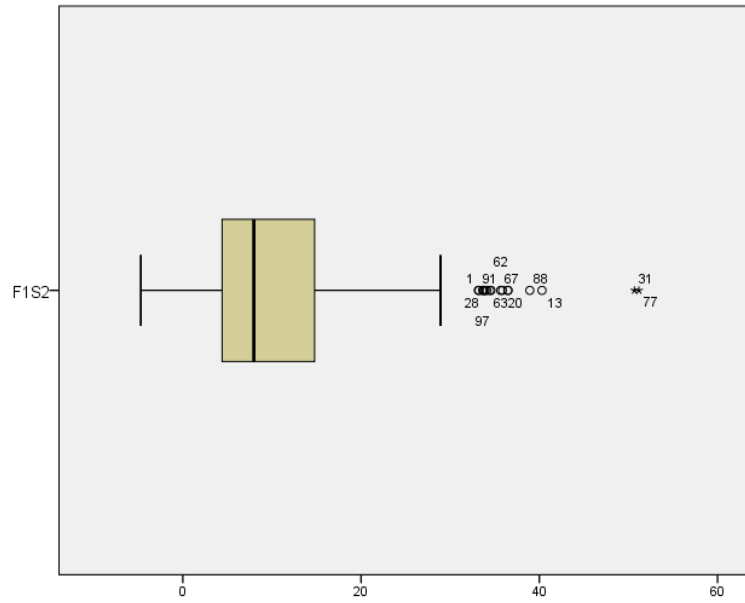


Abbildung 45: Boxplot absolute Differenzen F1S2

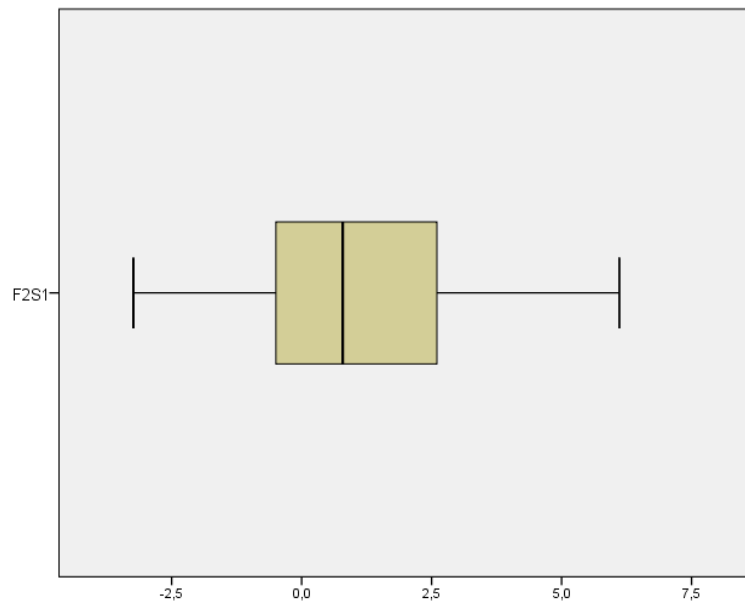


Abbildung 46: Boxplot absolute Differenzen F2S1

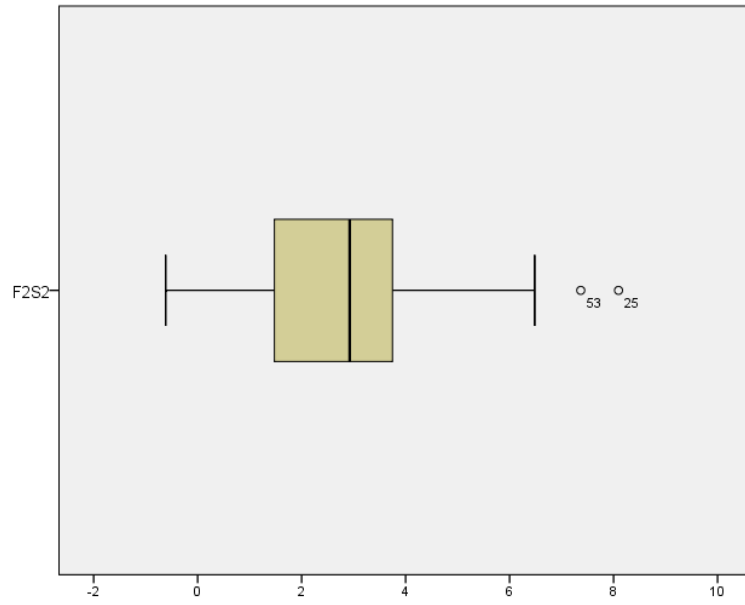


Abbildung 47: Boxplot absolute Differenzen F2S2

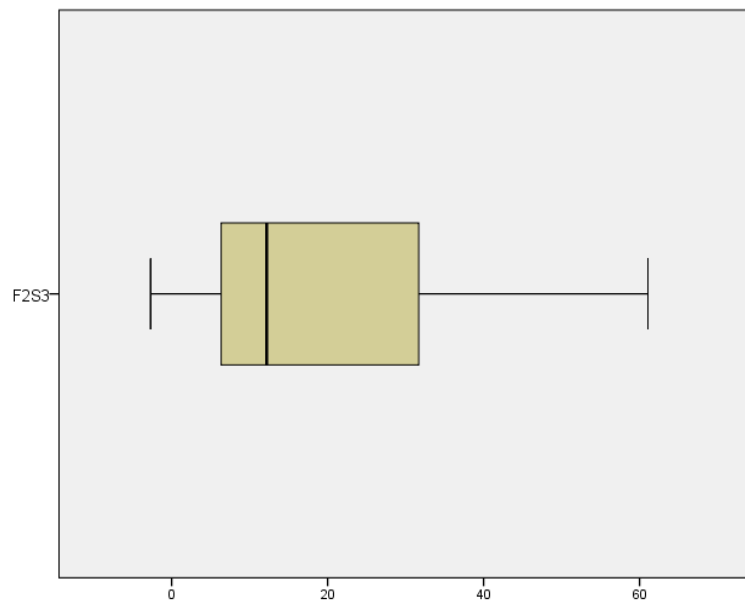


Abbildung 48: Boxplot absolute Differenzen F2S3

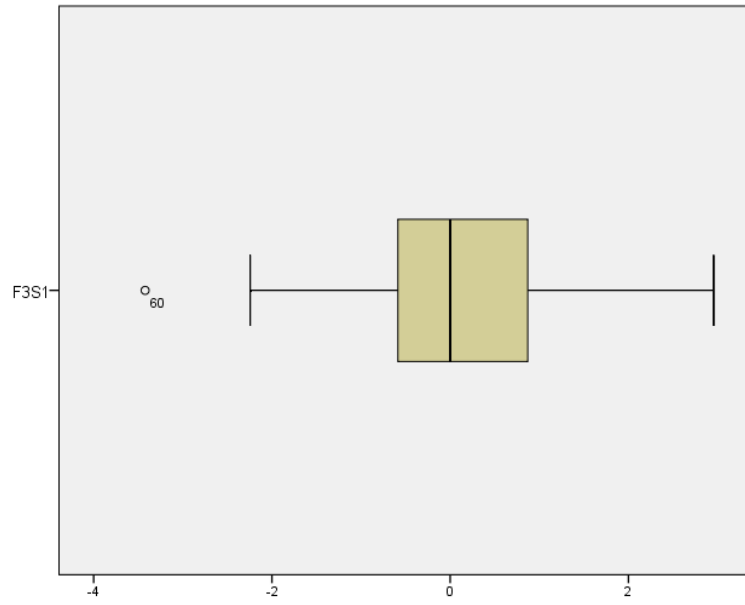


Abbildung 49: Boxplot absolute Differenzen F3S1

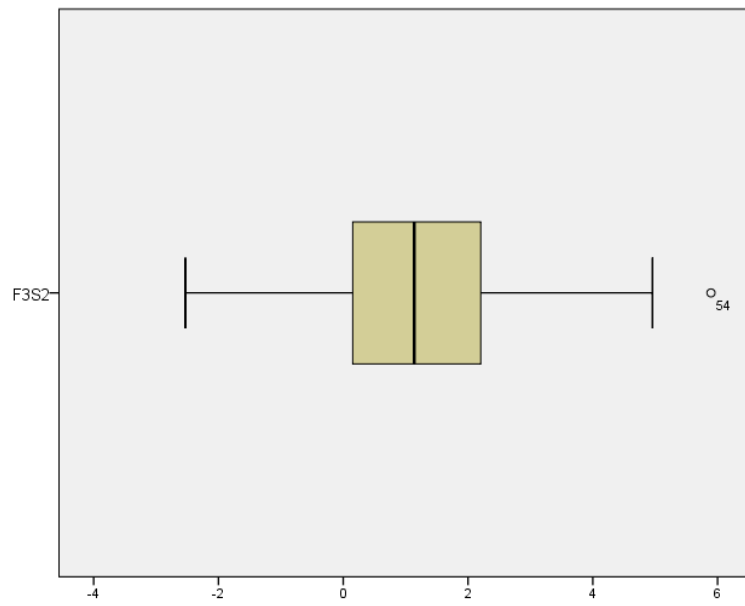


Abbildung 50: Boxplot absolute Differenzen F3S2

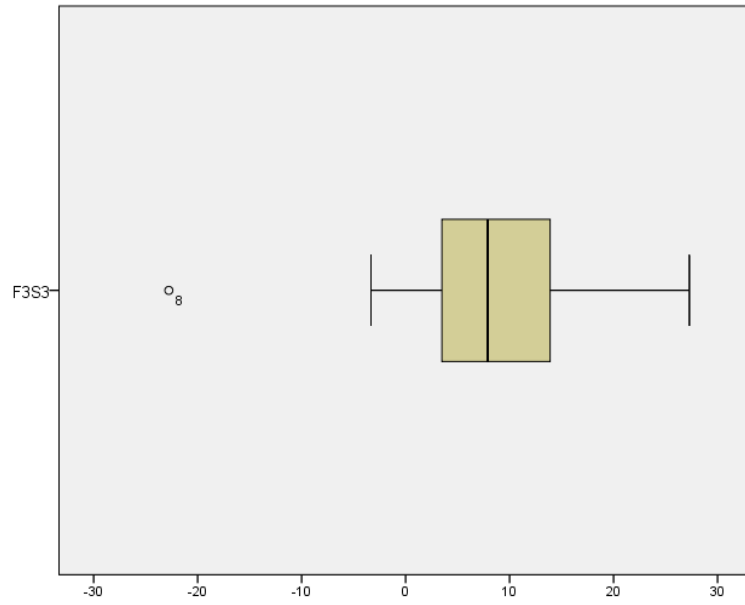


Abbildung 51: Boxplot absolute Differenzen F3S3

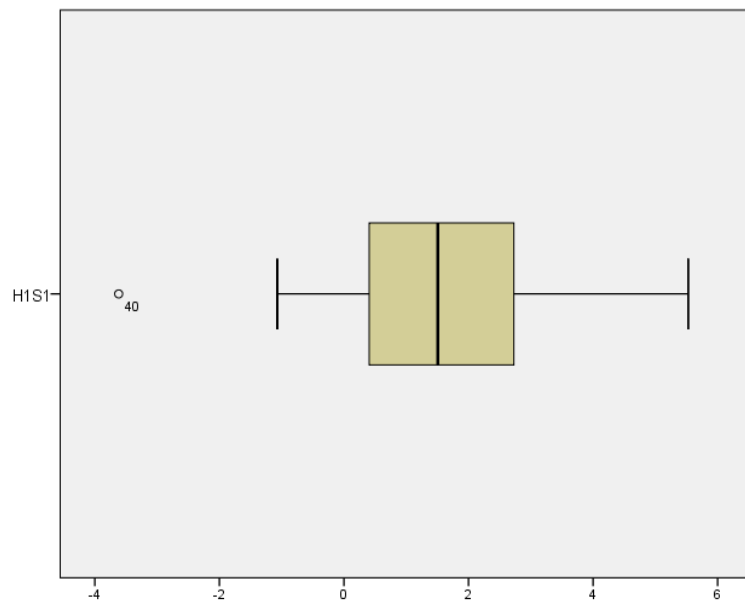


Abbildung 52: Boxplot absolute Differenzen H1S1

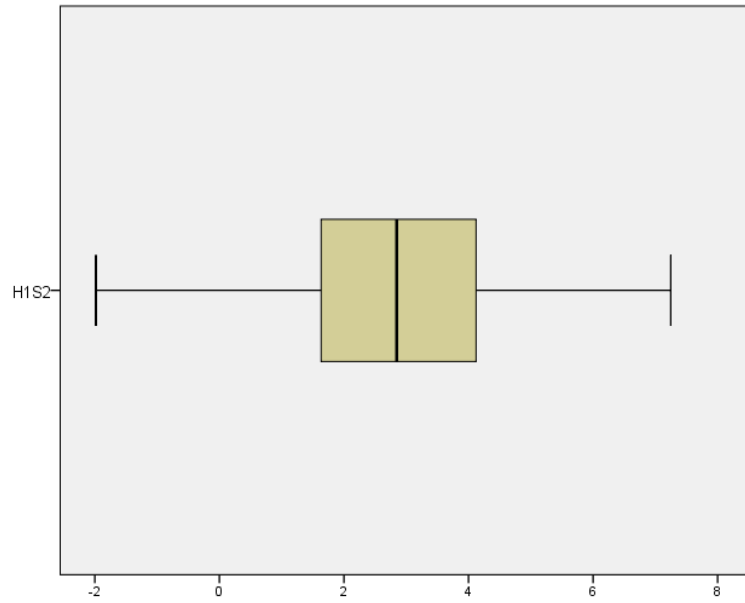


