

Vergleich von Vermessungsverfahren lagebedingter Schädeldeformitäten bei Säuglingen

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Richard Krüger

aus Frankfurt am Main

Gießen 2021

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

Gutachter: PD Dr. Dr. J.-F. Wilbrand

Gutachter: Prof. Dr. Dr. R. Dettmeyer

Tag der Disputation: 11. November 2021

Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus- Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Klinischer Hintergrund lagebedingter Schädeldeformitäten	6
1.1.1	Einführung	6
1.1.2	Ursachen	8
1.1.3	Prävalenz – Back to Sleep Campaign	10
1.2	Vermessungsverfahren	11
1.2.1	Zirkel- und Maßbandmessung	12
1.2.2	3D-Photogrammetrie	12
1.2.3	Plagiocephalometrie.....	12
1.3	Risiken	13
1.4	Therapie	14
1.5	Problematik	16
1.6	Zielsetzung dieser Arbeit.....	17
1.6.1	Fragestellung 1.....	18
1.6.2	Fragestellung 2.....	18
1.6.3	Fragestellung 3.....	19
2	Material und Methoden	20
2.1	Materialliste	20
2.2	Studiendesign.....	21
2.3	Messpunkte und -distanzen.....	22
2.4	Zirkel- und Maßbandmessung.....	22
2.4.1	Durchführung.....	22
2.4.2	Schweregradeinteilung.....	24
2.5	3D-Photogrammetrie	25
2.5.1	Durchführung.....	25
2.5.2	Schweregradeinteilung.....	27
2.6	Plagiocephalometrie.....	29
2.6.1	Durchführung.....	29
2.6.2	Schweregradeinteilung.....	31
2.7	Statistische Analyse.....	32
2.7.1	Fragestellung 1.....	32
2.7.2	Fragestellung 2.....	33
2.7.3	Fragestellung 3.....	34
3	Ergebnisse	35

3.1	Dauer und Kosten	35
3.1.1	Zirkel- und Maßbandmessung	35
3.1.2	3D-Photogrammetrie	35
3.1.3	Plagiocephalometrie.....	35
3.2	Fragestellung 1	36
3.3	Fragestellung 2	37
3.3.1	Plagiocephalometrie vs. Zirkelmessung	37
3.3.2	3D-Photogrammetrie vs. Plagiocephalometrie	39
3.4	Fragestellung 3	40
4	Diskussion	45
4.1	Hintergrund	45
4.2	Beurteilung der Ergebnisse	45
4.2.1	Fragestellung 1.....	45
4.2.2	Fragestellung 2.....	47
4.2.3	Fragestellung 3.....	55
4.2.3.1	Beurteilung und Vergleich der Schweregradeinteilungen.....	55
4.2.3.2	Beurteilung und Vergleich der Vermessungsverfahren.....	59
4.3	Erkenntnisse der Studie und Einordnung in die Literatur	65
4.4	Schlussfolgerung	67
4.1	Ausblick	68
4.2	Limitationen	69
5	Zusammenfassung	71
6	Summary	73
7	Literaturverzeichnis	75
8	Anhang	81
8.1	Abbildungsverzeichnis.....	81
8.2	Tabellenverzeichnis.....	82
8.3	Abkürzungsverzeichnis.....	83
8.4	Patientenaufklärung	84
8.5	Publikationsverzeichnis	87
9	Danksagung	88

1 Einleitung

1.1 Klinischer Hintergrund lagebedingter Schädeldeformitäten

1.1.1 Einführung

Schädeldeformitäten bei Säuglingen lassen sich aufgrund ihrer zugrundeliegenden Ursache in synostotische und nicht-synostotische Deformitäten einteilen. Ein verfrühter Verschluss der Suturen führt bei Säuglingen zu Kraniosynostosen, deren Behandlung in der Regel operativ erfolgt. Nicht-synostotische Schädeldeformitäten können vielfältige Ursachen haben, zumeist sind sie aber lagebedingt.

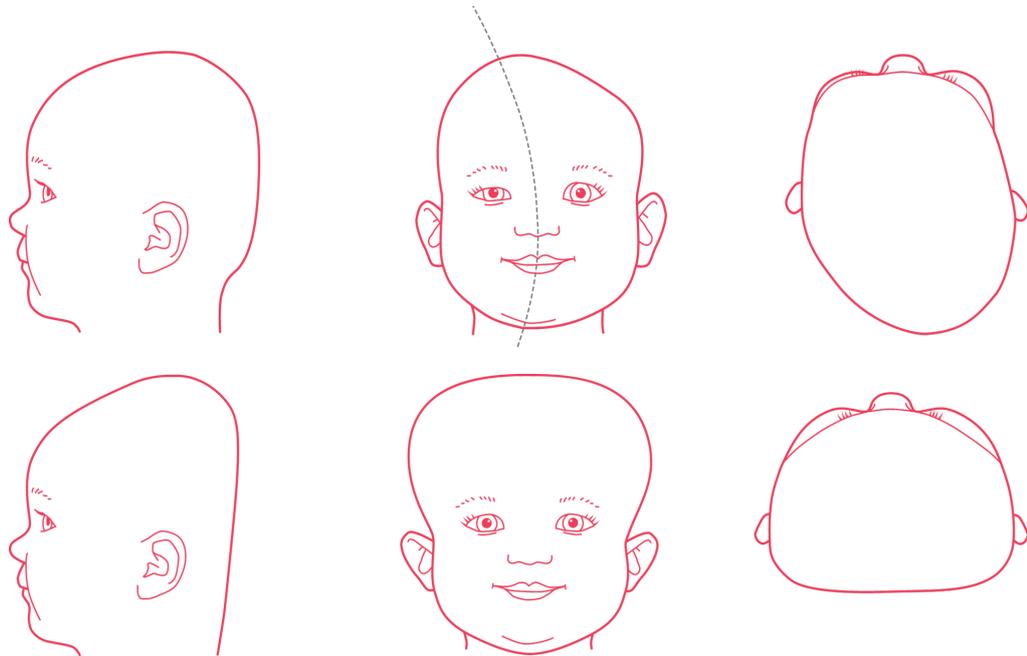


Abbildung 1

oben: schematisches Erscheinungsbild eines Plagiozephalus (laterale Schädelasymmetrie).

unten: schematisches Erscheinungsbild eines Brachyzephalus (längsovale Schädelasymmetrie).

Quelle: <https://www.cranioform.de/fuer-aerzte/indikation.html> - Stand: 14.08.2019.

Lagebedingte Schädeldeformitäten bei Säuglingen lassen sich in laterale Schädelasymmetrien unter dem Begriff der Plagiozephalie und in längsovale Schädelasymmetrien unter dem Begriff der Brachyzephalie zusammenfassen (s. Abbildung 1). Häufig treten diese als Kombinationsdeformitäten auf. In diesem Fall spricht man von einer Plagiobrachyzephalie (Dörhage, 2010b). Argenta klassifizierte

diese Deformitäten 2004 für die Plagiozephalie in die Typen I bis IV und für die Brachyzephalie in die Typen I bis III (s. Abbildung 2), die von Jacco Spermon et al. 2008 als valide klinische Klassifikation von lagebedingten Schädeldeformitäten bestätigt wurde (Argenta, 2004)(Spermon, Spermon-Marijnen and Scholten-Peeters, 2008).

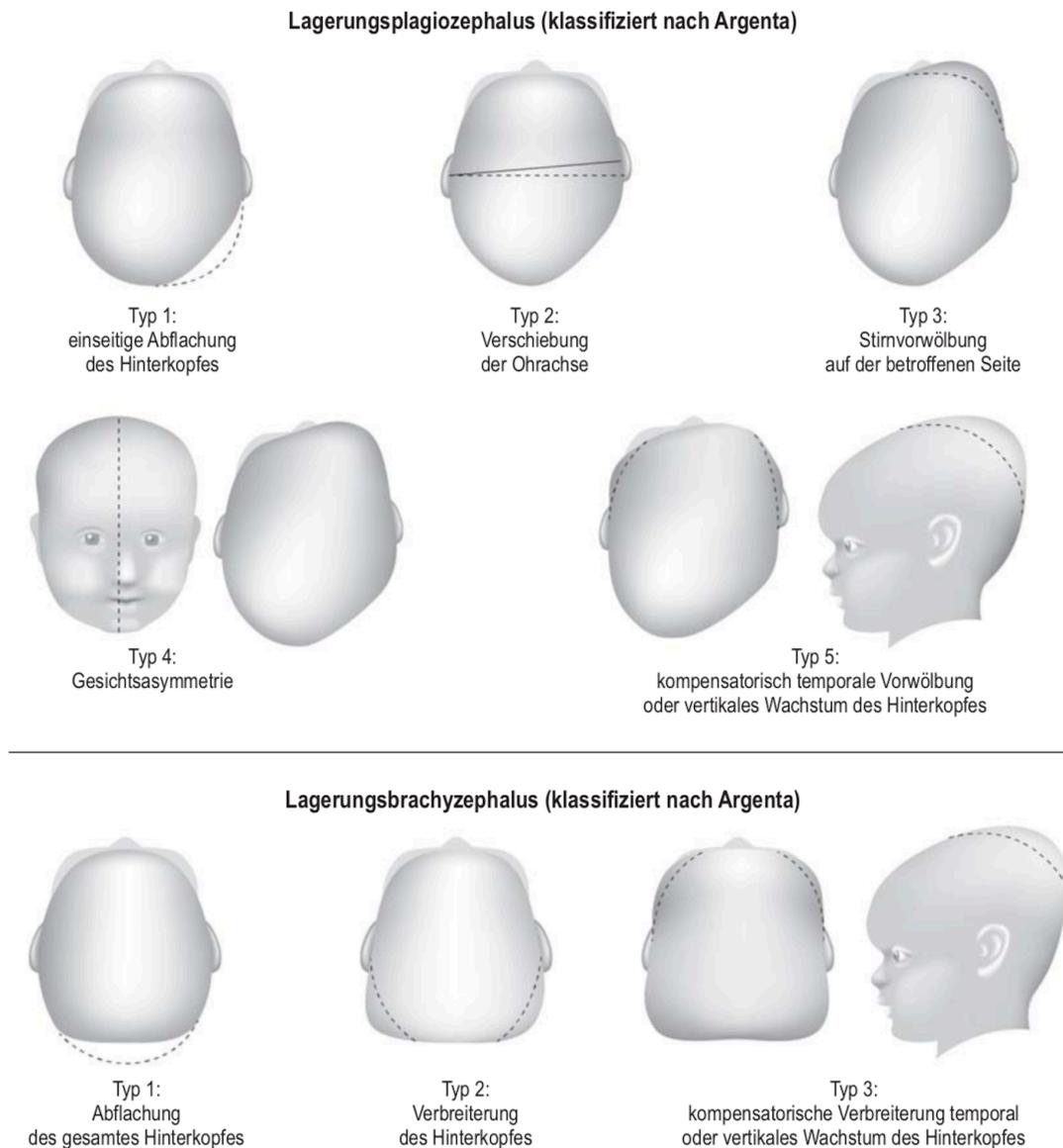


Abbildung 2

Klassifikation lagebedingter Schädeldeformitäten nach Argenta (Argenta, 2004).

Quelle: <https://www.aerzteblatt.de/archiv/192646/Lagerungsbedingte-Schaedeldeformitaeten>

Stand: 30.09.2019 (Linz *et al.*, 2017).

1.1.2 Ursachen

Wichtigste Faktoren für eine lagebedingte Plagiozephalie sind nach breitem Erkenntnisgewinn mehrerer Studien: männliches Geschlecht, Primipara, vaginal-assistierte Entbindung (Forceps oder Vakuumextraktion) und kindliche Halsprobleme, wie z. B. ein Schiefhals (Torticollis) (Bialocerkowski, Vladusic and Wei Ng, 2008).

Weitere Faktoren für die Entstehung lagebedingter Plagiozephalien sind: Brachyzephalie, Stillmethode, Kopfposition bei Flaschenernährung, Entwicklungsverzögerung, Bauchlage, wenn das Kind weniger als dreimal pro Tag und weniger als fünf Minuten am Stück wach ist, sowie Schlafposition in Rückenlage, kleiner Kopfumfang und fortgeschrittenes mütterliches Alter (van Vlimmeren *et al.*, 2007)(Linz *et al.*, 2017)(Dörhage, 2010b)(Ballardini *et al.*, 2018).

Ähnlich wie ein mit Wasser gefüllter Luftballon führt die Schwerkraft bei gleichbleibender Lagepräferenz von Säuglingen zur brachy- und oder plagiozephalen Verformungen des Hinterkopfes (s. Abbildung 3) (Dörhage, 2010b).

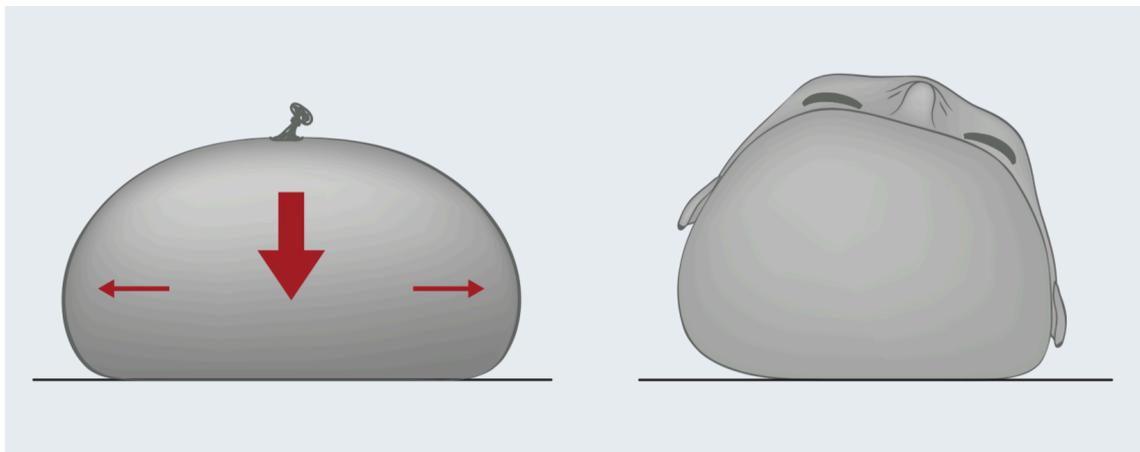


Abbildung 3

Illustration, wie die einseitige Druckbelastung durch Schwerkraft auf den kindlichen Kopf zu asymmetrischen Schädeldeformitäten bei Neugeborenen führen kann. Zum Verständnis dient der Vergleich mit einem wassergefüllten Ballon, der auf eine gerade Oberfläche gelegt wird.

Quelle: „Ursache und Diagnostik der lagebedingten Plagiozephalie“ - K. Dörhage (2010) (Dörhage, 2010b).

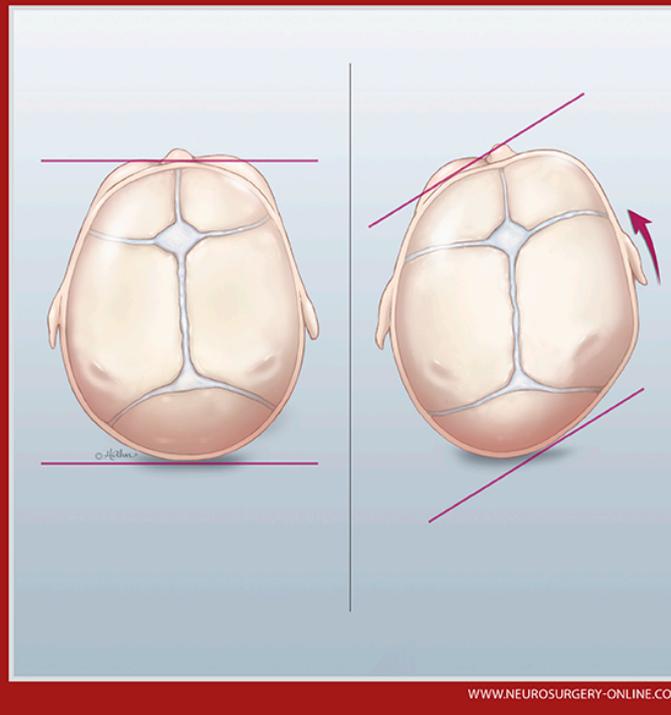


Abbildung 4

Illustration der parallelogrammartigen Verschiebung von knöchernen Schädelstrukturen und einhergehender Ohrverschiebung bei Plagiozephalie.

Quelle: Mazzola, C. *et al.* Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guideline for the Diagnosis of Patients With Positional Plagiocephaly. *Neurosurgery* 79, E625–E626 (2016) (Mazzola *et al.*, 2016).

Auch das Frontcover des Journal „Neurosurgery“ von November 2016 veranschaulicht durch Zuhilfenahme von parallelen Linien die parallelogrammartige Verschiebung von symmetrischen hin zu asymmetrischen knöchernen Strukturen des kindlichen Schädels, die wir Plagiozephalie nennen (s. Abbildung 4)(Mazzola *et al.*, 2016).

Zusammenfassend kann zu den Ursachen lagebedingter Schädeldeformitäten gesagt werden, dass muskuläre Imbalancen, die bevorzugte Rückenlagerung und einseitige Lagepräferenz von Säuglingen zu lagebedingten nicht-synostotischen Schädeldeformitäten führen können.