Abbildung 53: Boxplot absolute Differenzen H1S2

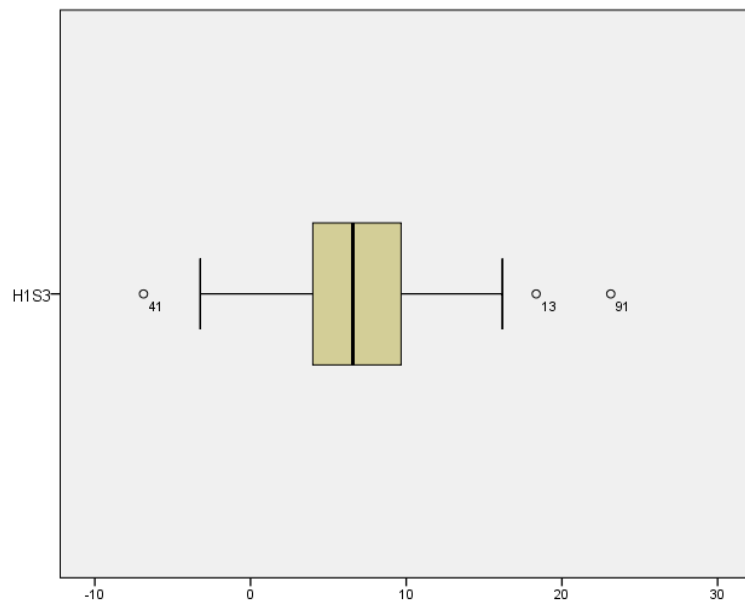


Abbildung 54: Boxplot absolute Differenzen H1S3

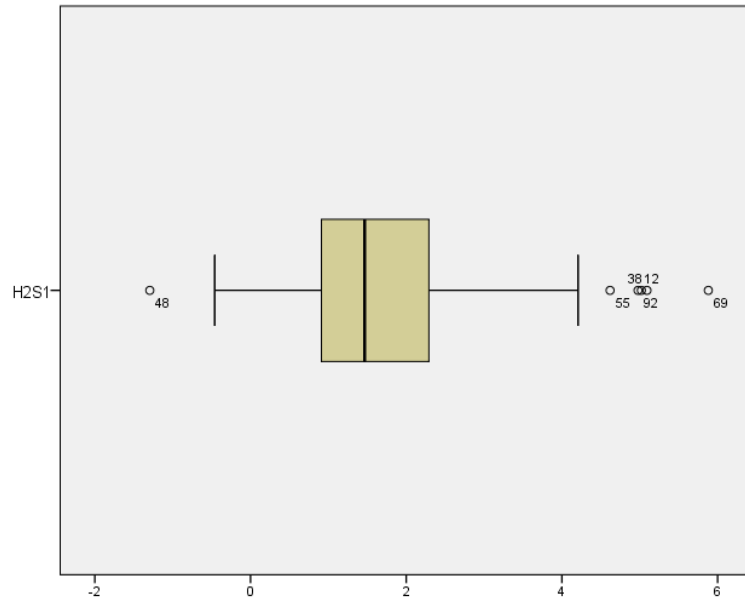


Abbildung 55: Boxplot absolute Differenzen H2S1

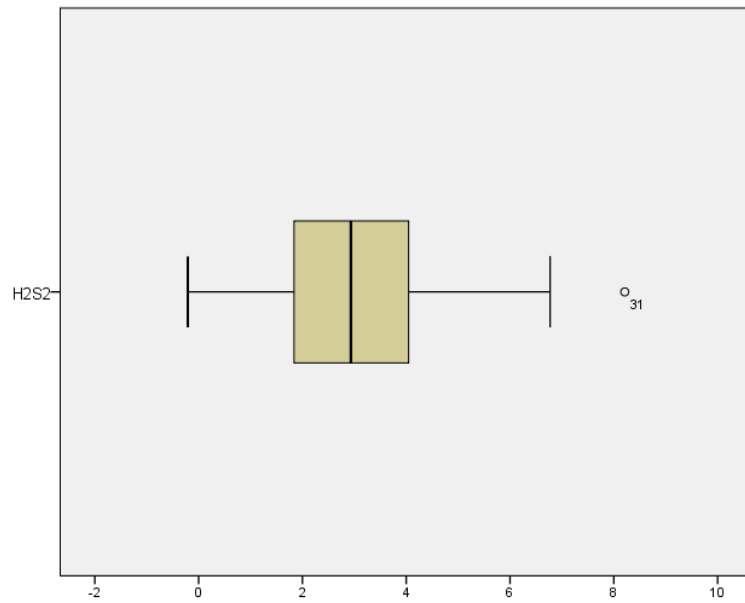


Abbildung 56: Boxplot absolute Differenzen H2S2

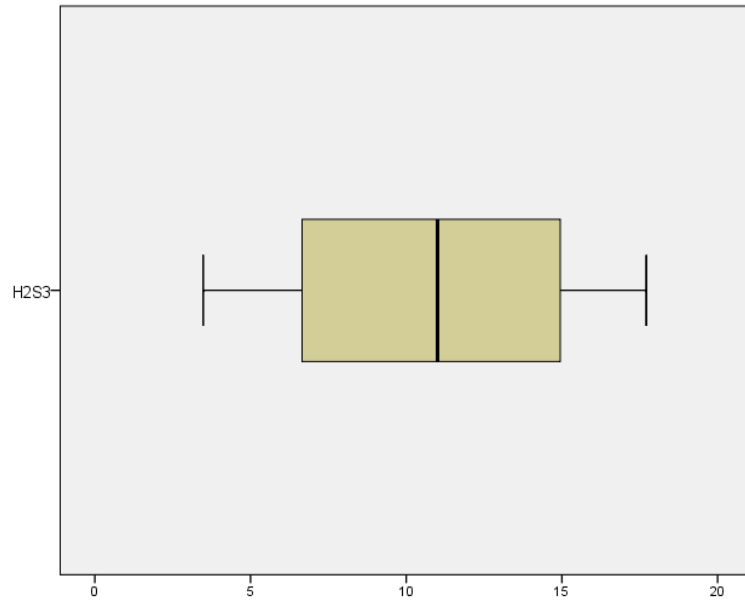


Abbildung 57: Boxplot absolute Differenzen H2S3

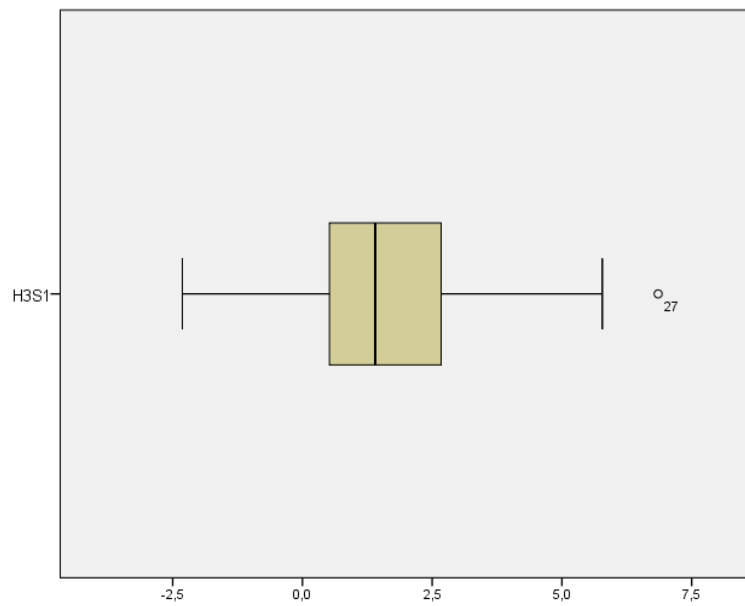


Abbildung 58: Boxplot absolute Differenzen H3S1

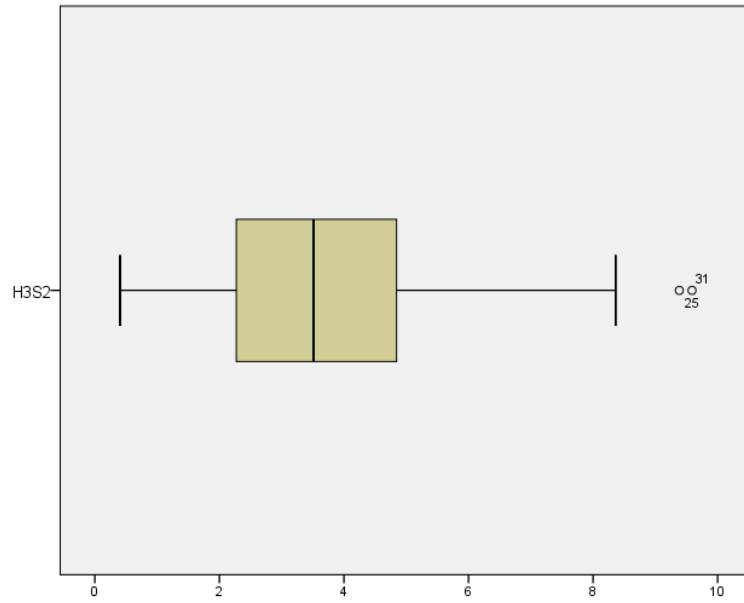


Abbildung 59: Boxplot absolute Differenzen H3S2

11.1.3 Differenzen nach Helmtherapie

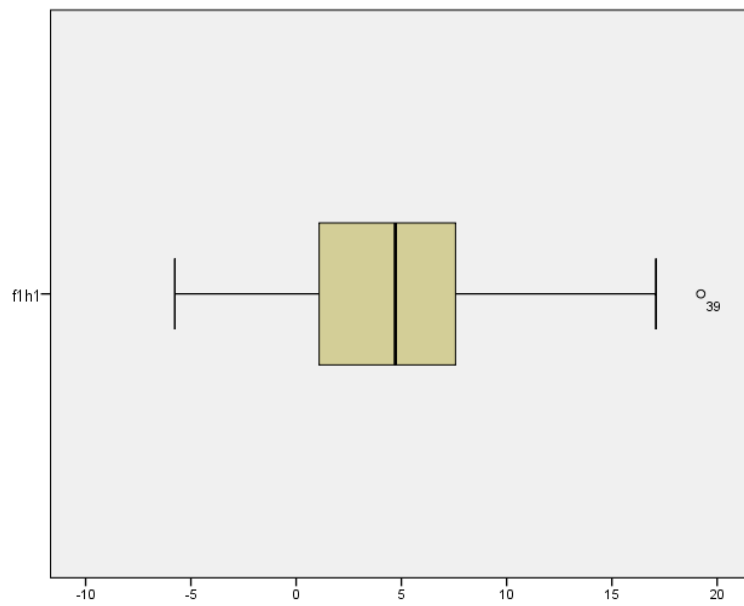


Abbildung 60: Boxplot absolute Differenzen f1h1

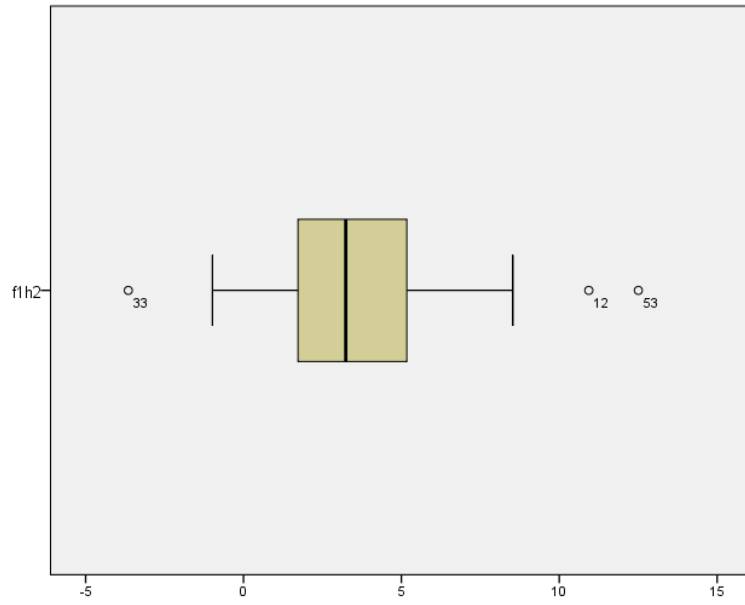


Abbildung 61: Boxplot absolute Differenzen f1h2

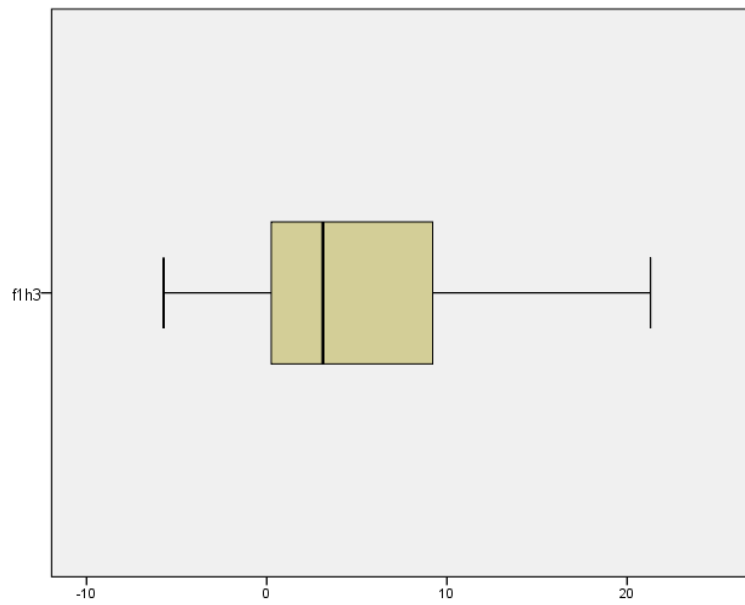


Abbildung 62: Boxplot absolute Differenzen f1h3

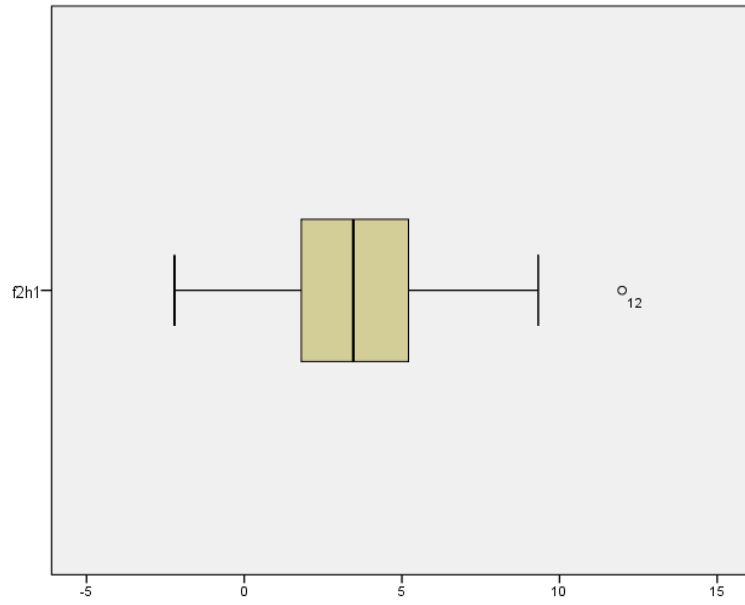


Abbildung 63: Boxplot absolute Differenzen f2h1

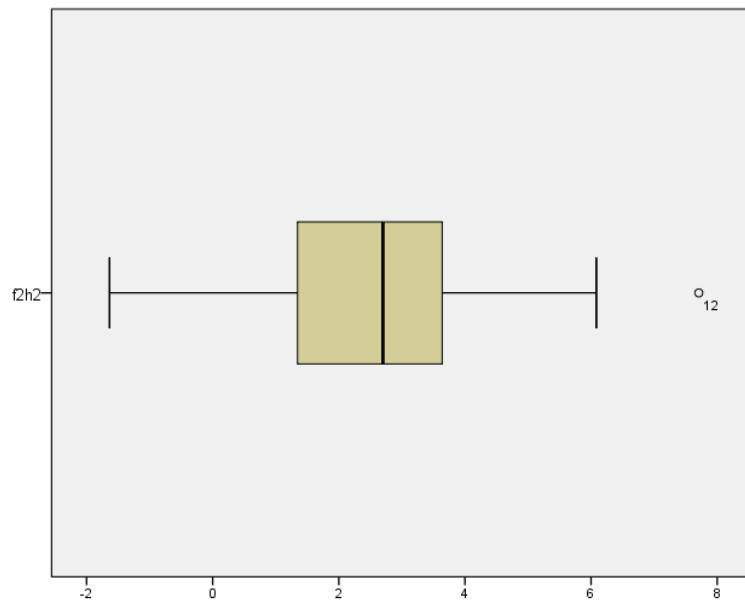


Abbildung 64: Boxplot absolute Differenzen f2h2

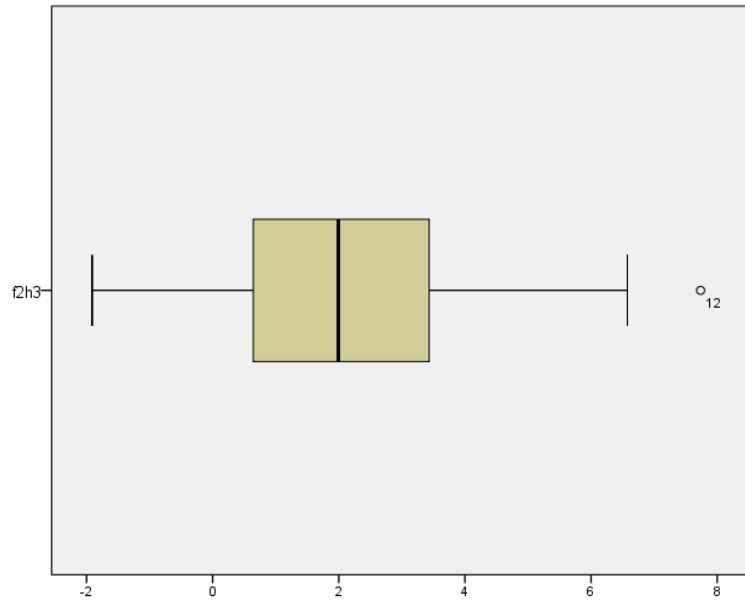


Abbildung 65: Boxplot absolute Differenzen f2h3

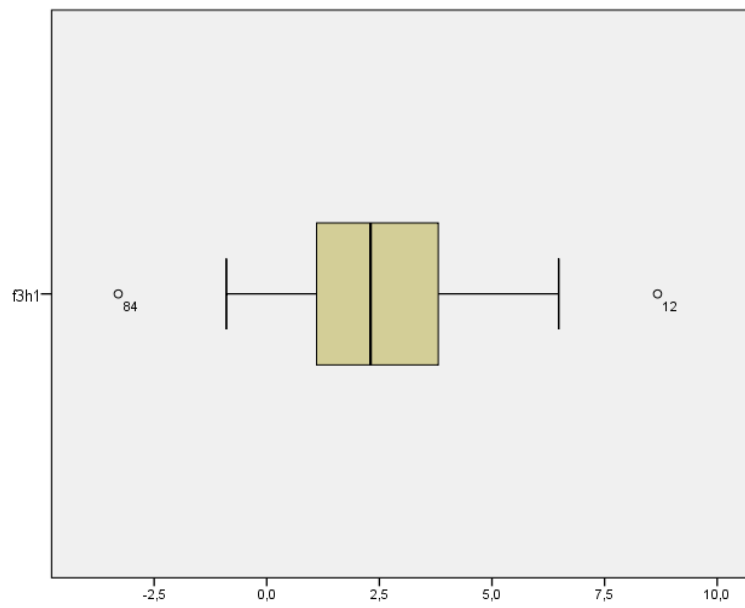


Abbildung 66: Boxplot absolute Differenzen f3h1

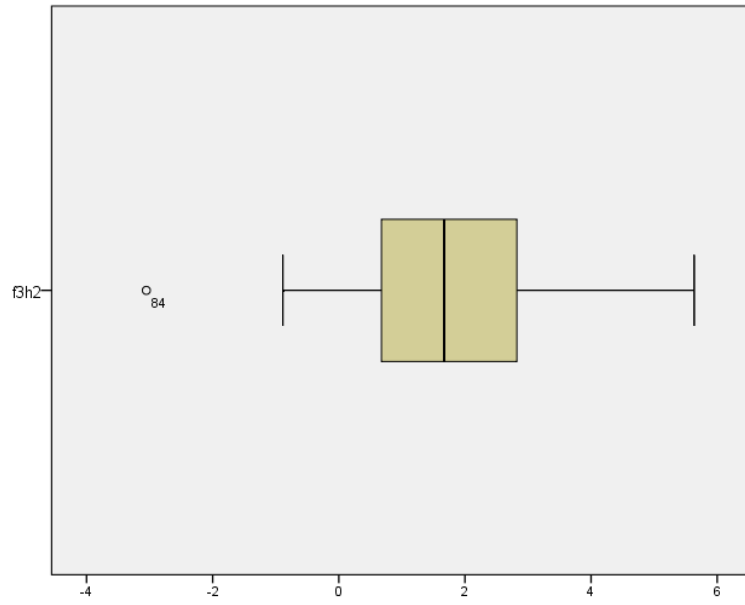


Abbildung 67: Boxplot absolute Differenzen f3h2

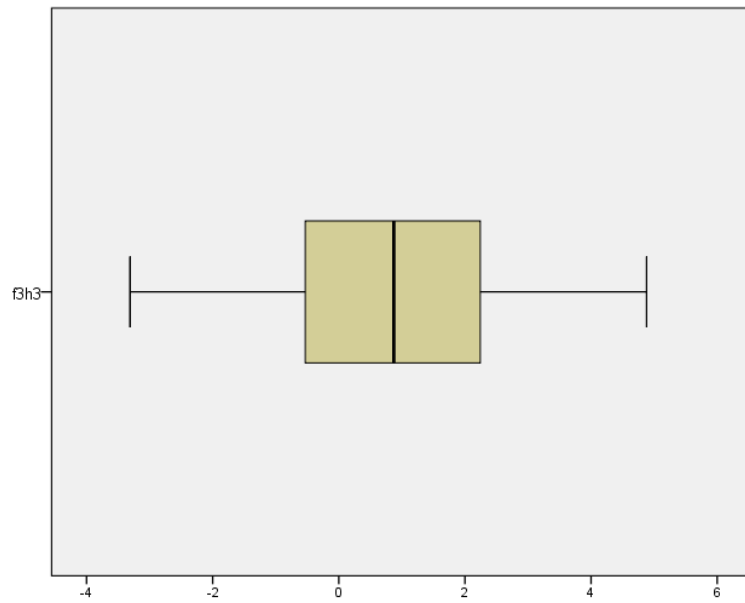


Abbildung 68: Boxplot absolute Differenzen f3h3

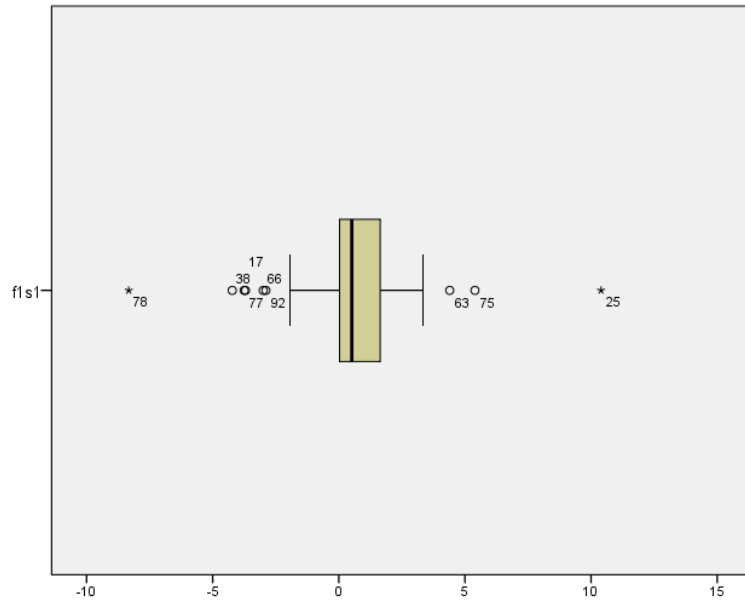


Abbildung 69: Boxplot absolute Differenzen f1s1

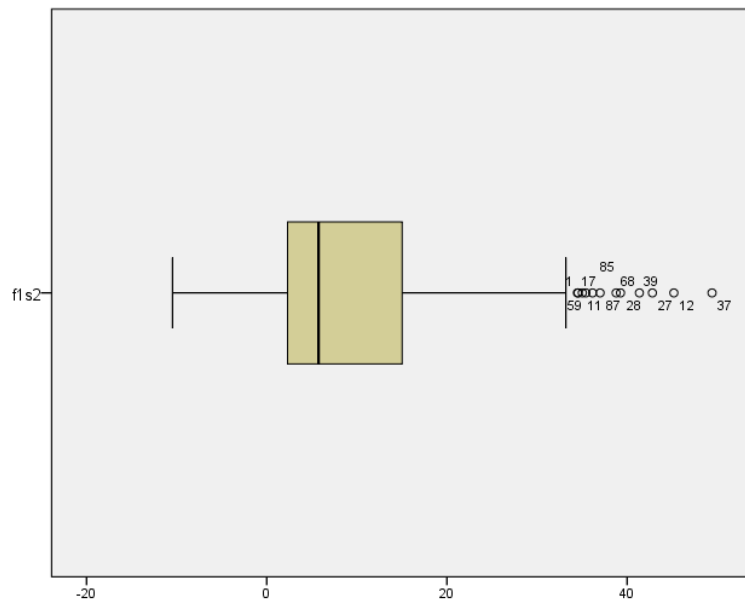


Abbildung 70: Boxplot absolute Differenzen f1s2