1.1.3 Prävalenz – Back to Sleep Campaign

Im April 1992 führte die American Academy of Pediatrics mit der „*Back to Sleep Campaign*“ – heute „*Safe to Sleep Campaign*“ – die Empfehlung zur kindlichen Positionierung in Rückenlage während des Schlafs zur Verringerung der Rate des Plötzlichen Kindstodes (*Sudden Infant Death Syndrome* - SIDS) ein (s. Abbildung 5). Zum selben Zeitpunkt wurde ein Anstieg der Inzidenz für lagebedingte Schädeldeformitäten in den Vereinigten Staaten von Amerika festgestellt (Argenta *et al.*, 1996)(Turk *et al.*, 1996). Graham *et al.* beschrieben in ihrer Studie von 2005, dass die Inzidenz für lagebedingte Schädeldeformitäten von 1:300 im Jahr 1979 auf 1:60 im Jahr 1996 anstieg (Graham *et al.*, 2005).

Place Babies on their Backs to Sleep.



Abbildung 5

Empfehlung zur Rückenlagerung von Säuglingen zur Verhinderung des Plötzlichen Kindstods durch die Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin e. V.. Die Abbildung illustriert die bessere Atemsituation des Säuglings während des Schlafens bei Rückenlage (*back sleeping*) im Vergleich zur Bauchlage (*tummy sleeping*) durch geringere Aspirationsgefahr bei Reflux aufgrund tieferliegendem Ösophagus im Vergleich zur Luftröhre, vereinfachter Thoraxatenausdehnung und vermindertem Risiko, dass Mund und Nase verdeckt werden.

Quelle: <http://www.geburtszeit.com/baby-das-auf-dem-bauch-schlaeft-wann-ist-es-sicher-und-was-sind-die-risiken/> - Stand: 22.08.2019.

Die Prävalenz von lagebedingten Schädeldeformitäten wird in der Literatur jedoch uneinheitlich genannt. Ballardini *et al.* geben in ihrem Paper von 2018 eine Prävalenz der lagebedingten Plagiozephalie bei Säuglingen im Alter von acht bis zwölf Wochen von

37,8 % an (Ballardini *et al.*, 2018). Peitsch *et al.* beschrieben 2002 hingegen eine lagebedingte kraniale Abflachung bei 13 % der neugeborenen Einlinge (Peitsch *et al.*, 2002). Einig scheinen sich die Autoren jedoch in Bezug auf lagebedingte Schädeldeformitäten vor allem in ihrer Altersabhängigkeit mit einem Punctum maximum im Alter von vier bis sechs Monaten zu sein (Bialocerkowski, Vladusic and Wei Ng, 2008). Hutchison nannte 2004 eine maximale Prävalenz von 19,7 % im Alter von vier Monaten und einen anschließenden Abfall bis zur Zwei-Jahres-Punkt-Prävalenz von 3,3 % und einer insgesamt Zwei-Jahres-Prävalenz von 29,5 % (Hutchison, 2004).

Als Grund für diese unterschiedlichen Prävalenzen gaben Ballardini *et al.* 2018 uneinheitliche Messmethoden und Definitionen sowie den variierenden klinischen Verlauf von lagebedingten Schädeldeformitäten mit der Zeit an (Ballardini *et al.*, 2018).

1.2 Vermessungsverfahren

Die Verfahren zur Vermessung von Schädeldeformitäten entwickelten sich von direkten anthropometrischen über direkte und indirekte zwei-dimensionale (2D) zu dreidimensionalen (3D) Messmethoden, die einem Untersucher zur Evaluation von Schädeldeformitäten zur Verfügung stehen. Hier sollen einige Beispiele genannt werden, wie:

- die Verwendung eines Bleilineals zur formstabilen Reproduzierung der Kopfform des Säuglings nach Anlegen und vorsichtigem Abnehmen vom Schädel, sowie anschließendem Abzeichnen auf Papier nach dem Prinzip einer Schablone zur indirekten zwei-dimensionalen Vermessung in 2001 (Loveday and de Chalain, 2001).

- ein nicht-augenschädlicher „Laser Shape Digitizer“ für eine drei-dimensionale Vermessung von kindlichen Schädeldeformitäten, publiziert in 2006 (Plank *et al.*, 2006).

- die 2013 entwickelte und vollständig digitale Software-basierte Untersuchungsmethode von Computer-Tomographie-Bildern zur Evaluation von kranialen Symmetrien namens MATLAB tool (Bernhardt *et al.*, 2013).

Die jedoch derzeit gängigsten Messverfahren zur Evaluation lagebedingter Schädeldeformitäten werden im Folgenden genannt.

1.2.1 Zirkel- und Maßbandmessung

Die Zirkel- und Maßbandmessung ist eine einfach durchzuführende und direkte zwei-dimensionale Messmethode von Schädeldeformitäten. Dabei wird zunächst mit einem Zentimeter-Maßband der Schädelumfang und anschließend mittels anthropometrischem Beckenzirkel die Schäfeldistanzen Länge, Breite und die beiden Schäeldiagonalen gemessen (Wilbrand *et al.*, 2011).

1.2.2 3D-Photogrammetrie

Die drei-dimensionale-(3D)-Photogrammetrie ist eine heutzutage vielfach angewandte und bewährte Messmethode zur Untersuchung von Schädeldeformitäten bei Säuglingen. Da es sich bei den lagebedingten Schädeldeformitäten um eine dreidimensionale Verformung des Schädels handelt, kann ein dreidimensionales Messverfahren besonders gut Asymmetrien abbilden (Dörhage, 2010a). Dazu wird ein Kamerasystem verwendet, das ein 360°-Bild innerhalb von 1,5 Millisekunden aufnimmt und dem Untersucher digital zur Verfügung stellt. Es können im Anschluss unter Verwendung einer Software am Computer sog. *landmarks* an definierten Kopfpunkten gesetzt und Strecken, Winkel, Oberflächen und Volumina berechnet werden. Die etablierten Verfahren der 3D-Photogrammetrie führen zu klinisch und statistisch signifikant verlässlichen Ergebnissen (Weinberg *et al.*, 2006).

1.2.3 Plagiocephalometrie

Ähnlich wie bei der zuvor beschriebenen Verwendung eines Bleilineals zur Reproduktion kindlicher Kopfformen wird bei der Plagiocephalometrie ein thermoplastisches Band zur indirekten zwei-dimensionalen Vermessung kindlicher Schädel verwendet. Der thermoplastische Kunststoffstreifen wird zunächst in einem heißen Wasserbad formbar gemacht und erhärtet nach Anlage an den kindlichen Kopf durch Abkühlung, so dass er die Kopfform in der untersuchten waagerechten Linie abbildet. Dann wird der so entstandene Kunststoffring auf Papier kopiert. Anschließend können die Vermessungen und Berechnungen von Schädelparametern erfolgen (Van Vlimmeren *et al.*, 2006).

1.3 Risiken

Anfang der 1960er Jahre waren die Gründe für Plagiozephalie weitestgehend unbekannt. Die "Kondition" der Plagiozephalie wurde in einer Publikation von Danby 1962 als "klinisch unwichtig" bezeichnet (Danby, 1962).

Dane St. John et al. wiesen hingegen in ihrer Studie von 2002 darauf hin, dass Asymmetrien des Unterkiefers Folge der Rotation der Schädelbasis sind und im unmittelbaren Zusammenhang mit posteriorer Plagiozephalie stehen. Es wird vermutet, dass solche Deformitäten zu fehlerhafter Verzahnung (Dysgnathie) und demzufolge zu einer frühzeitigen Kiefergelenksarthrose sowie zu langfristigen Problemen im Bereich des Halteapparates (Halswirbelsäule) führen können. Sie legten jedoch auch dar, dass eine Helmtherapie zur Korrektur dieser Deformität zwar die Plagiozephalie, jedoch nicht die Kieferasymmetrie behandelt, da diese Therapie weder zu einer Manipulation an der Schädelbasis noch am Kiefer führt (St. John *et al.*, 2002).

Dörhage stellte 2010 heraus, dass die lagerungsbedingten Schädeldeformitäten eine nicht unerhebliche ästhetische und psychosoziale Belastung der Eltern und Benachteiligung der Kinder mit sich bringen. So tragen die Symmetrie des Körpers und des Gesichts maßgeblich zum Verständnis von Schönheit bei. Schönen Kindern wird häufiger Empathie durch ihre Eltern, Dritte und Spielkameraden entgegengebracht. Auch im weiteren Verlauf des Lebens werden schönere Menschen beispielsweise in Vorstellungsgesprächen bevorzugt behandelt (Dörhage, 2010a)(Hönn and Göz, 2007).

Collet et al. legten in ihrer jüngsten Studie von 2019 dar, dass Säuglinge mit moderater oder schwerer Plagiozephalie als Schulkinder signifikant schlechtere kognitive und akademische Leistungen aufwiesen als Kinder ohne oder mit milder Plagiozephalie (Collett *et al.*, 2019).

Schädelasymmetrien stellen also nicht nur ein körperliches, sondern auch ein psychosoziales Risiko für betroffene Kinder und ihre Angehörigen dar.

1.4 Therapie

Bei der Frage nach einer möglichen Therapie von lagebedingter Schädeldeformität stehen sich zwei etablierte Verfahren als Antwort gegenüber: die manuelle Physiotherapie mittels aktiver Kopfmobilisierung des Kindes auf der einen und die Helmtherapie mittels Kopforthese auf der anderen Seite. Deren jeweilige Befürworter widersprechen sich in ihren Aussagen über die höhere Behandlungseffektivität der Methoden:

Physiotherapie sei der Helmtherapie zur Behandlung der Plagiozephalie als gleichwertig anzusehen (Loveday and de Chalain, 2001)(van Wijk *et al.*, 2014a),

die Helmtherapie sei der Physiotherapie zur Behandlung der Plagiozephalie überlegen (Graham *et al.*, 2005)(Mulliken *et al.*, 1999)(Wilbrand *et al.*, 2016).

Van Vlimmeren *et al.* stellten als ursprüngliche Befürworter der Physiotherapie in einer Studie von 2017 heraus, dass die manuelle Physiotherapie bei schweren lagebedingten Schädeldeformitäten zwar zu einer rascheren Normalisierung innerhalb weniger Monate führt aber nicht das *Longterm-outcome* der untersuchten Kinder verbessert (van Vlimmeren *et al.*, 2017). Dies stellt die Effektivität der Physiotherapie in Frage.



Abbildung 6

links: Helmtherapie mittels Kopforthese bei Plagiozephalie.

rechts: Dehnung des Musculus sternocleidomastoideus durch manuelle Physiotherapie bei Plagiozephalie. Mit freundlicher Genehmigung und Bereitstellung der Bilder durch die Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen.

Dem zugrunde liegt das grundsätzliche Verständnis, wie sich Schädeldeformitäten und zervikale Bewegungseinschränkungen gegenseitig bedingen. Fehlhaltung des kindlichen Kopfes, z. B. bedingt durch einen Torticollis, führt zu der einseitigen Fehlbelastung auf den kindlichen Kopf und so zur Plagiozephalie. Unter dieser Schädeldeformität entwickeln sich die unterbeanspruchten zervikalen Strukturen, wie z. B. der Musculus sternocleidomastoideus, zurück bzw. sie verkürzen. Dies verstärkt wiederum die Kondition eines Torticollis und schließlich den Schweregrad der Plagiozephalie. Es entwickelt sich also ein *circulus vitiosus*. Die Physiotherapie soll zur erhöhten Bewegungsfreiheit des kindlichen Halses und damit zur einhergehenden Behandlung der dadurch bedingten Schädeldeformität führen. Erst wenn die Schädeldeformität so imponierend ist, dass der Säugling nicht mehr dazu in der Lage ist, den Kopf aus der Zwangshaltung selbstständig herauszubewegen, ist die absolute Indikation für eine Kopforthese zu stellen. Es ist jedoch strittig, ab wann eine relative Indikation zur Helmtherapie gestellt werden muss (Loveday and de Chalain, 2001)(van Wijk *et al.*, 2014a)(Dörhage, 2010a, 2010b).

Das etablierte Therapiekonzept lagebedingter Schädeldeformitäten der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen wird im Folgenden beschrieben.

Das ungefähre Alter von fünf Monaten eines Säuglings wird abgewartet bevor zu einer Therapie mittels Kopforthese geraten wird. Bis zu diesem Alter wird versucht, die spontane Verbesserung der kranialen Situation durch manuelle Physiotherapie sowie unter Zuhilfenahme von speziellen Lagerungskissen/-keilen zu erreichen.

Während bei der Physiotherapie versucht wird, durch Dehnung verkürzter Strukturen und Lösung von Blockaden die Bewegungsfreiheit zu erhöhen und damit einseitige Druckbelastungen zu vermeiden, lässt der Helm unabhängig von der Lagerungsposition des Kopfes gezielt an den Stellen Platz, wo der kindliche Kopf weiterwachsen soll (s. Abbildung 7). Er lässt dort keinen Platz, wo der Schädel nicht weiterwachsen soll. Die Therapiedauer liegt bei fünf bis sechs Monaten und impliziert das Tragen des Helmes 23 Stunden pro Tag (Graham *et al.*, 2005)(Mulliken *et al.*, 1999)(Wilbrand *et al.*, 2016) (Dörhage, 2010a, 2010b).

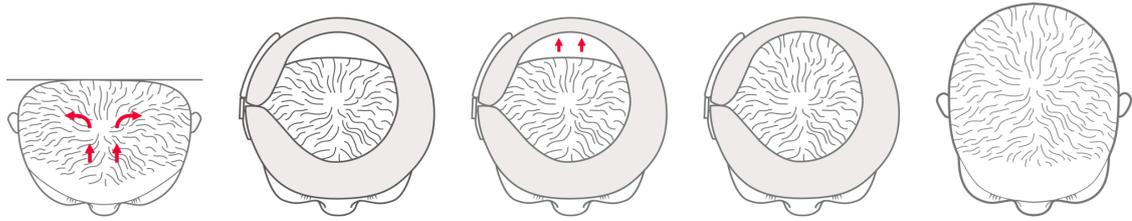


Abbildung 7

Wirkmechanismus der Helmtherapie.

Quelle: <https://www.cranioform.de/fuer-aerzte/indikation.html> - Stand: 14.08.2019.

Wie Linz et al. 2017 im „Deutschen Ärzteblatt“ berichteten, existiert in Deutschland bislang keine evidenzbasierte Leitlinie zur Therapie von lagebedingten Schädeldeformitäten (Linz *et al.*, 2017).

1.5 Problematik

In der Ursachenanalyse von lagebedingten Schädeldeformitäten wird der Torticollis als Grund für mangelnde Bewegungsfreiheit des kindlichen Halses genannt. Es führen aber uneinheitliche Untersuchungen zur Feststellung und uneinheitliche Definitionen eines Torticollis zu stark variierenden Zahlen von Diagnosestellungen (Pivar and Scheuerle, 2006).

In dem Review-Paper von Bialocerkowski et al. von 2008 wurden Studien zur Plagiozephalie evaluiert. Darin wurde festgestellt, dass die eingeschlossenen Studien uneinheitliche Untersuchungsverfahren nutzten, um eine Plagiozephalie zu vermessen (Bialocerkowski, Vladusic and Wei Ng, 2008).

Mcgarry et al. wiesen 2008 auf differierende Terminologie, Bezeichnungen und inadäquate methodische Qualitäten der Studien zu lagebedingten Schädeldeformitäten hin (Mcgarry *et al.*, 2008).

Di Rocco et al. forderten 2012 eine einheitliche Klassifikation für anteriore Plagiozephalie (Di Rocco *et al.*, 2012).

Der besonders häufig zur Evaluation von asymmetrischen Schädeldeformitäten verwendete *cranial vault asymmetry index* (CVAI) wurde zunächst von Loveday und De Chalain 2001 erstmals beschrieben und definiert. Der Erstbeschreibung nach wird der

CVAI wie folgt berechnet: $(\text{Diagonale A} - \text{Diagonale B}) \times 100 / \text{Diagonale B}$; wobei $\text{Diagonale A} > \text{Diagonale B}$) (Loveday and de Chalain, 2001). Dieser Index wurde nachfolgend international akzeptiert und angewendet (Yin, Dong and Yang, 2015)(Freudlsperger *et al.*, 2016)(Lee, Kim and Kwon, 2018)(Di Rocco *et al.*, 2019)(González-Santos *et al.*, 2020)(Wen *et al.*, 2020)(Kim *et al.*, 2020). Es ist wichtig zu beachten, dass hierbei die Differenz der Diagonalen durch den Betrag der kürzeren Schädeldiagonale geteilt wird. In vielen anderen Publikationen, welche ebenfalls international anerkannt und in gut positionierten Journals veröffentlicht wurden, wird jedoch hingegen bei der Berechnung des CVAI die Differenz der Schädeldiagonalen mit 100 multipliziert und durch die längere Schädeldiagonale geteilt: $\text{CVAI} = (\text{Diagonale A} - \text{Diagonale B}) \times 100 / \text{Diagonale A}$; wobei $\text{Diagonale A} > \text{Diagonale B}$) (Graham *et al.*, 2005)(Kim, Kwon and Park, 2014)(Linz *et al.*, 2017)(Wolf, 2017)(Graham *et al.*, 2020)(Foster *et al.*, 2020). Einige Autoren legen in ihren Arbeiten nicht dar, ob sie bei der Berechnung des CVAI die längere oder die kürzere Diagonale als Divisor verwendet haben (Çevik, Işık and Özkılıç, 2020). Dadurch ist die Verwirrung auf dem Weg zu einer standardisierten Erfassung kindlicher Schädeldeformitäten noch zusätzlich gewachsen und die Klassifizierung zu einer großen Herausforderung geworden.