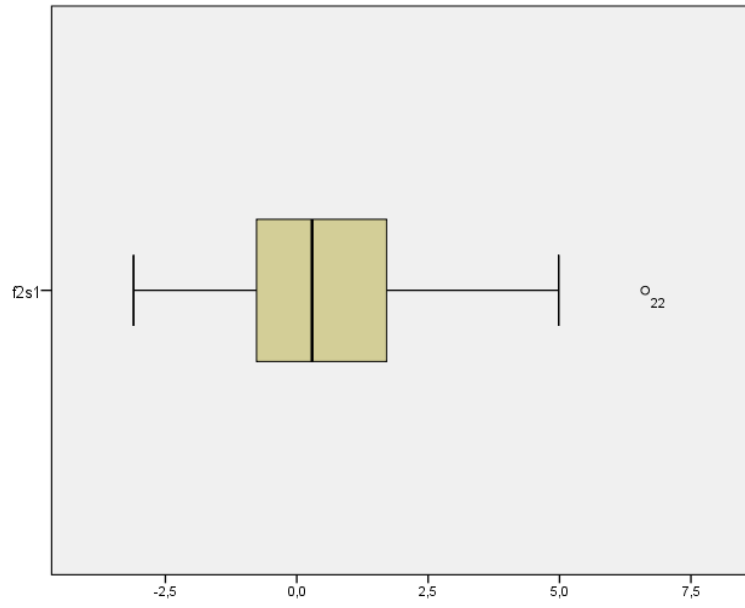


Abbildung 71: Boxplot absolute Differenzen f_{2s1}

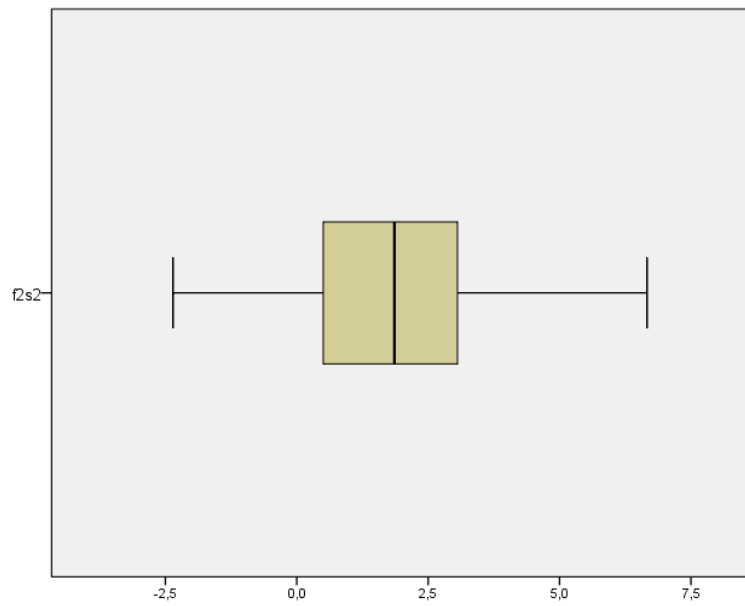


Abbildung 72: Boxplot absolute Differenzen f_{2s2}

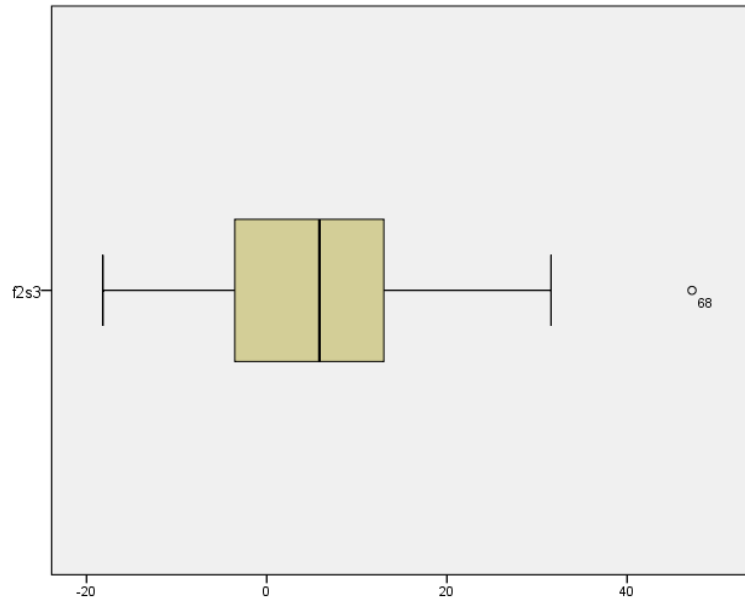


Abbildung 73: Boxplot absolute Differenzen f2s3

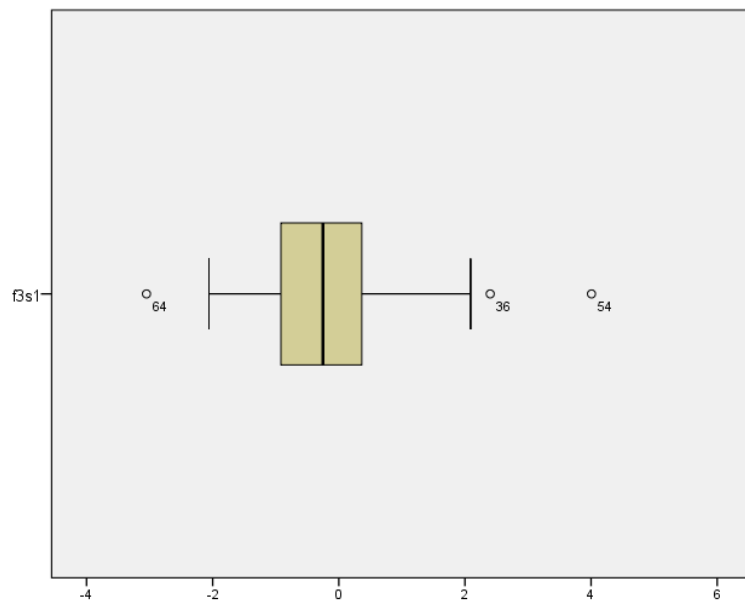


Abbildung 74: Boxplot absolute Differenzen f3s1

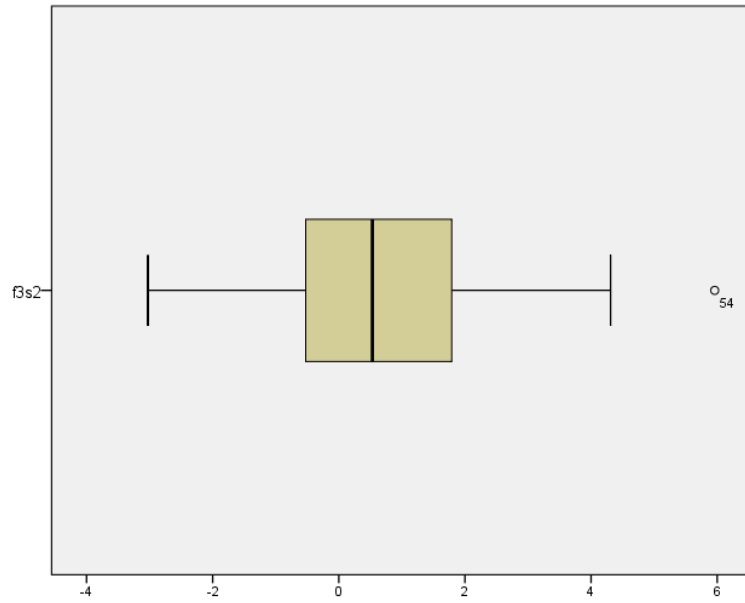


Abbildung 75: Boxplot absolute Differenzen f3s2

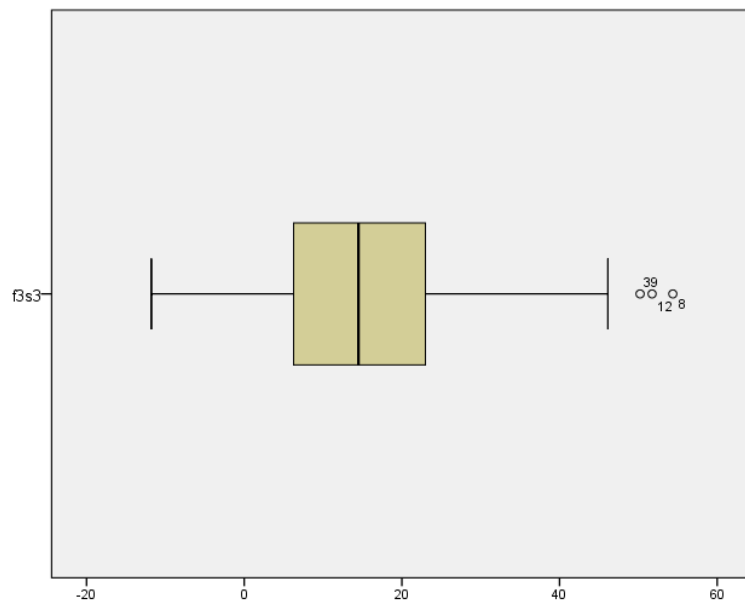


Abbildung 76: Boxplot absolute Differenzen f3s3

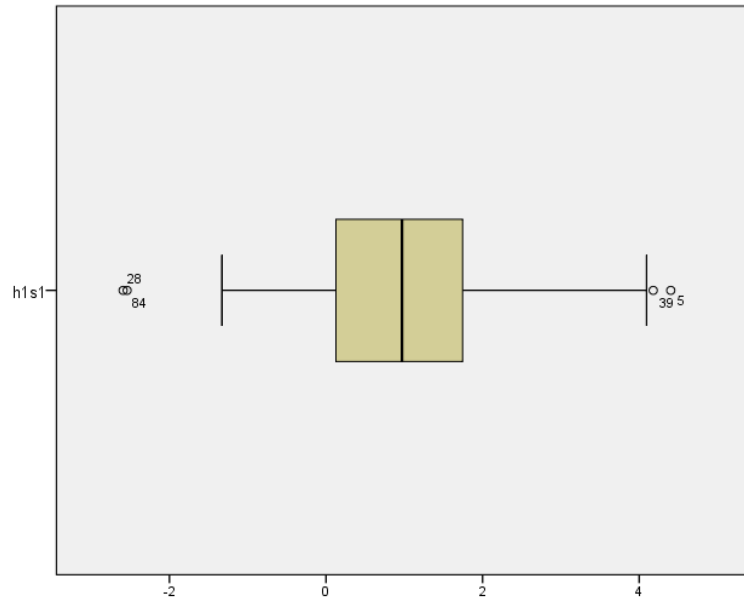


Abbildung 77: Boxplot absolute Differenzen h1s1

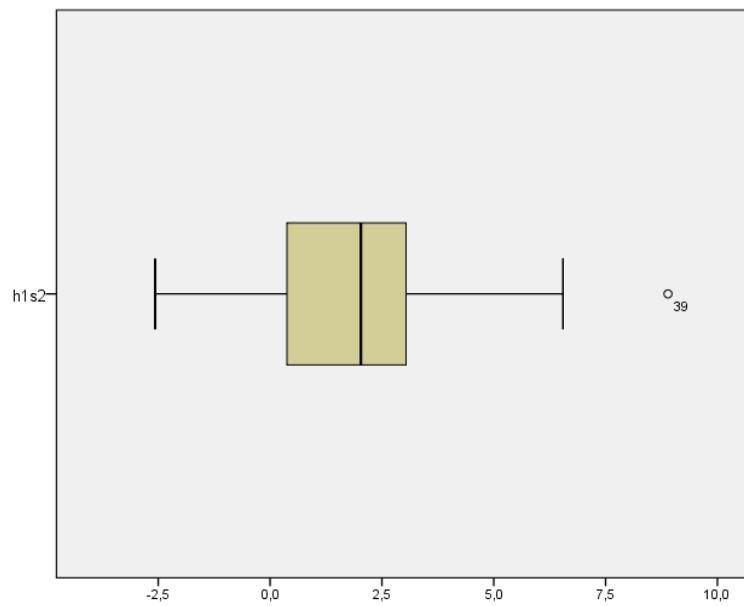


Abbildung 78: Boxplot absolute Differenzen h1s2

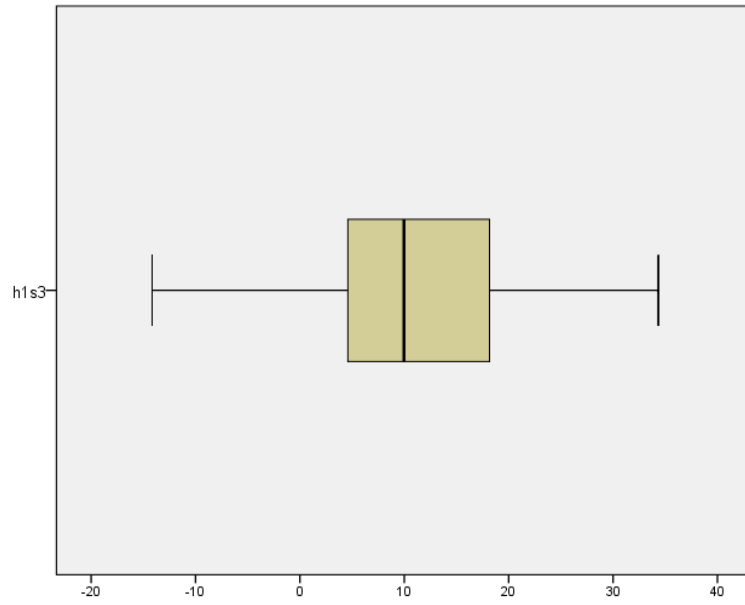