Ein Problem der aktuellen Forschung zur lagebedingten Plagiozephalie besteht also darin, dass Definitionen von Schädeldeformitäten und Indices, Messmethoden, Behandlungsindikationen und Schweregradeinteilungen international – teilweise sogar auf nationaler Ebene – uneinheitlich sind (Wilbrand *et al.*, 2014)(Pivar and Scheuerle, 2006)(Christofides and Steinmann, 2010)(Bialocerkowski, Vladusic and Wei Ng, 2008)(Di Rocco *et al.*, 2012).

1.6 Zielsetzung dieser Arbeit

Wissenschaftliche Untersuchungen zu lagebedingten kindlichen Schädeldeformitäten, die seit der Empfehlung der internationalen kinderärztlichen Gesellschaften zum sicheren Babyschlaf ausschließlich in Rückenlage in hohem Maße zunehmen, kranken vor Allem daran, dass die Vergleichbarkeit der erhobenen und in multiplen Publikationen veröffentlichten Daten bislang nicht gegeben ist. Im Laufe der Jahre entwickelten viele Zentren unterschiedliche Methoden, um kindliche Schädeldeformitäten zu analysieren und sie nachfolgend einem Schweregrad zuzuordnen. Die Analyse der Kopfform findet unter Anderem z. B. weiterhin rein nach dem klinischen Bild statt (Klassifikation nach

Argenta) oder sie wird mittels Laserscannern oder mit einfachen anthropometrischen Beckenzirkeln erhoben. Es existieren zudem hochaufwändige Apparate und Softwarealgorithmen, die an unterschiedlichen Strecken, Winkel und Volumina untersuchen und damit die vorliegende Deformität möglichst objektiv darstellen sollen.

Demzufolge variieren national wie international die Einschätzungen und die individuell getroffenen Handlungsempfehlungen zur Beseitigung dieser Schädeldeformitäten bis heute.

Eine in vielen Publikationen – insbesondere aus den Niederlanden – angewandte Methode zur Vermessung und Schweregradeinteilung kindlicher Schädeldeformitäten ist die so genannte Plagiocephalometrie. Sie steht im Kontrast zu der am Gießener Universitätsklinikum angewandten Vermessungsmethode mit millimeterskalierten Messzirkeln und der Anfertigung eines dreidimensionalen photogrammetrischen Kopfscans, welcher halbautomatisiert die Kopfform auswertet. Die hier vorliegende Arbeit soll einen Beitrag leisten, diese beiden international anerkannten Methoden zu überprüfen und somit die Möglichkeit schaffen, in diesem Zusammenhang erhobene Daten zu kindlichen Schädeldeformitäten, die mit unterschiedlichen Messmethoden generiert wurden, auch miteinander vergleichen zu können.

Ziel dieser Arbeit ist es daher:

1.6.1 Fragestellung 1

die Plagiocephalometrie ohne Einbeziehung anderer Vermessungsmethoden auf ihre Untersucherunabhängigkeit hin durch Ermittlung ihrer Intraratervariabilität (Wiederholbarkeit) und Interratervalidität (Reproduzierbarkeit) zu untersuchen.

1.6.2 Fragestellung 2

den *cranial index* (CI) sowie den *cranial vault asymmetry index* (CVAI) für die einzelnen gemessenen Parameter der Plagiocephalometrie zu bilden und mit denen der Zirkelmessung und der 3D-Photogrammetrie zu vergleichen.

1.6.3 Fragestellung 3

zu untersuchen, ob die Verwendung der drei Messverfahren unter der Anwendung ihrer eigenen zugehörigen Schweregrad-Klassifikationstabellen für Plagio- und Brachyzephalie bei der Patientenkohorte zu unterschiedlichen Behandlungsindikationen führt.

2 Material und Methoden

2.1 Materialliste

Schädelumfangmessungen wurden vorgenommen mit dem „Basic Quality“-Maßband Special der Firma Hoechstmass Balzer GmbH (Wiesenstr. 13, 65843 Sulzbach 19 mm x 150 cm, einseitig farbige Dezimetereinteilung, cm/cm, ref. 59102).

Die Zirkelmessungen wurden durchgeführt mit dem Messzirkel der Firma Aesculap AG & Co KG mit Millimetereinteilung (Aesculapplatz 1, 78532 Tuttlingen, Art.Nr. AA842R).

Die dreidimensionale Photogrammetrie wurde erstellt mit dem 3D-Fotosystem 5-pod Vectra M3 der Firma Canfield Scientific (Canfield Scientific GmbH, Otto-Brenner-Str. 203, 33604 Bielefeld)

Die kindliche Positionierung während der 3D-Photogrammetrie wurde ermöglicht durch den Bumbo-Kindersitz der Firma Wartburg Enterprises Inc. (11392 Ward Road, Conroe, Texas 77306, United States).

Die digitale Vermessung der Schädelparameter sowie die Herstellung der Kopforthesen wurde anhand der Daten der 3D-Photogrammetrie mithilfe der Software Cranioform Analytics 4.0 der Firma Cranioform AG (Industriestraße 23,6055 Alpnach, Schweiz) vorgenommen.

Die Plagiocephalometrie wurde durchgeführt mit dem Untersuchungspaket inklusive thermoplastischer Streifen der Maße: Länge 45,3 cm, Breite 1,8 cm und Dicke 0,32 cm der Firma EKWIP (Lavasveld 38, 5467 KR Veghel, The Netherlands).

Die statistische Analyse wurde erarbeitet mit dem Statistikprogramm SPSS (released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0.) der Firma IBM Corp. (1 New Orchard Road, Armonk, New York 10504-1722, United States).

2.2 Studiendesign

In dieser prospektiven Untersuchung wurden 51 Säuglinge eingeschlossen. Diese wurden im Rahmen der sog. „Helmsprechstunde“ der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität Gießen vorstellig. Aufmerksam auf die Sprechstunde der Poliklinik wurden die Eltern der betroffenen Kinder in der Regel entweder durch Informationsanzeigen der Universitätsklinik oder aufgrund einer Überweisung durch Kinder- oder Allgemeinärzte zur weiteren Abklärung möglicher Schädeldeformitäten und Behandlungsindikationen zur Physio- und/oder Helmtherapie. Zuvor wurde die Studie mit dem Aktenzeichen 150/17 durch das Votum vom 20. November 2017 der Ethik-Kommission des Fachbereichs Humanmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen genehmigt. Zur Konsistenz der Messungen wurden die Kinder zufällig in der Reihenfolge ihrer Vorstellung in der „Helmsprechstunde“ in einem Zeitraum von zwei Monaten ausgewählt. Dabei wurden die Vermessungen ohne Ansehen der Art der Schädeldeformität (Plagiozephalie, Brachyzephalie oder Plagiobrachyzephalie) und unabhängig davon durchgeführt, ob die Kinder zur Erst- oder Nachuntersuchung vorstellig wurden. In etwa 85 % der Fälle stimmten die Eltern eines zu untersuchenden Kindes dabei der Teilnahme an der Studie und den damit einhergehenden Vermessungen außerhalb der im Protokoll der Helmsprechstunde festgeschriebenen Untersuchungen zu. In dieser Studie wurden nur Daten berücksichtigt für deren Verwendung zuvor das Einverständnis eingeholt wurde. Im Rahmen der Untersuchungen wurden dann Zirkel- und Maßbandmessung in einem Raum durch wechselnde, erfahrene behandelnde Ärzte durchgeführt. In einem anderen Zimmer erfolgte zunächst die 3D-Photogrammetrie und anschließend die Plagiocephalometrie mit thermoplastischem Band ausschließlich durch den Verfasser dieser Arbeit mit Assistenz wechselnden Personals der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität Gießen. Insgesamt hielten sich dazu die Eltern mit ihrem Kind für die Vermessungen, Aufklärung und die Beantwortung von Fragen in etwa eine dreiviertel Stunde exklusive von evtl. Wartezeit in den Untersuchungsräumlichkeiten der Poliklinik auf. Die Erfassung aller Daten wurden tabellarisch mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel (Versionen 2011 und 2019) erfasst und wie in der Patientenaufklärung festgeschrieben pseudonymisiert (s. Anhang).

Von den 51 untersuchten Säuglingen waren zwölf weiblich und 39 männlich, was in etwa der regulären Geschlechterverteilung von Säuglingen mit lagebedingten Schädeldeformitäten von männlich drei zu eins weiblich entspricht (Bialocerkowski, Vladusic and Wei Ng, 2008).

Das Alter des jüngsten untersuchten Kindes betrug 3,63 Monate (109 Tage) und das des ältesten untersuchten Kindes betrug 12,67 Monate (380 Tage). Das durchschnittliche Alter (arithmetisches Mittel) der untersuchten Säuglinge betrug 5,27 Monate (175,76 Tage).

Da die Kinder nach erfolgter Plagiocephalometrie meist unruhig und wehrig waren, entschied der Verfasser dieser Arbeit, die Plagiocephalometrie an das Ende der Untersuchungsreihe zu stellen, um die bis dahin bestehende ruhige Arbeitsatmosphäre für Personal, Eltern und Kinder nicht unnötig frühzeitig zu stören. An den Beginn der Messreihe wurde die Zirkel- und Maßbandmessung gestellt, da in diesem Rahmen die Eltern in Ruhe im Gespräch über den weiteren Vorgang der Messreihe und mögliche Therapien aufgeklärt werden konnten. Es folgte die 3D-Photogrammetrie. Anschließend an die letzte Vermessung mit der Plagiocephalometrie verließen die Eltern mit ihrem Kind die Räumlichkeiten der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität Gießen.

2.3 Messpunkte und -distanzen

Jedes Kind wurde nach standardisierten Untersuchungsprotokollen mit allen drei Messverfahren vermessen, und sodann wurden die ermittelten Werte mit Tabellen zur Schweregradeinteilung des jeweiligen Messverfahrens eingeordnet. Dabei wurde der Cutoff für eine Behandlungsindikation je nach Messmethode und Tabelle zur Schweregradeinteilung gesetzt.

2.4 Zirkel- und Maßbandmessung

2.4.1 Durchführung

Jedes Kind wurde exakt nach dem Untersuchungsprotokoll von Wilbrand et al. von 2011 untersucht (Wilbrand *et al.*, 2011). Dazu wurde das Kind auf den Schoß der Mutter / des Vaters mit Blickrichtung zum Untersucher gesetzt. Zunächst wurde auf Höhe der Augenbrauen mittels Maßbandes der Kopfumfang gemessen. Dabei bedeckte das

Maßband die kindlichen Augenbrauen vollständig und wurde dann parallel zur Frankfurter Horizontalen an den Kopf angelegt. Eine Verkippung nach oben oder unten abweichend von der Horizontalen sollte dabei unbedingt vermieden werden.



Abbildung 8

von links nach rechts: Zirkelmessungen der Distanzen anterior-posterior (AP), sinistra-dextra (SD) und oblique diameter right (ODR), sowie Messung des Kopfumfanges mit Maßband.

Mit freundlicher Genehmigung und Bereitstellung der Bilder durch die Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen.

Anschließend wurden mittels Beckenzirkel anthropometrische Messungen des Kinderschädels vorgenommen (s. Abbildung 8). Die Länge (AP) wurde von Glabella zu Opistocranium, die Breite (SD) von Eurion zu Eurion – etwa einen Zentimeter kranial des Otobasion-superior-Punktes – gemessen. Die lateralen Diagonalen wurden von der lateralen Oberkante der Augenbraue des Säuglings (fronto-temporaler Punkt – ft) horizontal zur Lambdanaht der Gegenseite gemessen. Die Diagonale von links okzipital nach rechts frontal wurde dabei als *oblique diameter left* (ODL) und die von rechts okzipital nach links frontal gemessene Diagonale als *oblique diameter right* (ODR) bezeichnet. Ihre Differenz wurde *oblique diameter difference* (ODD) – Synonym: *cranial vault asymmetry* (CVA) – genannt und diente der Beurteilung der lateralen Schädelasymmetrie (Plagiozephalie). Zudem wurden zur Beurteilung der Längsovalität (Brachyzephalie) der *cranial index* (CI) – Synonym: *cranial proportional index* (CPI) – mit der Formel: $\frac{SD \cdot 100}{AP}$ berechnet.

2.4.2 Schweregradeinteilung

Die Einteilung in Schweregrade wurde anhand klinischer Expertise der behandelnden Ärzte in der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität vorgenommen und beruht nicht auf einer empirisch ermittelten Schweregradtabelle (s. Tabelle 1). Eine behandlungsbedürftige Plagiozephalie wird bei einem CVA von $\geq 1,0$ cm festgestellt und in dieser Arbeit mit der Klasse 1 bezeichnet. Solche Schädeldeformitäten gelten als „helmpflichtig“. Werte $< 1,0$ cm werden in dieser Arbeit mit der Klasse 0 versehen und gelten als „nicht-helmpflichtig“. Das umgekehrte Prinzip gilt für die Brachyzephalie. Hier wird bei mit einer Länge-Breite-Differenz von $\leq 1,0$ cm die helmpflichtige Klasse 1 und mit Werten von $> 1,0$ cm die nicht-helmpflichtige Klasse 0 erreicht. Es wird keine weitere Stadieneinteilung in Unterklassen vorgenommen, sondern es werden anschließend je nach Kindesalter und klinisch imponierender Schädeldeformität mit den Eltern individuell die möglichen Therapieoptionen besprochen. Bei Kindern, die jünger als fünf Monate alt sind, wird zunächst der Versuch einer manuellen Therapie in Kombination mit Physiotherapie und ggf. die Verwendung eines Lagerungskissens empfohlen. Bei Säuglingen ab einem Alter von fünf Monaten mit klinisch imponierender Schädelasymmetrie (Klasse 1) wird eine Helmtherapie empfohlen. Bei jüngeren Kindern oder Kindern ab einem Alter von fünf Monaten mit weniger stark imponierenden Schädelasymmetrien (Klasse 0) wird ausschließlich eine manuelle Physiotherapie zur Behandlung ihrer Schädeldeformität empfohlen. Zur Verlaufsbeurteilung und eventuellen Helmanfertigung werden alle Kinder ungeachtet ihres Alters und ihrer Schädeldeformität anschließend an das Patientengespräch und der Maßband- und Zirkelmessung mit der 3D-Photogrammetrie vermessen.

Schädeldeformität	keine Behandlungsindikation (Klasse 0)	Behandlungsindikation (Klasse 1)
Plagiozephalie (Schrägdurchmesser)	< 1 cm	≥ 1 cm
Brachyzephalie (Länge-Breite-Differenz)	> 1 cm	≤ 1 cm

Tabelle 1

Schweregradeinteilung zur Evaluation von lagebedingten Schädeldeformitäten mit der Zirkelmessung. Bei einem Schrägdurchmesser von ≥ 1 cm wird für die Plagiozephalie und bei einer Länge-Breite-Differenz von ≤ 1 cm für die Brachyzephalie in der Regel eine Behandlungsindikation zur Helmtherapie bei Kindern ab einem Alter von fünf Monaten in Gießen ausgesprochen. Analog wird für Schädeldeformitäten, die diese Cutoffs nicht erreichen, keine Helmtherapie indiziert.

2.5 3D-Photogrammetrie

2.5.1 Durchführung

Jedes Kind wurde exakt nach dem Untersuchungsprotokoll von Schaaf et al. von 2010 untersucht (Schaaf *et al.*, 2010). Zunächst wurde dem Kind eine aus einem Nylondamenstrumpf gefertigte Mütze zur Vermeidung von Artefakten – wie z. B. abstehende Haare – aufgezogen. Anschließend wurde das Kind auf einen Kindersitz, der das Aufstehen oder Wegkippen des Säuglings verhindert, mit Blickrichtung zum Elternteil aufrecht hingesezt (s. Abbildung 9).



Abbildung 9

links: Kamerasystem mit Kindersitz zur dreidimensionalen photometrischen Aufnahme des Kindes.

Mitte: Kind im Kindersitz und mit Nylonstrumpf zum Anlegen von evtl. abstehenden Haaren, die als Artefakte die Aufnahme stören könnten.

rechts: digitale dreidimensionale Anzeige des kindlichen Kopfes in der Software von vorne.

Mit freundlicher Genehmigung und Bereitstellung der Bilder durch die Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen.

Eine assistierende Person, in der Regel eine Medizinisch-Technische-Assistentin oder Praktikantin der Poliklinik, hielt anschließend hinter dem Kind kniend mögliche Kleidung aus dem zu fotografierenden Nackenbereich und stützte den Kopf bei den Kindern, die dies noch nicht selbstständig vermochten (s. Abbildung 10). Mit einem Spielzeug wedelnd und Geräusche erzeugend wurde sodann die Aufmerksamkeit des Kindes erregt, so dass es ruhig vor dem Untersucher saß. Dann wurde der Kameraauslöser 3D-Fotosystems betätigt.

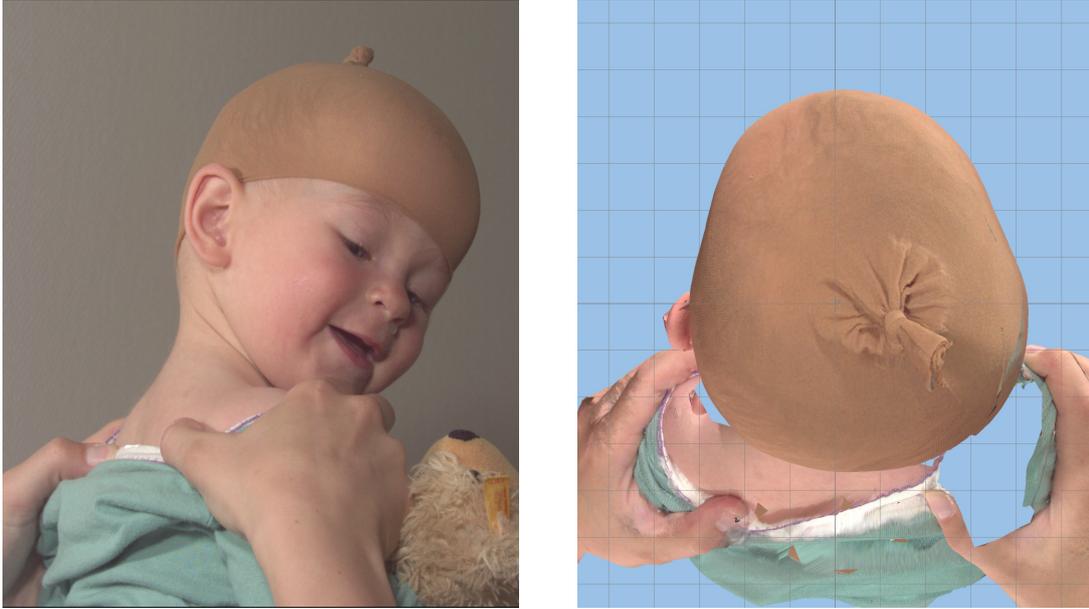


Abbildung 10

links: photographische Aufnahme des Kindes von hinten mit freigehaltenem Nacken durch eine/n Assistent/in.

rechts: digitale dreidimensionale Anzeige des kindlichen Kopfes in der Software von oben.

Mit freundlicher Genehmigung und Bereitstellung der Bilder durch die Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen.

Anschließend erfolgte mittels der Software Cranioform Analytics 4.0 der Firma Cranioform AG das Setzen von definierten *landmarks* (s. Abbildung 11) auf der Oberfläche des erzeugten digitalen 3D-Modells am Computer. Es wird eine Ausgangsebene 0 durch Verbindung der beiden Tragus-*landmarks* und der gesetzten subnasalen *landmark* gebildet. Dann wird der Kopf in zwölf imaginäre Scheiben parallel zur Ebene 0 geschnitten, für die jeweils die automatische Errechnung der interessierenden Parameter AP, SD, CVA, CI, den Längsdiagonalen 30°DiagA , von rechts okzipital nach links frontal verlaufend, 30°DiagB , von links okzipital nach rechts frontal verlaufend, und des interessierenden Parameters CVAI; $(\text{Diagonale A} - \text{Diagonale B}) \times 100 / \text{Diagonale A}$; wobei $\text{Diagonale A} > \text{Diagonale B}$; erfolgt. Diese Längsdiagonalen wurden bei der 3D-Photogrammetrie beidseits mit einem Winkel von 30° zur Schädellänge (AP) und durch den Schnittpunkt von AP und SD verlaufend ermittelt. In dieser Studie wurden für die 3D-Photogrammetrie ausschließlich die berechneten Parameter der Ebene fünf verwendet, da sie am ehesten der Ebene entspricht, die bei der Zirkelmessung gebildet wird: Eurion zu Eurion und Glabella zu Opistocranion.

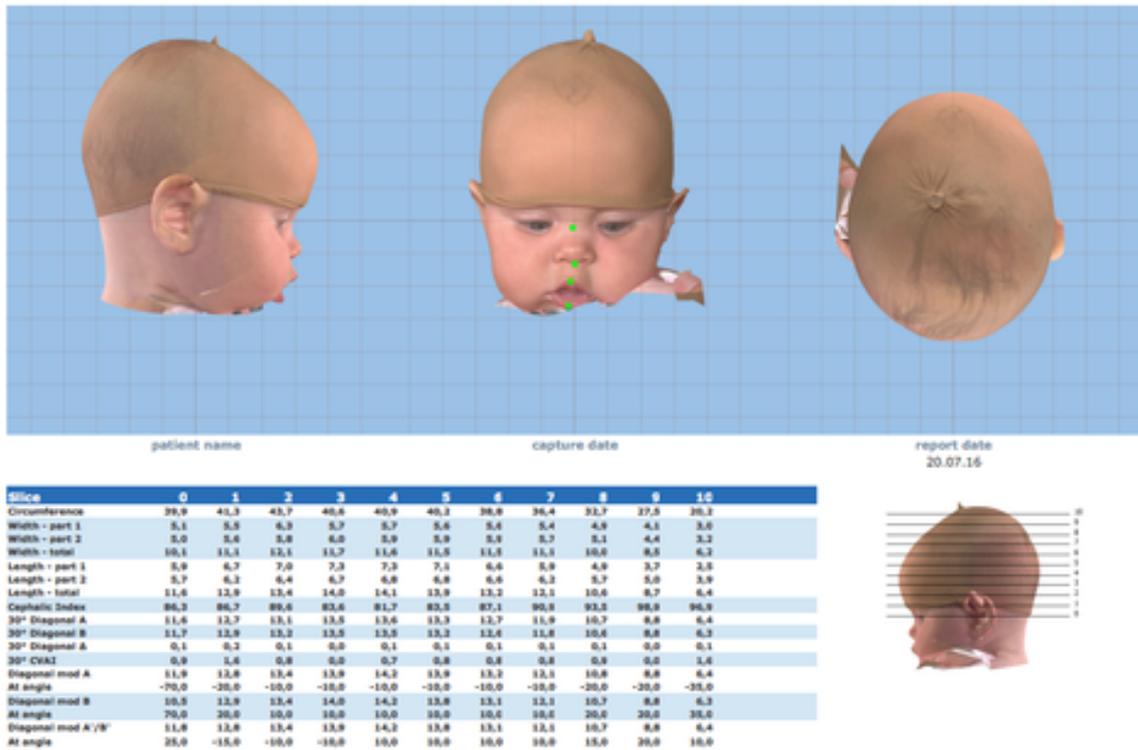


Abbildung 11

Fachinformation der Firma Cranioform zur Illustration der digitalen Vermessung.

oben: digitale dreidimensionale Anzeige des kindlichen Kopfes in der Software von der Seite, vorne und von oben mit gesetzten *landmarks* auf der Gesichtsoberfläche (grüne Punkte).

links: Ergebnistabelle der jeweiligen errechneten Parameter (Zeile) für die jeweiligen horizontalen Schnittebenen (Spalte) des kindlichen Kopfes.

unten rechts: Projektion der horizontalen Schnittebenen auf einen kindlichen Kopf

Quelle: <https://www.cranioform.de/fuer-aerzte/medizinische-informationen.html> - Stand 16.07.2019.

2.5.2 Schweregradeinteilung

Die Stadieneinteilung in Schweregrade wurde anhand der alters- und geschlechterabhängigen normativen Perzentiltabelle zur Beurteilung von Schädeldeformitäten während der ersten zwei Lebensjahre von Wilbrand et al. von 2017 vorgenommen (s. Tabelle 2). Entsprechend dieser Studie haben wir uns entschieden den Cutoff für eine Behandlungsindikation für Schädelasymmetrien bei ≥ 97 . Perzentile („should be treated“) zu setzen. Ab diesem Cutoff scheint die spontane Rückbildung der lagebedingten Schädeldeformität sowie unter manueller Physiotherapie ausgeschlossen zu sein (Wilbrand *et al.*, 2017).

Group	Percentiles	Circumference		Width		Length		CVA		CI		CVAI		Ding-Ratio	
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
0-3 mo	3	35.9	35.4	9.2	9.0	11.7	11.5	0.0	0.0	70.4	70.1	0.0	0.0	0.933	0.933
	10	37.1	36.5	9.7	9.5	12.1	11.9	0.0	0.0	73.4	73.1	0.0	0.0	0.942	0.943
	25	38.2	37.6	10.1	9.9	12.5	12.3	0.1	0.1	76.2	75.8	0.7	0.6	0.951	0.952
	50	40.7	40.2	11.1	10.9	13.4	13.2	0.4	0.3	82.6	82.3	2.9	2.9	0.972	0.973
	75	43.3	42.7	12.1	11.9	14.3	14.1	0.6	0.6	89.1	88.8	5.2	5.1	0.993	0.993
4-6 mo	90	44.4	43.8	12.5	12.3	14.7	14.5	0.8	0.8	91.9	91.5	6.1	6.1	1.0	1.0
	97	45.6	45.0	12.9	12.7	15.1	15.0	0.9	0.9	94.8	94.5	7.2	7.1	1.0	1.0
	3	37.4	36.8	9.6	9.4	12.2	12.0	0.0	0.0	70.1	69.7	0.0	0.0	0.934	0.935
	10	38.5	38.0	10.0	9.8	12.6	12.4	0.0	0.0	73.0	72.7	0.0	0.0	0.944	0.944
	25	39.6	39.1	10.5	10.2	13.0	12.8	0.1	0.0	75.8	75.4	0.6	0.5	0.952	0.953
7-9 mo	50	42.2	41.6	11.4	11.2	13.9	13.7	0.3	0.3	82.2	81.9	2.8	2.7	0.973	0.974
	75	44.7	44.1	12.4	12.2	14.9	14.7	0.6	0.6	88.7	88.4	5.0	5.0	0.994	0.995
	90	45.8	45.2	12.9	12.7	15.3	15.1	0.8	0.7	91.5	91.1	6.0	5.9	1.0	1.0
	97	47.0	46.4	13.3	13.1	15.7	15.5	0.9	0.9	94.4	94.1	7.0	7.0	1.0	1.0
	3	38.8	38.2	9.9	9.7	12.7	12.5	0.0	0.0	69.7	69.3	0.0	0.0	0.935	0.936
10-12 mo	10	39.9	39.4	10.4	10.2	13.1	12.9	0.0	0.0	72.6	72.3	0.0	0.0	0.945	0.945
	25	41.0	40.5	10.8	10.6	13.5	13.3	0.1	0.0	75.4	75.0	0.4	0.3	0.954	0.954
	50	43.6	43.0	11.8	11.6	14.5	14.3	0.3	0.3	81.8	81.5	2.7	2.6	0.975	0.975
	75	46.1	45.5	12.8	12.6	15.4	15.2	0.6	0.6	88.3	87.9	4.9	4.8	0.995	0.996
	90	47.2	46.6	13.2	13.0	15.8	15.6	0.8	0.7	91.1	90.7	5.9	5.8	1.0	1.0
13-15 mo	97	48.4	47.8	13.7	13.5	16.2	16.0	0.9	0.9	94.0	93.7	6.9	6.8	1.0	1.0
	3	40.2	39.6	10.3	10.1	13.2	13.1	0.0	0.00	69.3	68.9	0.0	0.0	0.937	0.937
	10	41.3	40.8	10.8	10.6	13.7	13.5	0.0	0.0	72.2	71.9	0.0	0.0	0.946	0.947
	25	42.4	41.9	11.2	11.0	14.1	13.9	0.0	0.0	75.0	74.6	0.3	0.2	0.955	0.956
	50	45.0	44.4	12.2	12.0	15.0	14.8	0.3	0.3	81.4	81.1	2.5	2.4	0.976	0.977
16-18 mo	75	47.5	47.0	13.2	13.0	15.9	15.8	0.6	0.6	87.9	87.5	4.7	4.7	0.997	0.997
	90	48.6	48.0	13.6	13.4	16.3	16.1	0.7	0.7	90.7	90.3	5.7	5.6	1.0	1.0
	97	49.8	49.2	14.1	13.8	16.7	16.5	0.9	0.9	93.6	93.3	6.7	6.7	1.0	1.0
	3	41.6	41.0	10.7	10.5	13.8	13.6	0.0	0.0	68.8	68.5	0.0	0.0	0.938	0.939
	10	42.7	42.2	11.1	10.9	14.2	14.0	0.0	0.0	71.8	71.5	0.0	0.0	0.948	0.948
19-21 mo	25	43.8	43.3	11.6	11.4	14.6	14.4	0.0	0.0	74.6	74.2	0.1	0.1	0.956	0.957
	50	46.4	45.8	12.5	12.3	15.5	15.3	0.3	0.3	81.0	80.7	2.4	2.3	0.977	0.978
	75	48.9	48.4	13.5	13.3	16.5	16.3	0.6	0.6	87.5	87.1	4.6	4.5	0.998	0.999
	90	50.0	49.5	14.0	13.8	16.8	16.7	0.7	0.7	90.3	89.9	5.6	5.5	1.0	1.0
	97	51.2	50.6	14.4	14.2	17.3	17.1	0.9	0.9	93.2	92.9	6.6	6.5	1.0	1.0
22-24 mo	3	43.0	42.4	11.0	10.8	14.3	14.1	0.0	0.0	68.4	68.1	0.0	0.0	0.939	0.940
	10	44.2	43.6	11.5	11.3	14.7	14.5	0.0	0.0	71.4	71.1	0.0	0.0	0.949	0.949
	25	45.3	44.7	11.9	11.7	15.1	14.9	0.0	0.0	74.2	73.8	0.0	0.0	0.958	0.958
	50	47.8	47.2	12.9	12.7	16.1	15.9	0.3	0.3	80.6	80.3	2.2	2.2	0.979	0.979
	75	50.3	49.8	13.9	13.7	17.0	16.8	0.6	0.6	87.1	86.7	4.5	4.4	0.999	0.999
19-21 mo	90	51.4	50.9	14.3	14.1	17.4	17.2	0.7	0.7	89.9	89.5	5.4	5.4	1.0	1.0
	97	52.6	52.0	14.8	14.6	17.8	17.6	0.9	0.8	92.8	92.5	6.5	6.4	1.0	1.0
	3	44.4	43.8	11.4	11.2	14.8	14.6	0.0	0.0	68.0	67.7	0.0	0.0	0.941	0.941
	10	45.6	45.0	11.9	11.7	15.3	15.1	0.0	0.0	71.0	70.7	0.0	0.0	0.950	0.951
	25	46.7	46.1	12.3	12.1	15.7	15.5	0.0	0.0	73.8	73.4	0.0	0.0	0.959	0.960
22-24 mo	50	49.2	48.6	13.3	13.1	16.6	16.4	0.3	0.3	80.2	79.9	2.1	2.0	0.980	0.980
	75	51.7	51.2	14.3	14.1	17.5	17.3	0.6	0.6	86.7	86.3	4.3	4.3	1.0	1.0
	90	52.8	52.3	14.7	14.5	17.9	17.7	0.7	0.7	89.5	89.1	5.3	5.2	1.0	1.0
	97	54.0	53.4	15.2	15.0	18.3	18.1	0.9	0.8	92.4	92.1	6.3	6.2	1.0	1.0
	3	45.8	45.2	11.8	11.6	15.4	15.2	0.0	0.0	67.6	67.3	0.0	0.0	0.942	0.942
22-24 mo	10	47.0	46.4	12.2	12.0	15.8	15.6	0.0	0.0	70.6	70.2	0.0	0.0	0.951	0.952
	25	48.1	47.5	12.7	12.5	16.2	16.0	0.0	0.0	73.4	73.0	0.0	0.0	0.960	0.961
	50	50.6	50.0	13.7	13.4	17.1	16.9	0.3	0.3	79.8	79.5	1.9	1.9	0.981	0.982
	75	53.2	52.6	14.6	14.4	18.0	17.9	0.6	0.6	86.3	85.9	4.2	4.1	1.0	1.0
	90	54.3	53.7	15.1	14.9	18.4	18.3	0.7	0.7	89.1	88.7	5.1	5.1	1.0	1.0
97	55.4	54.9	15.5	15.3	18.9	18.7	0.8	0.8	92.0	91.7	6.2	6.1	1.0	1.0	

Tabelle 2

Normative Perzentile für Schäeldistanzen und -indices für die Schweregradeinteilung zur Evaluation von lagebedingten Schädeldeformitäten der ersten zwei Lebensjahre mit der 3D-Photogrammetrie. Mit freundlicher Genehmigung und Bereitstellung der Tabelle durch Herrn PD. Dr. Dr. J.-F. Wilbrand aus der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen (Wilbrand *et al.*, 2017).