Abbildung 79: Boxplot absolute Differenzen h1s3

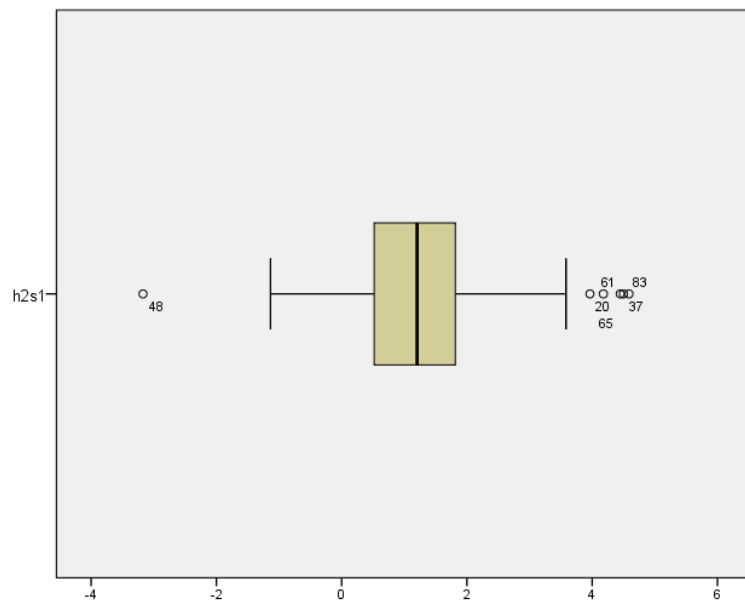


Abbildung 80: Boxplot absolute Differenzen h2s1

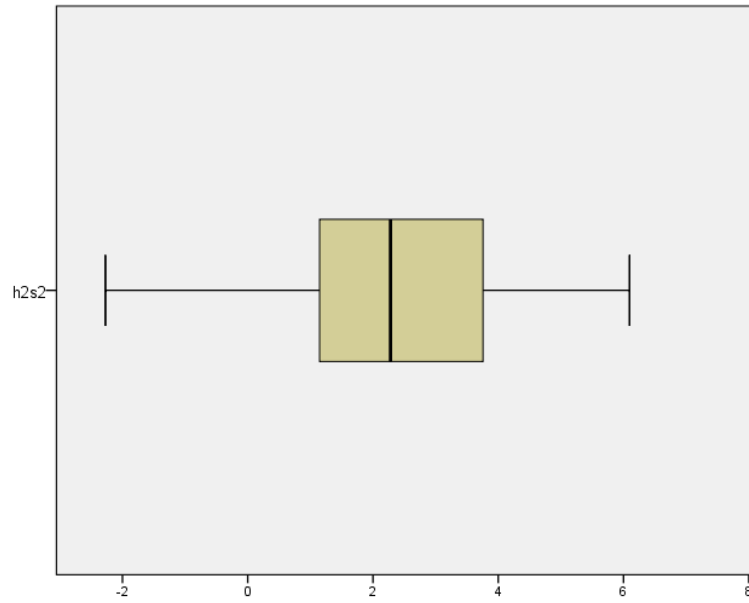


Abbildung 81: Boxplot absolute Differenzen h2s2

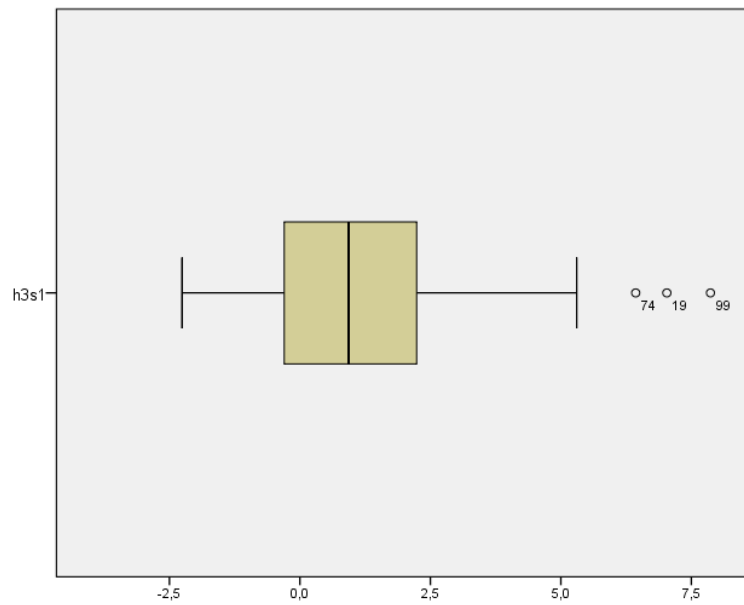


Abbildung 82: Boxplot absolute Differenzen h3s1

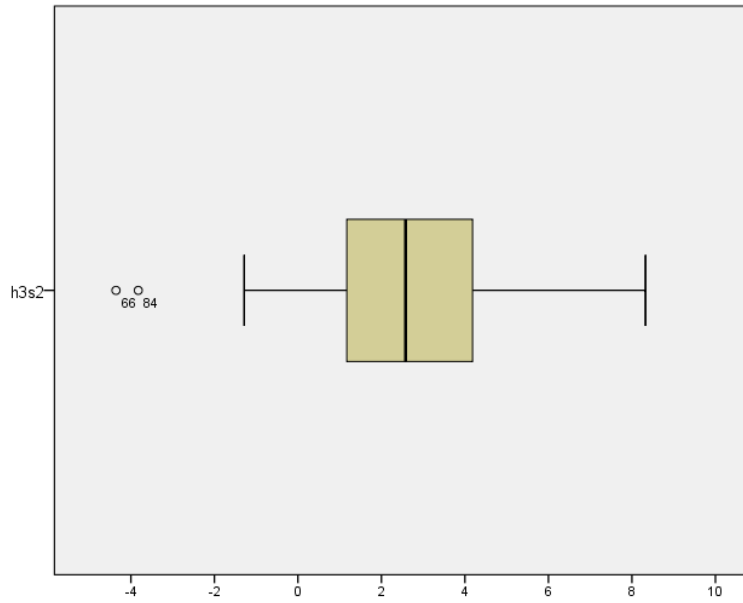


Abbildung 83: Boxplot absolute Differenzen h3s2

11.1.4 Änderung der Gesichtssymmetrie nach anatomischen Regionen

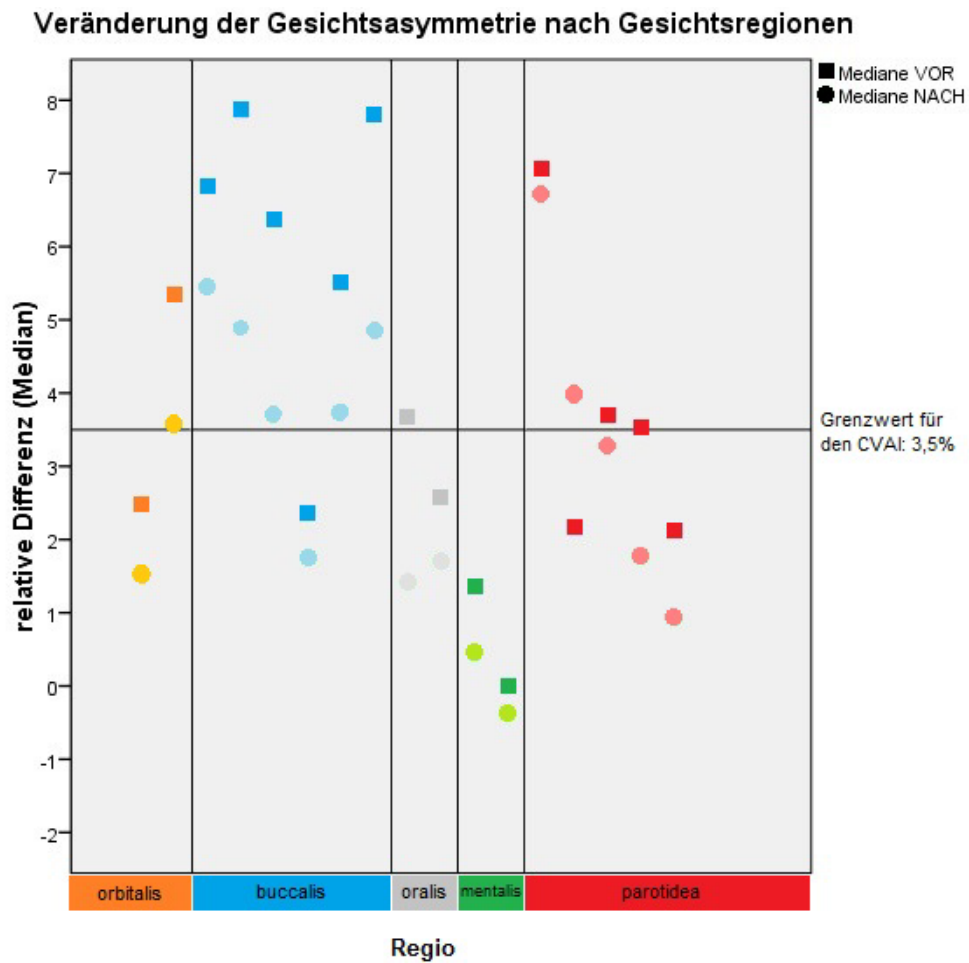


Abbildung 84: Veränderung der Asymmetrie nach anatomischen Gesichtsrregionen (ohne Ausreißer)

11.2 Datentabellen

11.2.1 Normalverteilung der Punktpaardifferenzen

Test auf Normalverteilung transversaler Punktpaardifferenzen

	Shapiro-Wilk					
	Stat. VOR	Stat. NACH	df VOR	df NACH	Sig.VOR	Sig.NACH
X Differenz F1H1	,992	,981	100	100	,831	,167
X Differenz F1H2	,983	,980	100	100	,234	,123
X Differenz F1H3	,809	,843	35	42	,000	,000
X Differenz F2H1	,980	,988	100	100	,122	,510
X Differenz F2H2	,967	,993	100	100	,014	,903
X Differenz F2H3	,963	,986	100	100	,007	,374
X Differenz F3H1	,981	,988	100	100	,161	,488
X Differenz F3H2	,967	,989	100	100	,014	,557
X Differenz F3H3	,991	,989	98	98	,741	,609

Tabelle 24: Test auf Normalverteilung der Punktpaare in transversaler Richtung

Test auf Normalverteilung vertikaler Punktpaardifferenzen

	Shapiro-Wilk					
	Stat. VOR	Stat. NACH	df VOR	df NACH	Sig.VOR	Sig.NACH
Y Differenz F1S1	,924	,869	98	98	,000	,000
Y Differenz F1S2	,802	,818	100	100	,000	,000
Y Differenz F2S1	,985	,980	96	94	,367	,173
Y Differenz F2S2	,977	,980	100	99	,074	,127
Y Differenz F2S3	,905	,961	44	38	,002	,211
Y Differenz F3S1	,989	,966	66	72	,844	,049
Y Differenz F3S2	,989	,990	84	87	,732	,730
Y Differenz F3S3	,957	,950	99	96	,002	,001

Tabelle 25: Test auf Normalverteilung der Punktpaare in vertikaler Richtung

Test auf Normalverteilung sagittale Punktepaardifferenzen

	Shapiro-Wilk					
	Stat. VOR	Stat. NACH	df VOR	df NACH	Sig.VOR	Sig.NACH
Z Differenz H1S1	,981	,981	100	100	,149	,165
Z Differenz H1S2	,989	,976	100	100	,560	,062
Z Differenz H1S3	,985	,970	100	84	,293	,048
Z Differenz H2S1	,951	,965	100	100	,001	,009
Z Differenz H2S2	,984	,990	100	100	,252	,699
Z Differenz H3S1	,981	,954	93	92	,186	,003
Z Differenz H3S2	,960	,991	100	100	,004	,763

Tabelle 26: Test auf Normalverteilung der Punktepaare in sagittaler Richtung