2.6 Plagiocephalometrie

2.6.1 Durchführung

Die Plagiocephalometrie ist ein in den Niederlanden entwickeltes Verfahren zur anthropometrischen Vermessung von Schädeln insbesondere bei Säuglingen und Kleinkindern. Bei deren Anwendung wurde jedes Kind exakt nach dem Untersuchungsprotokoll von van Adrichem und van Vlimmeren und mit deren entwickelten Utensilien vermessen (van Adrichem *et al.*, 2008). Dazu wurde das Kind auf den Schoß des Elternteils mit Blickrichtung zum Untersucher gesetzt. Anschließend wurde ein thermoplastischer Kunststoffstreifen von 45,3 cm Länge, 1,8 cm Breite und 0,32 cm Dicke zunächst durch Aufgießen von kochendem Wasser im Wasserbad erweicht. Der Streifen wurde anschließend vorsichtig mit Papiertüchern getrocknet und gewartet, bis er auf eine angenehm warme Temperatur abgekühlt war, bevor dieser auf Höhe des größten transversalen Schädeldurchmessers angelegt wurde. Die jeweiligen Enden des Bandes wurden fronto-lateral links oder rechts der anterioren Mitte des Kopfes zusammengefügt. Das Elternteil wurde instruiert, die Unterarme des Kindes am Körper des Kindes zu halten, um das Greifen zum Kopf und damit eine Manipulation der Messung zu verhindern. Anschließend wurde etwa fünf Minuten bis zum Erhärten des Kunststoffstreifens gewartet. Währenddessen wurden Markierungen mittels dem Untersuchungsset beigelegten Schablone auf Höhe von Nase – Nasenpunkt (NP) und posteriorem Rand des linken – linker Ohrenpunkt (LOP) – und rechten Tragus – rechter Ohrenpunkt (ROP) – mit einem wasserfesten Folienstift auf das Kunststoffband gesetzt und dieses dann vorsichtig nach kranial vom Kopf abgezogen. Anschließend wurde die vollständige Erhärtung des Kunststoffstreifens abgewartet und eine Hinterkopfmarkierung – mittlerer okzipitaler Punkt (MOP) – nach Ermittlung der rechnerischen Mitte der Strecke zwischen dem ROP und LOP gesetzt. Nach der Abnahme des erhärteten thermoplastischen Bandes verließen die Eltern mit ihrem Kind die Poliklinik.

Anschließend wurde der Kunststoffring mit der Oberseite nach unten zeigend auf einen im Klinikalltag üblicherweise eingesetzten Standkopierer gelegt, mit einem weißen Kliniklaken die Kopierfläche möglichst vollständig abgedeckt, und anschließend der Kunststoffring insgesamt neunmal kopiert. Es fand also das einmalige Anlegen des thermoplastischen Bandes bei jedem Kind durch immer denselben Untersucher

(Untersucher 1) statt. Anschließend wurden neun Kopien angefertigt, die von drei Untersuchern jeweils dreimal manuell vermessen wurden, um die Interrater-Variabilität zu untersuchen. Auf die wiederholte Anlage des thermoplastischen Bandes am Kindskopf wurde verzichtet, da die Kinder in den meisten Fällen während der Untersuchung unruhig wurden und ihnen die Wiederholung dieses Vorgangs erspart werden sollte. Untersucher 1 war der Verfasser dieser Arbeit: Medizinstudierender und Doktorand, befindlich im klinischen Abschnitt des Humanmedizinstudiums. Untersucher 2 war ein fakultätsfremder Medizinstudierender im vorklinischen Abschnitt des Humanmedizinstudiums und Untersucher 3 eine Frau ohne medizinische Ausbildung. Alle Untersucher vermaßen streng nach Studienprotokoll manuell jeweils drei Kopien. Zunächst wurde die Länge (AP) vom eingezeichneten NP zum MOP, dann die Breite (SD) vom LOP zum ROP bestimmt. Anschließend wurde die Strecke anterior-sinistra (AS) vom LOP zum NP und die Strecke anterior-dextra (AD) vom ROP zum NP, sowie die Strecken posterior-sinistra (PS) und posterior-dextra (PD) analog zum MOP eingezeichnet und vermessen. Weiterhin wurden zwei Längsdiagonalen beidseits mit einem Winkel von 40° zur Schädellänge (AP) gezogen, sodass sie durch den Schnittpunkt von AP zu SD verlaufen. Die Diagonale, die vom links okzipital nach rechts frontal führt, wird mit ODL, und die, die von rechts okzipital nach links frontal führt, mit ODR bezeichnet (Dörhage, 2010b). Ihre Längendifferenz wird als ODD bezeichnet. Die *ear deviation* (ED) – Synonym: Ohrverschiebung oder *ear shift* – wurde ermittelt, indem die Distanz der zur AP-Linie orthogonal gezogenen Linien zum LOP bzw. ROP gemessen wurde (s. Abbildung 12 links). Zudem wurden zur Beurteilung der Längsovalität der CI und zur Beurteilung der lateralen Schädelsymmetrie der *oblique diameter difference index* (ODDI) gebildet, bei dem der längere der beiden ODL und ODR durch den kürzeren geteilt und mit 100 multipliziert wird: $\frac{DiagA*100}{DiagB}$, wobei $DiagA > DiagB$ (van Adrichem *et al.*, 2008). Zur Beurteilung der Ohrverschiebung wurde der *ear deviation index* (EDI) gebildet, der sich wie folgt berechnet: $\frac{ED*100}{AP}$. Der Umfang des Kopfes wird bei der Plagiocephalometrie nicht ermittelt.

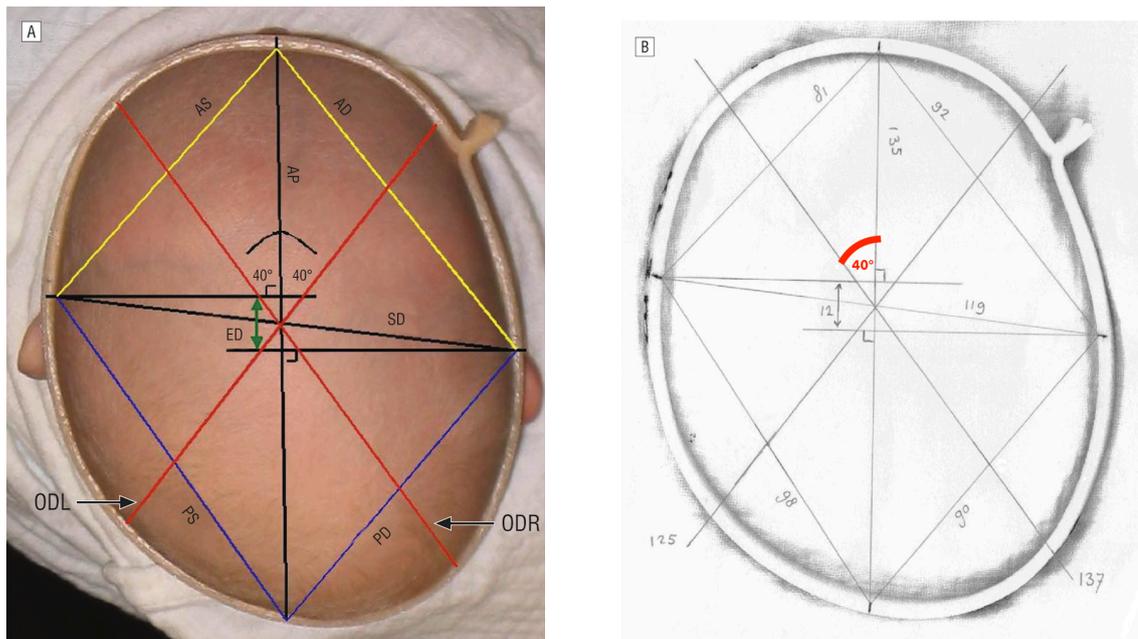


Abbildung 12

links: Projektion des Messschemas auf das Foto eines von apikal aufgenommenen kindlichen Kopfes.

Quelle: van Adrichem, L. N. A. *et al.* (2008) 'Validation of a simple method for measuring cranial deformities (plagiocephalometry).', *The Journal of craniofacial surgery*. United States, 19(1), pp. 15–21. doi: 10.1097/scs.0b013e31815c93cb. (van Adrichem *et al.*, 2008).

rechts: Messdistanzen eingezeichnet in Kopie eines thermoplastischen Rings der Plagiocephalometrie.

Quelle: van Wijk, R. M. *et al.* (2014b) 'Helmet therapy in infants with positional skull deformation: randomised controlled trial.', *BMJ (Clinical research ed.)*. England, 348, p. g2741. doi: 10.1136/bmj.g2741 (van Wijk *et al.*, 2014b).

2.6.2 Schweregradeinteilung

Die Stadieneinteilung in Schweregrade wurde anhand der Tabelle zur Beurteilung von Schädeldeformitäten von van Vlimmeren vorgenommen (s. Tabelle 3) (Van Vlimmeren *et al.*, 2005). Das Untersuchungspaket inklusive der thermoplastischen Bänder und weiterer Materialien wurde ergänzt durch einen Ringhefter mit exaktem Untersuchungsprotokoll, das Beschreibungen und Bilder der einzelnen Arbeitsschritte enthielt, nach denen präzise vorgegangen wurde. Darin war die folgende Tabelle zur Schweregradeinteilung enthalten:

Klasse	Deformität	ODDI (%)	CPI (%)	EDI (%)
0	normal	< 104	< 90	< 4
1	mild	104 – < 108	90 – < 95	4 – < 7
2	schwer	108 – < 112	95 – < 100	7 – < 10
3	sehr schwer	> 112	> 100	> 10

Tabelle 3

Schweregradeinteilung zur Evaluation von lagebedingten Schädeldeformitäten mit der Plagiocephalometrie.

Wir haben in unserer Studie den Cutoff bei der Klasse 2 sowohl für den ODDI als auch den CPI gezogen, da eine Überschreitung dieser Klasse durch einen der Indices laut Protokoll auf eine „schwere“ Deformität hinweist. Wir interpretierten diese Beschreibung einer Schädeldeformität mit „schwer“ als behandlungsbedürftig. Jedoch fanden wir auch in einer Publikation von van Vlimmeren aus 2007 die Aussage, dass ein $ODDI \geq 104\%$ eine „schwere lagebedingte Plagiozephalie“ ausweist, ohne weitere Bezugnahme auf den CPI (van Vlimmeren *et al.*, 2007). Dies entspricht in der Tabelle zur Schweregradeinteilung des Untersuchungsprotokolls einem Cutoff bei Klasse 1 „mild“. Wir berücksichtigten daher in dieser Studie beide Cutoffs für den ODDI ($\geq 104\%$ und $\geq 108\%$), für die Brachyzephalie nutzten wir ausschließlich den Cutoff $CPI \geq$ Klasse 2 ($\geq 95\%$), da wir zu diesem Parameter keine Angaben über einen alternativen Cutoff finden konnten.

2.7 Statistische Analyse

Alle erhaltenen Daten wurden statistisch unter Verwendung des Statistikprogramms SPSS (released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0.) der Firma IBM Corp. (1 New Orchard Road, Armonk, New York 10504-1722, United States) mit Hilfe von Herrn Dr. J. Pons-Kühnemann, Leiter des Instituts für medizinische Statistik der Justus-Liebig-Universität Gießen, analysiert.

2.7.1 Fragestellung 1

Die experimentelle Planung der Fragestellung 1 umfasste wiederholte Vermessungen der neun Kopien der Plagiocephalometrie zugehörig zu einem Patienten (Subjekt) durch drei unterschiedliche Untersucher (*rater*). Dabei wurden die Parameter AP, SD, ED, ODL und

ODR erhoben und für diese eine Varianzkomponentenzerlegung durchgeführt. Die Gesamtvarianz resultierte aus:

1. den verschiedenen Patienten (Subjekt-Variabilität)
2. den verschiedenen Untersuchern (Interrater-Variabilität),
3. den wiederholten Messungen eines Untersuchers (Intrater-Variabilität),
4. nicht erklärlichen Ursachen (Fehlervarianz)

Messwiederholungen, Untersucher und Patient wurden als zufällige Faktoren (*random factors*) behandelt. Für das statistische Modell wurde eine Normalverteilung der statistischen Größen vorausgesetzt. Die gesuchten Größen waren die Reproduzierbarkeit und Wiederholbarkeit der Plagiocephalometrie.

Reproduzierbarkeit (*reproducibility*): Varianz zwischen den Untersuchern: d.h. zufällig ausgewählte Untersucher messen am selben Patient → Interrater-Variabilität

Wiederholbarkeit (*repeatability*): Variabilität wiederholter Messungen desselben Untersuchers am selben Patient → Intrater-Variabilität

2.7.2 Fragestellung 2

Der Vergleich der Mittelwerte der Parameter CI und CVAI der Plagiocephalometrie mit der in Gießen als Goldstandard verwendeten Zirkelmessung und 3D-Photogrammetrie wird unter Zuhilfenahme von modifizierten Bland-Altman-Diagrammen durchgeführt (Bland and Altman, 1986). Es handelt sich um eine graphische Darstellungsmethode zum Vergleich und zum Aufzeigen von Übereinstimmung zweier Messmethoden. Dabei wird in einem kartesischen zwei-dimensionalen Koordinatensystem auf der Ordinatenachse (y-Achse) die Differenz beider Messwerte ($x - y$) aufgetragen. Auf der Abszissenachse (x-Achse) eines Bland-Altman-Diagramms werden im Regelfall die Mittelwerte (Durchschnitt) beider Messwerte $((x + y)/2)$ aufgetragen. In unserer Analyse tragen wir im Gegensatz dazu die absoluten Werte des jeweiligen Index der Zirkelmessung oder der 3D-Photogrammetrie auf der Abszissenachse auf, da diese den Goldstandard darstellen (s. z. B. Abbildung 13). Die durchschnittliche Differenz der einzelnen Messwerte der jeweiligen Messmethode wird als systematischer Fehler (*bias*) bezeichnet und ebenfalls in das Koordinatensystem eingezeichnet. Ein idealer systematischer Fehler beträgt 0 und sagt aus, dass im Durchschnitt zwei Messverfahren keine systematische Abweichung

ihrer Messwerte aufweisen. Zusätzlich werden zur Orientierung jeweils eine obere und eine untere Grenzlinie (*upper and lower limits of agreement*) auf Höhe $\pm 1,96$ x Standardabweichungen gezogen. Da zwischen diesen Grenzen in der Regel 95 % aller Messpunkte liegen, kann durch Einzeichnung der oberen und unteren Grenzlinie die Streuung der Einzelmesswerte eingeschätzt werden, ohne dass evtl. Ausreißer das Bild verzerren.

2.7.3 Fragestellung 3

Es wurde die Schweregradeinteilung anhand der Schweregrad-Tabellen der jeweiligen Messverfahren vorgenommen, wie von van Vlimmeren und von Wilbrand beschrieben (s. 2.4.3, 2.5.3 und 2.6.3) (Wilbrand *et al.*, 2017). Dazu wurde je nach Messverfahren für den CI oder die Länge-Breite-Differenz und für den CVA, ODDI oder den CVAI jeweils händisch die Klasseneinteilung vorgenommen und die Ergebnisse miteinander verglichen.

3 Ergebnisse

3.1 Dauer und Kosten

3.1.1 Zirkel- und Maßbandmessung

Die Vermessung eines kindlichen Kopfes mittels Zirkel und Maßband dauerte bei einem erfahrenen Untersucher in der Regel nicht länger als eine Minute. Die Anschaffungskosten für das verwendete Maßband und den Beckenzirkel beliefen sich zusammen einmalig auf etwa 55,- Euro.

3.1.2 3D-Photogrammetrie

Die ungefähre Dauer der Vorbereitung der Untersuchung betrug etwa drei Minuten. Anschließend wurde mit dem Kamerasystem eine Aufnahme innerhalb von 1,5 Millisekunden getätigt. Die Auswertung mittels Software Cranioform Analytics 4.0 inklusive des Setzens der *landmarks* auf dem digital generierten Schädel des Kindes und Errechnung der Parameter dauerte weitere circa drei Minuten. Insgesamt dauerte die vollständige Vermessung und Datenerhebung mit der 3D-Photogrammetrie also in etwa sechs Minuten. Die Anschaffungskosten des verwendeten 3D-Photogrammetrie-Systems inklusive eines mit dem Kamerasystem verbundenen Computer beliefen sich auf einmalig etwa 45.000,- Euro. Hinzukommen Unterhaltungs- und Wartungskosten in unbestimmter Höhe.

3.1.3 Plagiocephalometrie

Die ungefähre Dauer der Vorbereitung der Untersuchung betrug fünf Minuten, zusätzlich acht Minuten für die Patienteneinweisung, das Anlegen und Erhärten des thermoplastischen Bandes, sowie weitere 13 Minuten für die Anfertigung einer Kopie, die manuelle Ausmessung der Strecken und Berechnung der Indices. Insgesamt dauerte die vollständige Vermessung und Datenerhebung mit der Plagiocephalometrie also etwa 26 Minuten. Das Untersuchungspaket inklusive der mitgelieferten Materialien, dem Untersuchungsprotokoll und 100 thermoplastischen Streifen kostete 409,- Euro (3,25 Euro pro Streifen). Die Kosten für die Kopien auf Papier, Benutzung des Wasserkochers und weitere Kosten wie Benutzung eines Stiftes etc. werden hier als allgemeine Betriebskosten des Klinikalltags vernachlässigt.