11.2.2 Änderung der Gesichtsasymmetrie

Änderung der Gesichtsasymmetrie nach anatomischen Regionen

Regio		Median VOR	Median NACH	Δ -Median	Δ -Median %
orbitalis	H1S1	2,480	1,557	,985	52,998 %
	H1S2	5,349	3,568	2,023	45,310 %
buccalis	F2H2	6,824	5,445	1,848	30,271 %
	F2H3	7,870	4,898	3,144	39,731 %
	F2S2	6,371	3,701	2,405	38,980 %
	H2S1	2,352	1,752	,603	31,874 %
	H2S2	5,513	3,713	1,310	29,000 %
	H3S2	7,788	4,859	2,654	38,129 %
oralis	F1S1	3,672	1,416	2,456	65,748 %
	H3S1	2,575	1,702	,924	43,152 %
mentalis	F2S1	1,360	,447	1,141	86,238 %
	F3S1	,001	-,380	,216	63,250%
parotidea	F2H1	7,065	6,703	1,448	15,826 %
	F3H1	2,169	3,975	-1,956	-31,928 %
	F3H2	3,695	3,284	,293	15,909 %
	F3H3	3,521	1,769	1,544	64,155 %
	F3S2	2,117	,930	0,815	48,374 %

Tabelle 27: Änderung der Gesichtsasymmetrie nach anatomischen Regionen