3.2 Fragestellung 1

Die Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der statistischen Analyse zur Fragestellung 1, die da lautet: „Ziel ist es die Plagiocephalometrie ohne Einbeziehung anderer Vermessungsmethoden auf ihre Untersucherunabhängigkeit hin durch Ermittlung ihrer Intraratervariabilität (Wiederholbarkeit) und Interratervalidität (Reproduzierbarkeit) zu untersuchen.“

Dazu wurde zu den Parametern AP, SD, ED, ODL und ODR – mit P für Plagiocephalometrie gekennzeichnet – jeweils der absolute und prozentuale Wert der Varianzkomponentenanalyse abgebildet. Die absolute Varianz stellt die mittlere quadrierte Standardabweichung des untersuchten Wertes dar, weshalb die Einheit mit cm^2 angegeben wird und niemals negativ werden kann. Die letzte Spalte der Tabelle zeigt den prozentualen durchschnittlichen Anteil an der Gesamtvarianz für die jeweilige Varianzkomponente Subjekt-, Interrater-, Intrarater-Variabilität und Fehlervarianz an.

Die mit weitem Abstand größte Varianzkomponente ist die Subjekt-Variabilität. Sie weist bei der Diagonale PODL den kleinsten Anteil mit 93,38 % und der Ohrverschiebung PED den größten Anteil von 97,73 % an der Gesamtvarianz des jeweiligen Parameters auf.

PCM Parameter Varianzen	PAP (cm^2)		PSD (cm^2)		PED (cm^2)		PODL (cm^2)		PODR (cm^2)		Total (%)
	Estimate	Percentage	Estimate	Percentage	Estimate	Percentage	Estimate	Percentage	Estimate	Percentage	
subject variability	0,529	95,93%	0,589	95,06%	0,274	97,73%	0,529	93,38%	1,026	96,75%	95,77%
inter-rater variability	0,020	3,67%	0,025	4,08%	0,002	0,85%	0,019	3,35%	0,016	1,50%	2,69%
intra-rater variability	0,002	0,39%	0,003	0,46%	0,001	0,45%	0,002	0,41%	0,012	1,13%	0,57%
error variability	0,000	0,02%	0,003	0,40%	0,003	0,97%	0,016	2,86%	0,007	0,62%	0,98%
Total	0,552	100,00%	0,619	100,00%	0,281	100,00%	0,567	100,00%	1,061	100,00%	100,00%

Tabelle 4

Varianzkomponentenanalyse für die Messparameter anterior-posterior (AP), sinistra-dextra (SD), ear deviation (ED), oblique diameter left (ODL) und oblique diameter right (ODR) der Plagiocephalometrie zur Untersuchung der Untersucher-Abhängigkeit in absoluten und prozentualen Werten.

Die interessierende Größe Reproduzierbarkeit (Interrater-Variabilität) ist bei der der Ohrverschiebung PED mit 0,85 % am kleinsten, und bei der Breite (PSD) mit 4,08 % der Gesamtvarianz des jeweiligen Parameters am größten.

Die interessierende Größe Wiederholbarkeit (Intrarater-Variabilität) weist bei der Länge (PAP) den geringsten Wert von 0,39 % und bei der Diagonale PODR den größten Wert von 1,25 % auf.

Die Fehlervarianz ist bei der Länge mit 0,02 % am kleinsten und bei Diagonale PODL mit 2,86 % am größten.

Im Durchschnitt aller untersuchten Parameter fällt mit einem Anteil von 95,77 % an der Gesamtvarianz die Subjekt-Variabilität unter den Teilvarianzen am größten aus. Die Interrater-Variabilität hat im Durchschnitt einen Anteil von 2,69 % an der Gesamtvarianz, die Intrarater-Variabilität von 0,57 %. Es liegt eine durchschnittliche Fehlervarianz von 0,98 % anteilig an der Gesamtvarianz vor.

3.3 Fragestellung 2

3.3.1 Plagiocephalometrie vs. Zirkelmessung

Im Folgenden werden die Ergebnisse von Fragestellung 2 vorgestellt, die da lautet: „Ziel ist es den *cranial index* (CI) sowie den *cranial vault asymmetry index* (CVAI) für die einzelnen gemessenen Parameter der Plagiocephalometrie zu bilden und mit denen der Zirkelmessung und der 3D-Photogrammetrie zu vergleichen.“

CI

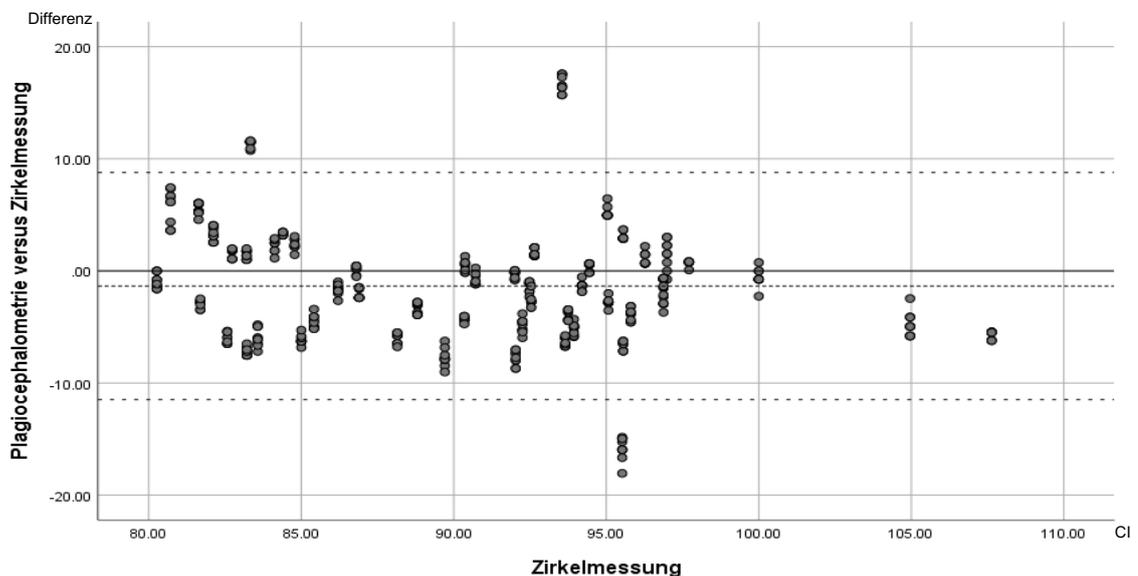


Abbildung 13

Bland-Altman-Diagramm zur Untersuchung des CI für Plagiocephalometrie versus Zirkelmessung (Goldstandard).

Das Bland-Altman-Diagramm (s. Abbildung 13) vergleicht die CI-Einzelwerte der Plagiocephalometrie mit denen der Zirkelmessung. Die Standardabweichung beträgt

circa 5,17, der systematische Fehler liegt bei etwa -1,35. Um diesen lässt sich innerhalb der oberen Grenzlinie bei 8,78 und der unteren bei -11,48 eine leichte Tendenz der Werte ins Negative feststellen. Es sind aber auch Ausreißer außerhalb der *upper and lower limits of agreement* zu erkennen. Generell misst die Zirkelmessung beim CI also eher größere Werte als die Plagiocephalometrie.

CVAI

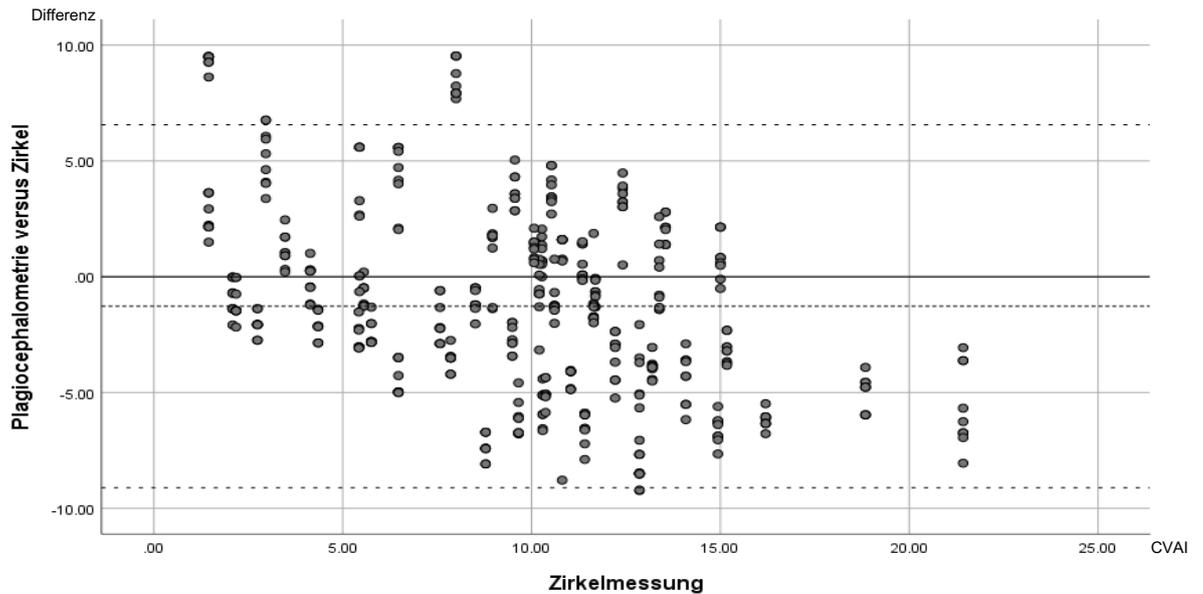


Abbildung 14

Bland-Altman-Diagramm zur Untersuchung des CVAI für Plagiocephalometrie versus Zirkelmessung (Goldstandard).

Das Bland-Altman-Diagramm (s. Abbildung 14) vergleicht die CVAI-Einzelwerte der Plagiocephalometrie mit denen der Zirkelmessung. Die Standardabweichung beträgt circa 4,0. Die obere Grenzlinie liegt bei etwa 6,56 und die untere bei -9,11. Wir sehen eine abfallende Tendenz der Messpunkte von kleineren hin zu größeren Werten, wenn wir eine gedachte Linie durch die Punktwolke ziehen. Tendenziell werden also kleinere CVAI-Werte, die mit Zirkelmessung ermittelt wurden, von der Plagiocephalometrie eher über- und größere CVAI-Werte der Zirkelmessung von der Plagiocephalometrie eher unterschätzt. Der systematische Fehler liegt bei etwa -1,27 und indiziert, dass CVAI-Werte im Durchschnitt von der Zirkelmessung größer gemessen werden, als von der Plagiocephalometrie.

3.3.2 3D-Photogrammetrie vs. Plagiocephalometrie

CI

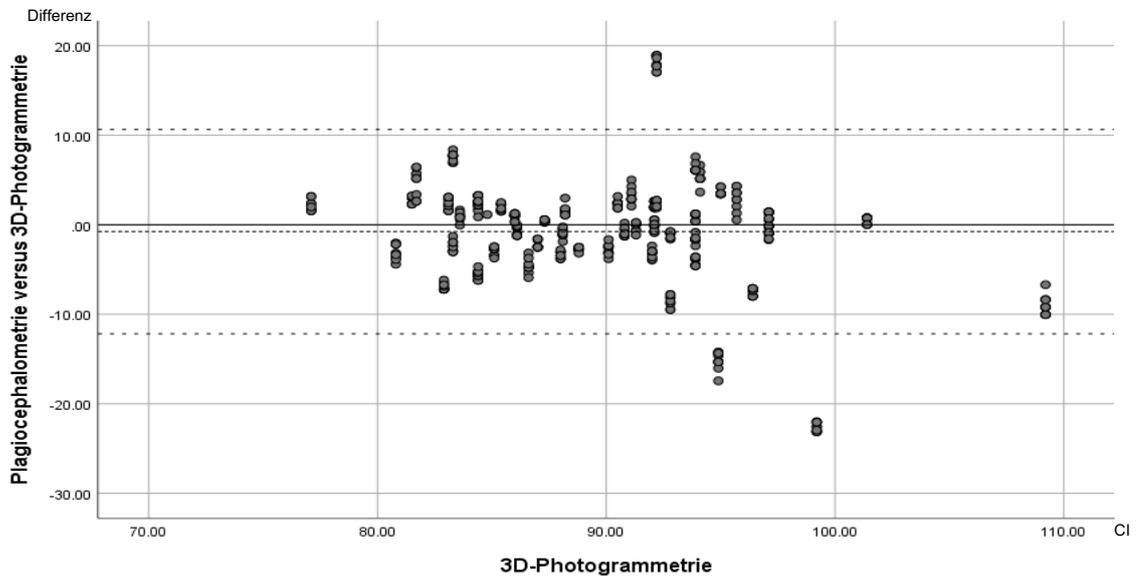


Abbildung 15

Bland-Altman-Diagramm zur Untersuchung des CI für Plagiocephalometrie versus 3D-Photogrammetrie (Goldstandard).

Das Bland-Altman-Diagramm (s. Abbildung 15) vergleicht die CI-Einzelwerte der Plagiocephalometrie mit denen der 3D-Photogrammetrie. Die Standardabweichung beträgt circa 5,82, der systematische Fehler liegt bei etwa -0,77. Um diesen lässt sich innerhalb der oberen Grenzlinie bei 10,65 und der unteren bei -12,18 keine eindeutige Tendenz der Werte ins Positive oder Negative feststellen. Es sind Ausreißer außerhalb der *upper and lower limits of agreement* zu erkennen.

CVAI

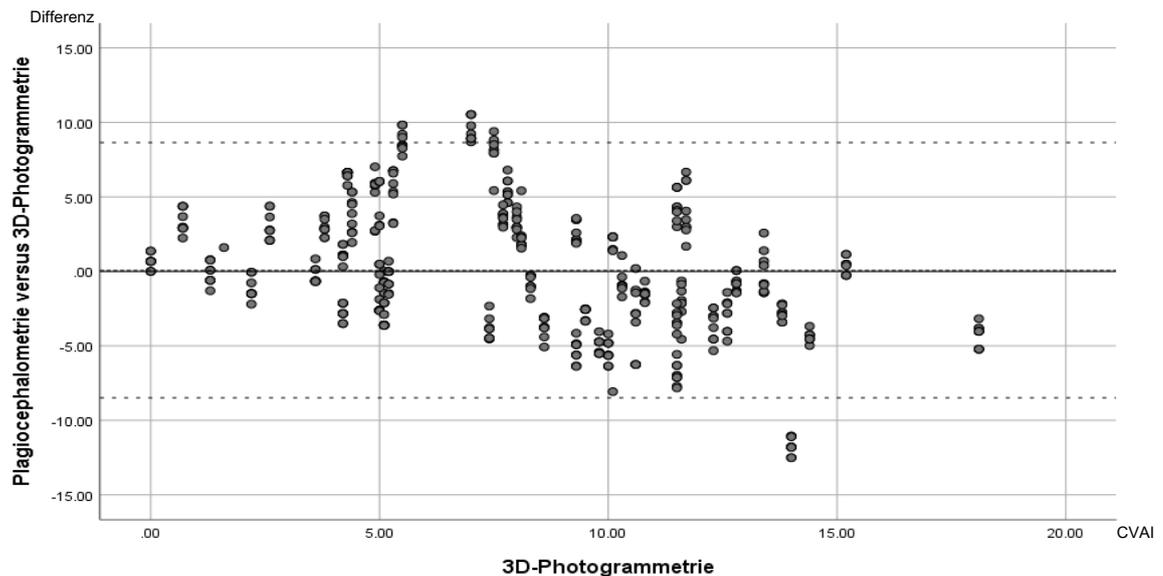


Abbildung 16

Bland-Altman-Diagramm zur Untersuchung des CVAI für Plagiocephalometrie versus 3D-Photogrammetrie (Goldstandard).

Das Bland-Altman-Diagramm (s. Abbildung 16) vergleicht die CVAI-Einzelwerte der Plagiocephalometrie mit denen der 3D-Photogrammetrie. Die obere Grenzlinie liegt bei etwa 8,61 und die untere bei -8,48. Insgesamt gleichen sich aber die Messwerte im Durchschnitt zu einem sehr geringen systematischen Fehler von 0,07 aus. Die Standardabweichung beträgt circa 4,36. Es kommt zu uneinheitlichen Messergebnissen, die keine Aussage zulassen, dass grundsätzlich CVAI-Werte vom einen Messverfahren größer oder kleiner gemessen werden, als durch das andere. Lediglich für hohe Werte lässt sich eine leicht abfallende Tendenz der Messpunkte feststellen. Tendenziell werden also große CVAI-Werte, die mit 3D-Photogrammetrie ermittelt wurden, von der Plagiocephalometrie eher unterschätzt.

3.4 Fragestellung 3

Im Folgenden werden die Ergebnisse von Fragestellung 3 vorgestellt, die da lautet:
„Ziel ist es zu untersuchen, ob die Verwendung der drei Messverfahren unter der Anwendung ihrer eigenen zugehörigen Schweregrad-Klassifikationstabellen für Plagio- und Brachyzephalie bei der Patientenkohorte zu unterschiedlichen Behandlungsindikationen führt.“

Alter (Monate)	Geschlecht	Plagiocephalie						Brachycephalie						
		Zirkelmessung		3D-Photogrammetrie		Plagiocephalometrie		Zirkelmessung		3D-Photogrammetrie		Plagiocephalometrie		
		CVA	≥1	CVAI	≥97	ODDI	≥1	≥2	L-B-Diff.	≥1	CI	≥97	CI	≥2
8 m		1,8	1	13,8	97	112,41	3	3	-1,0	1	101,4	97	101,92	3
3 m		2,0	1	12,6	97	110,75	2	2	0,0	1	94,1	90	99,42	2
4 m		1,8	1	10,0	97	104,86	1	1	0,4	1	97,1	97	96,02	2
4 m		1,8	1	7,5	97	118,51	3	3	0,4	1	95,7	97	98,50	2
4 m		2,3	1	14,4	97	111,14	2	2	0,4	1	91,1	75	94,41	1
5 m		1,9	1	13,4	97	115,35	3	3	0,5	1	97,1	97	97,38	2
7 m		1,6	1	9,3	97	113,48	3	3	0,6	1	94,9	97	79,63	0
8 m		1,6	1	10,1	97	111,75	2	2	0,6	1	92,1	90	91,94	1
4 m		1,3	1	4,9	50	111,28	2	2	0,7	1	93,9	90	100,24	3
5 m		1,3	1	4,2	50	101,48	0	0	0,7	1	93,9	90	92,23	1
5 m		2,6	1	11,7	97	118,78	3	3	0,8	1	92,0	90	88,79	0
5 m		1,4	1	10,3	97	110,53	2	2	0,8	1	85,4	50	87,34	0
5 m		1,7	1	8,6	97	105,17	1	1	0,8	1	93,9	90	94,81	1
4 m		1,4	1	4,2	50	105,65	1	1	0,8	1	93,9	90	89,82	0
4 w		2,6	1	18,1	97	116,04	3	3	0,8	1	92,2	90	110,28	3
7 m		1,6	1	9,5	97	107,17	1	1	0,8	1	90,5	75	92,87	1
4 w		1,3	1	7,8	97	115,28	3	3	1,0	1	91,3	90	91,11	1
7 m		2,1	1	15,2	97	118,44	3	3	1,1	0	90,1	75	87,36	0
4 m		1,9	1	10,8	97	110,23	2	2	1,1	0	92,8	90	84,27	0
6 m		1,2	1	8,3	97	106,31	1	1	1,3	0	90,8	75	89,94	0
5 m		2,1	1	11,5	97	118,98	3	3	1,3	0	83,3	50	90,85	1
6 m		1,4	1	5,2	75	104,98	1	1	1,4	0	86,6	50	81,99	0
3 w		1,5	1	11,5	97	104,84	1	1	1,5	0	86,1	50	85,48	0
4 w		1,4	1	9,3	97	104,17	1	1	1,6	0	85,1	50	82,18	0
5 m		1,7	1	8,1	97	111,67	2	2	1,9	0	87,0	50	84,80	0
6 m		2,3	1	11,5	97	109,12	2	2	1,9	0	86,0	50	86,94	0
4 w		1,6	1	12,3	97	109,56	2	2	2,0	0	84,4	50	86,43	0
5 m		1,2	1	7,0	97	119,85	3	3	2,0	0	83,6	50	84,52	0
7 m		2,2	1	12,8	97	113,67	3	3	2,1	0	84,4	50	78,86	0
4 w		1,4	1	5,5	75	116,68	3	3	2,2	0	88,0	50	84,65	0
4 m		1,8	1	10,6	97	107,81	1	1	2,2	0	87,3	50	87,72	0
5 w		1,0	1	2,6	25	105,93	1	1	2,3	0	99,2	97	76,59	0
5 m		1,4	1	7,4	97	103,64	0	0	2,3	0	92,2	90	94,71	1
5 m		1,1	1	5,1	75	104,48	1	1	2,4	0	81,5	25	84,35	0
5 m		1,5	1	8,0	97	112,70	3	3	2,7	0	84,4	50	87,16	0
8 m		1,5	1	7,7	97	112,74	3	3	2,7	0	83,1	50	85,37	0
5 m		1,3	1	3,8	50	107,30	1	1	2,7	0	81,7	25	86,49	0
4 m		1,5	1	11,6	97	110,58	2	2	3,0	0	77,1	25	79,28	0
3 m		0,7	0	5,0	50	102,80	0	0	-0,6	1	109,2	97	100,19	3
3 m		0,4	0	4,4	50	108,92	2	2	0,3	1	97,1	97	98,42	2
6 m		0,3	0	2,2	25	100,88	0	0	0,6	1	96,4	97	88,92	0
7 w		0,8	0	3,6	50	103,39	0	0	0,6	1	95,0	97	98,63	2
4 w		0,6	0	14,0	97	102,35	0	0	1,0	1	92,1	90	94,28	1
4 m		0,2	0	0,7	25	104,29	1	1	1,0	1	88,2	50	89,86	0
8 w		0,4	0	0,0	25	100,68	0	0	1,2	0	92,8	90	91,70	1
12 m		0,3	0	1,3	25	101,09	0	0	1,4	0	88,8	75	86,07	0
6 w		0,8	0	5,0	75	108,92	2	2	2,1	0	83,3	50	80,87	0
4 w		0,2	0	9,8	97	105,05	1	1	2,1	0	88,1	50	87,16	0
6 m		0,9	0	5,1	75	102,11	0	0	2,3	0	80,8	25	77,67	0
9 m		0,2	0	4,3	50	112,10	3	3	2,4	0	82,9	50	75,98	0
4 m		0,9	0	5,3	75	112,15	3	3	2,6	0	84,4	50	78,78	0
Summe der Cut-Off Überschreitungen			38		32		42	28		23		10		10

Tabelle 5

Ergebnisse der Schweregradeinteilungen der jeweiligen Messmethoden Zirkelmessung, 3D-Photogrammetrie und Plagiocephalometrie.

Tabelle sortiert nach Überschreitung des Cut-Offs der Zirkelmessung für Plagiocephalie.

rot = Überschreitung des jeweiligen Cut-Off bei Plagiocephalie.

orange = Überschreitung des jeweiligen Cut-Off bei Brachycephalie.

Alter (Monate)	Geschlecht	Plagiocephalie						Brachycephalie						
		Zirkelmessung		3D-Photogrammetrie		Plagiocephalometrie		Zirkelmessung		3D-Photogrammetrie		Plagiocephalometrie		
		CVA	≥1	CVAI	≥97	ODDI	≥1	≥2	L-B-Diff.	≥1	CI	≥97	CI	≥2
8 m		1,8	1	13,8	97	112,41	3	3	-1,0	1	101,4	97	101,92	3
3 m		0,7	0	5,0	50	102,80	0	0	-0,6	1	109,2	97	100,19	3
3 m		2,0	1	12,6	97	110,75	2	2	0,0	1	94,1	90	99,42	2
3 m		0,4	0	4,4	50	108,92	2	2	0,3	1	97,1	97	98,42	2
4 m		1,8	1	10,0	97	104,86	1	1	0,4	1	97,1	97	96,02	2
4 m		1,8	1	7,5	97	118,51	3	3	0,4	1	95,7	97	98,50	2
4 m		2,3	1	14,4	97	111,14	2	2	0,4	1	91,1	75	94,41	1
5 m		1,9	1	13,4	97	115,35	3	3	0,5	1	97,1	97	97,38	2
6 m		0,3	0	2,2	25	100,88	0	0	0,6	1	96,4	97	88,92	0
7 w		0,8	0	3,6	50	103,39	0	0	0,6	1	95,0	97	98,63	2
7 m		1,6	1	9,3	97	113,48	3	3	0,6	1	94,9	97	79,63	0
8 m		1,6	1	10,1	97	111,75	2	2	0,6	1	92,1	90	91,94	1
4 m		1,3	1	4,9	50	111,28	2	2	0,7	1	93,9	90	100,24	3
5 m		1,3	1	4,2	50	101,48	0	0	0,7	1	93,9	90	92,23	1
5 m		2,6	1	11,7	97	118,78	3	3	0,8	1	92,0	90	88,79	0
5 m		1,4	1	10,3	97	110,53	2	2	0,8	1	85,4	50	87,34	0
5 m		1,7	1	8,6	97	105,17	1	1	0,8	1	93,9	90	94,81	1
4 m		1,4	1	4,2	50	105,65	1	1	0,8	1	93,9	90	89,82	0
4 w		2,6	1	18,1	97	116,04	3	3	0,8	1	92,2	90	110,28	3
7 m		1,6	1	9,5	97	107,17	1	1	0,8	1	90,5	75	92,87	1
4 w		0,6	0	14,0	97	102,35	0	0	1,0	1	92,1	90	94,28	1
4 w		1,3	1	7,8	97	115,28	3	3	1,0	1	91,3	90	91,11	1
4 m		0,2	0	0,7	25	104,29	1	1	1,0	1	88,2	50	89,86	0
7 m		2,1	1	15,2	97	118,44	3	3	1,1	0	90,1	75	87,36	0
4 m		1,9	1	10,8	97	110,23	2	2	1,1	0	92,8	90	84,27	0
8 w		0,4	0	0,0	25	100,68	0	0	1,2	0	92,8	90	91,70	1
6 m		1,2	1	8,3	97	106,31	1	1	1,3	0	90,8	75	89,94	0
5 m		2,1	1	11,5	97	118,98	3	3	1,3	0	83,3	50	90,85	1
12 m		0,3	0	1,3	25	101,09	0	0	1,4	0	88,8	75	86,07	0
6 m		1,4	1	5,2	75	104,98	1	1	1,4	0	86,6	50	81,99	0
3 w		1,5	1	11,5	97	104,84	1	1	1,5	0	86,1	50	85,48	0
4 w		1,4	1	9,3	97	104,17	1	1	1,6	0	85,1	50	82,18	0
5 m		1,7	1	8,1	97	111,67	2	2	1,9	0	87,0	50	84,80	0
6 m		2,3	1	11,5	97	109,12	2	2	1,9	0	86,0	50	86,94	0
4 w		1,6	1	12,3	97	109,56	2	2	2,0	0	84,4	50	86,43	0
5 m		1,2	1	7,0	97	119,85	3	3	2,0	0	83,6	50	84,52	0
7 m		2,2	1	12,8	97	113,67	3	3	2,1	0	84,4	50	78,86	0
6 w		0,8	0	5,0	75	108,92	2	2	2,1	0	83,3	50	80,87	0
4 w		0,2	0	9,8	97	105,05	1	1	2,1	0	88,1	50	87,16	0
4 w		1,4	1	5,5	75	116,68	3	3	2,2	0	88,0	50	84,65	0
4 m		1,8	1	10,6	97	107,81	1	1	2,2	0	87,3	50	87,72	0
5 w		1,0	1	2,6	25	105,93	1	1	2,3	0	99,2	97	76,59	0
5 m		1,4	1	7,4	97	103,64	0	0	2,3	0	92,2	90	94,71	1
6 m		0,9	0	5,1	75	102,11	0	0	2,3	0	80,8	25	77,67	0
9 m		0,2	0	4,3	50	112,10	3	3	2,4	0	82,9	50	75,98	0
5 m		1,1	1	5,1	75	104,48	1	1	2,4	0	81,5	25	84,35	0
4 m		0,9	0	5,3	75	112,15	3	3	2,6	0	84,4	50	78,78	0
5 m		1,5	1	8,0	97	112,70	3	3	2,7	0	84,4	50	87,16	0
8 m		1,5	1	7,7	97	112,74	3	3	2,7	0	83,1	50	85,37	0
5 m		1,3	1	3,8	50	107,30	1	1	2,7	0	81,7	25	86,49	0
4 m		1,5	1	11,6	97	110,58	2	2	3,0	0	77,1	25	79,28	0
Summe Cut-Off Überschreitung			38		32		42	28		23		10		10

Tabelle 6

Ergebnisse (selbige wie in Tabelle 5) der Schweregradeinteilungen der jeweiligen Messmethoden Zirkelmessung, 3D-Photogrammetrie und Plagiocephalometrie.

Tabelle sortiert nach Überschreitung des Cut-Off der Zirkelmessung für Brachycephalie.

rot = Überschreitung des jeweiligen Cut-Off bei Plagiocephalie.

orange = Überschreitung des jeweiligen Cut-Off bei Brachycephalie.

Plagiozephalie

Nach Beurteilung der Schädeldeformitäten von 51 Säuglingen kommt es nach der Zirkel- und Maßbandmessung unter Verwendung des klinischen Cutoffs von CVA (Synonym: ODD) ≥ 1 cm zu 38, bei der 3D-Photogrammetrie mit dem Cutoff S30CVAI ≥ 97 . Perzentile zu 32 und nach der Plagiocephalometrie mit dem Cutoff bei ODDI ≥ 104 % (Klasse 1) zu 42, und bei beim Cutoff ODDI ≥ 108 % (Klasse 2) zu 28 Behandlungsindikationen (s. Tabelle 5).

Brachyzephalie

Nach Beurteilung der Schädeldeformitäten von 51 Säuglingen kommt es nach der Zirkel- und Maßbandmessung unter Verwendung des Cutoffs Länge-Breite-Differenz $\leq 1,0$ cm zu 23, bei der 3D-Photogrammetrie mit dem Cutoff CI ≥ 97 . Perzentile zu 10 und nach der Plagiocephalometrie mit dem Cutoff CPI ≥ 95 % (Klasse 2) ebenfalls zu 10 Behandlungsindikationen (s. Tabelle 6).

Zirkelmessung und 3D-Photogrammetrie

Es fällt dabei auf, dass sowohl bei der Plagiozephalie als auch bei der Brachyzephalie jeweils alle Kinder, die bei der 3D-Photogrammetrie den Cutoff überschreiten, zuvor bis auf bei der Plagiozephalie in zwei Fällen und bei der Brachyzephalie in einem Fall durch die Zirkelmessung ebenfalls eine Behandlungsindikation erhalten. Im Umkehrschluss bestätigt bei der Plagiozephalie die Vermessung mittels 3D-Photogrammetrie die Behandlungsindikation nur bei 30 der 38 Kinder, für die diese nach der Zirkelmessung ausgesprochen wurde. Bei der Brachyzephalie bestätigt die Vermessung mittels 3D-Photogrammetrie die Behandlungsindikation nur bei 9 der 16 Kinder, für die diese nach der Zirkelmessung ausgesprochen wurde.

Zirkelmessung und Plagiocephalometrie

Bei der Plagiozephalie gibt es nach Vermessung mittels Plagiocephalometrie und gewähltem Cutoff von \geq Klasse 1 sechs, bei \geq Klasse 2 vier Kinder, die nicht zuvor durch die Zirkelmessung eine Behandlungsindikation erhalten haben. Im Umkehrschluss bestätigt bei der Plagiozephalie die Vermessung mittels Plagiocephalometrie die Behandlungsindikation mit dem Cutoff ≥ 1 bei 37 der 38 Kinder, für die diese zuvor nach der Zirkelmessung ausgesprochen wurde, beim Cutoff ≥ 2 bei 24 der 38 Kinder. Bei der

Brachyzephalie haben alle Kinder, die bei der Plagiocephalometrie den Cutoff $\geq 95\%$ (Klasse 2) überschreiten, bis auf in einem Fall zuvor unter Verwendung der Zirkelmessung eine Behandlungsindikation erhalten. Umgekehrt bestätigt die Vermessung mittels Plagiocephalometrie die Behandlungsindikation bei 9 der 16 Kinder, für die diese nach der Zirkelmessung ausgesprochen wurde.

4 Diskussion

4.1 Hintergrund

Die Inzidenz lagebedingter Schädeldeformitäten stieg zu Beginn der 1990er Jahre mit der Umsetzung der Empfehlungen zur Rückenlagerung von Säuglingen während des Schlafens im Rahmen der *Back to Sleep Campaign* zur Verringerung der Inzidenz des SIDS deutlich an (Argenta *et al.*, 1996)(Turk *et al.*, 1996)(Graham *et al.*, 2005). Seitdem publizieren weltweit und mit zunehmender Zahl Ärzte und Wissenschaftler zur Pathogenese, Diagnostik und Therapie von lagebedingten Schädeldeformitäten, die sich aber über die dafür zu verwendenden Vermessungsmethoden, Cutoffs und Schweregradeinteilungen uneinheitlich äußern (Bialocerkowski, Vladusic and Wei Ng, 2008)(McGarry *et al.*, 2008)(Wilbrand *et al.*, 2014)(Pivar and Scheuerle, 2006)(Christofides and Steinmann, 2010)(Di Rocco *et al.*, 2012). Da es an validen Studien fehlt, die diese miteinander vergleichen, sollen mit dieser Arbeit die gängigsten Messmethoden (Zirkelmessung, 3D-Photogrammetrie und Plagiocephalometrie) zur Diagnostik von Schädeldeformitäten auf ihre klinische Anwendbarkeit hin untersucht und einschließlich ihrer Schweregradeinteilungen miteinander verglichen werden.

Zu diesem Zweck wurden die Fragestellungen 1 – 3 dieser Arbeit unabhängig voneinander evaluiert. Die daraus gewonnen Erkenntnisse werden in der Schlussfolgerung dieser Arbeit zusammengefasst.

4.2 Beurteilung der Ergebnisse

4.2.1 Fragestellung 1

Uns interessierte zunächst die in den Niederlanden verbreitete und international anerkannte Vermessungsmethode zur Evaluierung lagebedingter Schädeldeformitäten namens Plagiocephalometrie klinisch auf ihre Reproduzierbarkeit und Wiederholbarkeit hin zu untersuchen. Wir ermittelten daher, ob Messunterschiede auftreten, wenn unterschiedliche Untersucher die Messungen am selben Kind vornehmen (Interrater-Variabilität) oder ein und dieselbe Person (Intrater-Variabilität) wiederholt Messungen am selben Kind vornimmt.

Bei der Betrachtung der Inter- und Intrater-Variabilität der Plagiocephalometrie kamen wir zu folgenden Ergebnissen.

Die mit weitem Abstand größte an der durchschnittlichen Gesamtvarianz anteilige Subjekt-Variabilität mit 95,77 %, lässt sich dadurch erklären, dass der Kopf eines jeden Patienten durch seine unterschiedliche Form an den Gesamtmessunterschieden zwischen den Schädelparametern logischerweise den größten Anteil hat. Aus der Varianzkomponentenanalyse ist ein kleiner Anteil der Varianz durch die Faktoren nicht erklärbar und deswegen dem Fehler zugeordnet. Diese Fehlervarianz beträgt im Durchschnitt 0,98 %.

Die Vermessung der Kopien erfolgte durch drei Personen, die sich in ihrem Alter, Geschlecht und medizinischen Bildungsstand voneinander unterscheiden. Trotzdem weisen die interessierende Reproduzierbarkeit und Wiederholbarkeit im Durchschnitt ebenfalls sehr geringe Anteile an der Gesamtvarianz mit 2,41 % und 0,7 % auf. Daher beurteilen wir die Plagiocephalometrie, wie sie in unserer Studie Anwendung fand, als eine zur Vermessung von lagebedingten Schädeldeformitäten Untersucher-unabhängige Methode.

Die Formabnahme der Plagiocephalometrie wurde in unserer Studie nur einmal von ein und demselben Untersucher vorgenommen und anschließend neunmal kopiert. Anschließend wurden die identischen neun Kopien von drei verschiedenen Untersuchern jeweils dreimal manuell ausgemessen. Das Anlegen des thermoplastischen Streifens ist jedoch der Teil der Untersuchung, der Expertise erfordert und zeitlich durch zunächst das Erweichen und anschließende Erhärten des thermoplastischen Streifens limitiert ist. Es wären evtl. größere Inter- und Intrarater-Variabilitäten zu erwarten gewesen, wenn unterschiedliche Untersucher die plastische Formabnahme wiederholt durchgeführt hätten. Wir stellen daher limitierend fest, dass bei der Plagiocephalometrie das neunmalige Anlegen unterschiedlicher thermoplastischer Bänder und nicht nur das einmalige Anlegen eines einzelnen thermoplastischen Bandes pro Kind mit anschließender neunmaliger Kopie ggf. zu einer größeren Inter- und/oder Intraratervariabilität geführt hätte.

Als Nachteile der Plagiocephalometrie als Messmethode sind zu nennen, dass der Zeitaufwand der Vermessung am Patienten mit durchschnittlich etwa 8 Minuten recht hoch ist. Zudem kam es durch die Verwendung und das wiederholte Aufgießen von kochendem Wasser zu bemerkenswerter Wärmeentwicklung im Untersuchungsraum. Das Anlegen des thermoplastischen Bandes impliziert die mehrminütige Manipulation

am kindlichen Kopf. Wie der Kopf des Kindes müssen auch die Arme des Säuglings zum Teil fixiert werden, um das Herabziehen des thermoplastischen Streifens durch das Kind zu vermeiden. Die gesamte Situation führte in den meisten Fällen dazu, dass die untersuchten Kinder unruhig waren, sich gegen die Untersuchung wehrten und oft schrien. Das neunmalige Anlegen hätte zu einer neunmal so langen Untersuchungszeit – $9 \times 8 \text{ Minuten} = 72 \text{ Minuten}$ Untersuchungszeit pro Kind –, höherer Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Untersuchungsraum und mehrmaliger Manipulation am kindlichen Kopf geführt. Wir hielten es daher für die Eltern und das zu untersuchende Kind schlichtweg nicht für zumutbar, von drei Untersuchern insgesamt das neunmalige Anlegen von thermoplastischen Bändern durchführen zu lassen.

Unsere Ergebnisse bestätigen die Ergebnisse der Studien zur Plagiocephalometrie von van Vlimmeren et al. von 2005 (Van Vlimmeren *et al.*, 2005) und Feijen et al. von 2012 (Feijen *et al.*, 2012). Auch wir kommen zu dem Schluss, dass die Plagiocephalometrie ein Untersucher-unabhängiges und relativ kostengünstiges Verfahren (etwa 3,25 Euro pro thermoplastischer Streifen) zur Vermessung von lagebedingten Schädeldeformitäten ist. Jedoch ist die notwendige Expertise, der Zeitaufwand sowie der für das Kind entstehende Diskomfort aus unserer Sicht hoch und ein klarer Nachteil im Vergleich zu den anderen hier vorgestellten Verfahren zur Vermessung lagebedingter Schädeldeformitäten.

4.2.2 Fragestellung 2

Mit der Fragestellung 2 wollten wir untersuchen, wie sich die Mittelwerte der gleichen Indices CI und CVAI, die mit den gemessenen Parametern jedes Vermessungsverfahrens errechnet wurden, zueinander verhalten.

Bei Bland-Altman-Diagrammen weisen Punkte auf der x-Achse keine Differenz der zugehörigen Werte der beiden Messmethoden auf. Hier haben also beide Messmethoden den identischen „wahren“ Wert gemessen. Je weiter die Punkte nach „oben“ oder „unten“ von der x-Achse – also in Richtung der y-Achse – abweichen, umso größer ist die Differenz zwischen den beiden Werten, die von den beiden Messmethoden ermittelt wurden. Weiter „links“ in dem Koordinatensystem ist die Verteilung für „kleinere“ und weiter „rechts“ für größere Messwerte des Goldstandards dargestellt. Aus dem Diagramm lassen sich also visuell folgende Informationen ableiten:

- der voraussichtlich tatsächliche „wahre“ Wert, der von beiden Messverfahren ermittelt wurde (Werte auf der x-Achse; $y = 0$)
- der Bereich, in dem 95 % aller Einzelmesswerte liegen: *upper and lower limits of agreement*
- der *bias*, also ob und in welchem Ausmaß systematische Messfehler vorliegen (Lage der durchschnittlichen Messdifferenz ober- oder unterhalb der Nulllinie)
- ob Ausreißer unter den Messwerten vorliegen
- ob die Streuung der abweichenden Messwerte von der Höhe der Messwerte abhängt

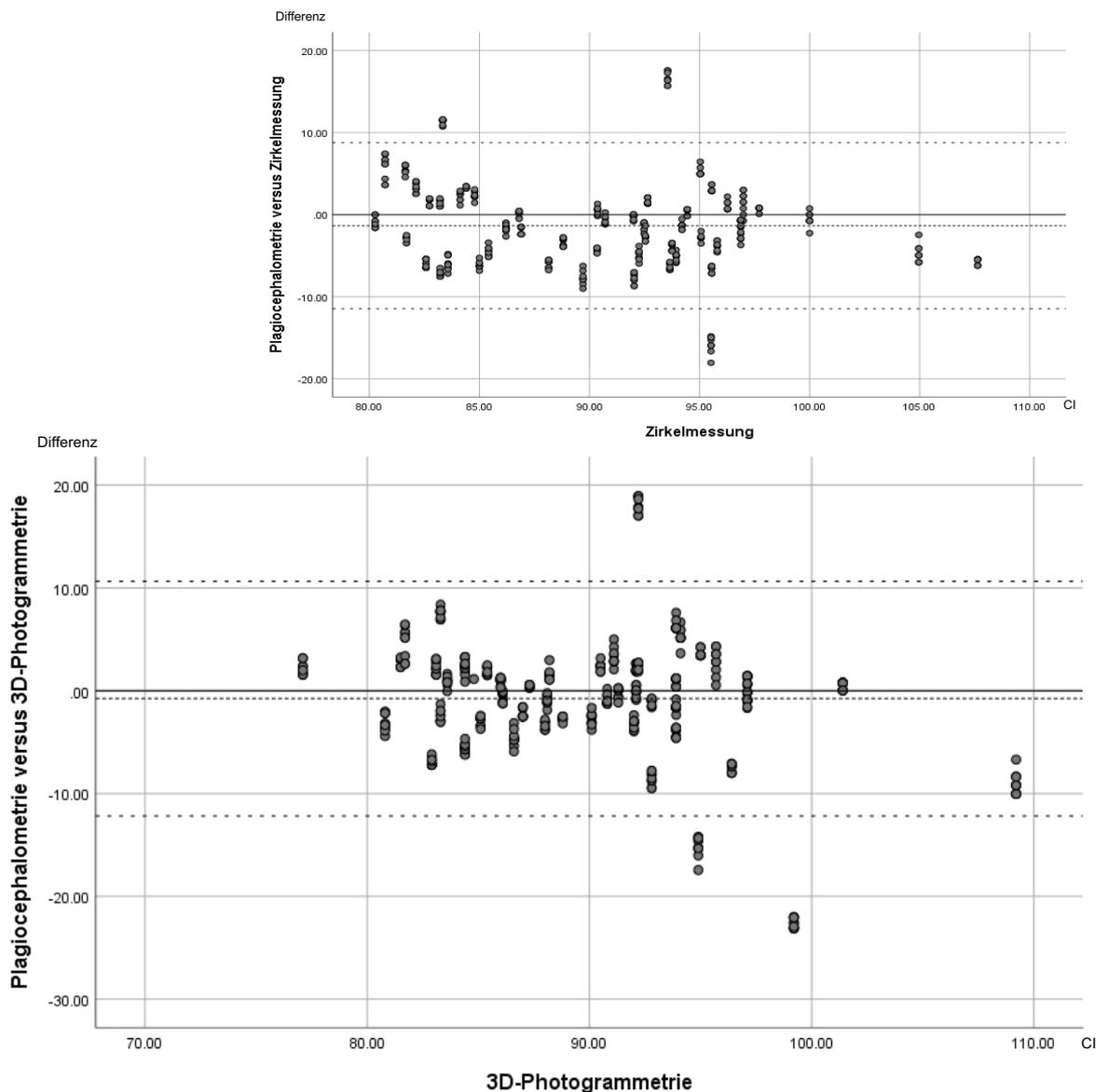


Abbildung 17

Vergleich der Bland-Altman-Diagramme von Plagiocephalometrie versus Zirkelmessung mit Plagiocephalometrie versus 3D-Photogrammetrie zur Untersuchung des CI. Vereinheitlichte x-Achse in beiden Diagrammen zum visuellen Vergleich der Punktwolken.

Betrachten wir zunächst den CI. Zur Illustration wurden in dieser Abbildung die Bland-Altman-Diagramme „Plagiocephalometrie versus Zirkelmessung“ (PvZ) und „Plagiocephalometrie versus 3D-Photogrammetrie“ (Pv3D) so positioniert, dass die x-Achsen-Abschnitte auf derselben Höhe liegen (s. Abbildung 17). Wir erkennen, dass sich im Gesamtbild die Punktwolken der beiden Diagramme ähneln.

Wir stellen aber fest, dass die Punktwolke PvZ im Vergleich zu Pv3D leicht „nach unten“ verschoben ist, was ebenfalls durch den systematischen Fehler bei PvZ von -1,35 im Vergleich zum systematischen Fehler bei Pv3D von -0,77 ersichtlich ist. Die Zirkelmessung misst also tendenziell einen eher brachycephalen/runden (höherer CI) und die Plagiocephalometrie und 3D-Photogrammetrie eher einen ovalen Kopf (niedriger CI).

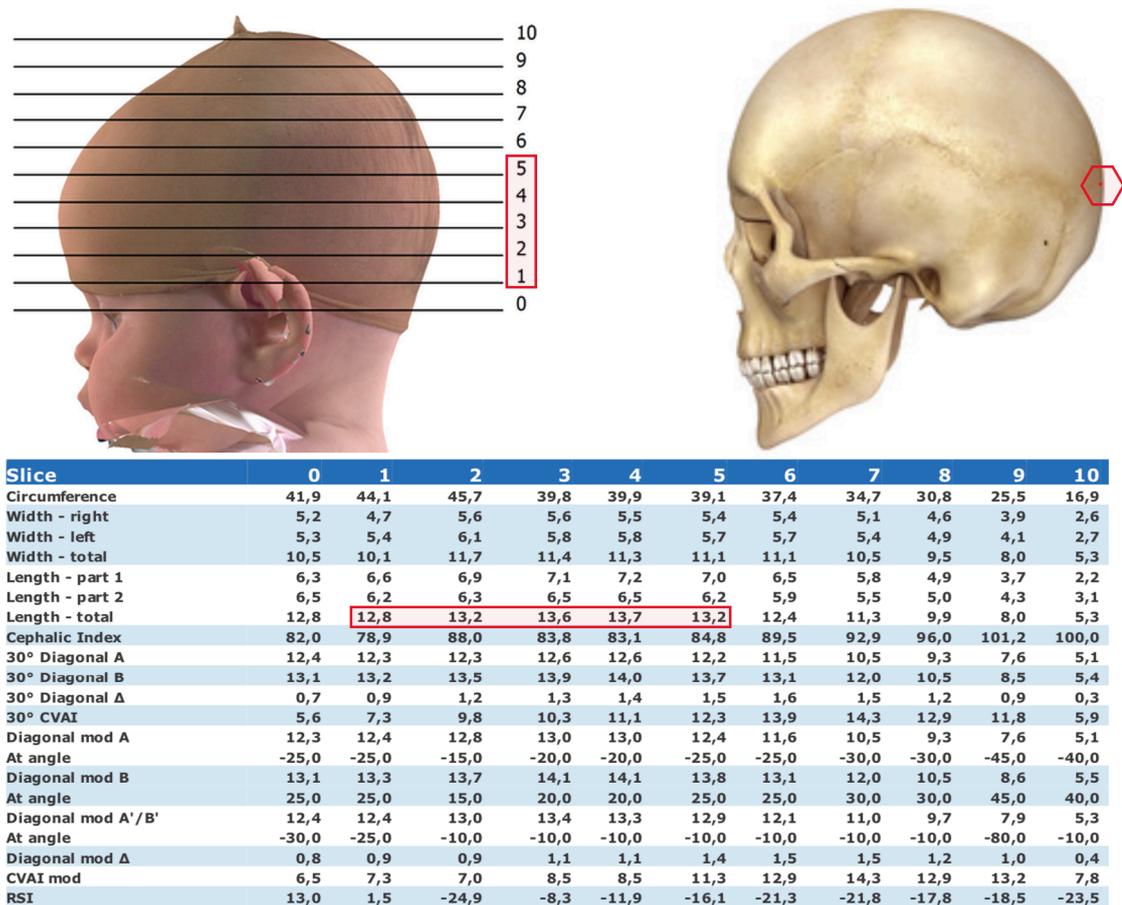


Abbildung 18

links oben: digitaler kindlicher Kopf in Software mit projizierten Schnittebenen zur Vermessung mittels 3D-Photogrammetrie.

unten: Beispiel Software Cranioform Analytics 4.0 Auswertungstabelle.

Quelle: <https://www.cranioform.de/fuer-aerzte/medizinische-informationen.html> - Stand: 16.07.2019.

rechts-oben: Position des Punktes Opistocranium am menschlichen Schädel.

Zur Erklärung dieses Sachverhalts betrachten wir die vom Kopforthesen-Hersteller Cranioform bereitgestellte Abbildung mit Projektion der zur Frankfurter Horizontalen parallelen Ebenen auf einen digitalen Kinderschädel und die Beispieltabelle der ermittelten Schädelparameter für die Messebenen eines Kinderschädels (s. Abbildung 18). Bei der Plagiocephalometrie wird versucht, die Vermessung streng horizontal auf Höhe des größten transversalen Kopfdurchmesser durchzuführen. Hier entspricht der größte transversale Kopfdurchmesser und damit die Messebene der Plagiocephalometrie der Ebene 4.

Bei der Zirkelmessung wird im Gegensatz dazu die Länge vom Augenbrauenmittelpunkt – der Glabella – zum Opistocranium gemessen. Wenn man auf der Abbildung 18-oben-links die horizontale Linie wählt, auf der die Augenbrauen liegen, entspricht dies am ehesten der Ebene 1 oder 2. Der am weitesten nach vorne stehende skelettale Teil des Kopfes ist aber bei Kindern die Stirn, die sich – wie in der Abbildung 18-oben-rechts zu sehen – eher auf Ebene 4 befindet. Das Opistocranium liegt in dieser Darstellung auf Ebene 3 oder 4. Es wird schnell klar, dass dieses Ebenenmodell die Messebene der Zirkelmessung nicht gut darstellt. Bei manchen Kindern mag eine der Ebenen genau die Messung von Glabella zu Opistocranium darstellen, bei anderen Kindern liegen diese aber auf verschiedenen Ebenen.

Es werden also bei den unterschiedlichen Vermessungsverfahren auf unterschiedlichen horizontalen Ebenen am kindlichen Schädel Distanzen gemessen. Zudem unterstellen wir, dass ein Untersucher möglicherweise dazu tendiert von der standardisierten Messung parallel zur Frankfurter Horizontalen abzuweichen und an besonders klinisch imponierenden Stellen zu messen – hier etwa eine besonders kurze Schädelänge. Es erscheint uns insgesamt ersichtlich, dass unter Verwendung der Zirkelmessung die Länge des Kopfes im Vergleich zur Plagiocephalometrie kürzer gemessen wird. Dies führt bei der Zirkelmessung zu insgesamt größeren CI-Werten als bei der Plagiocephalometrie und erklärt den systematischen Fehler bei PvZ von -1,35.

Für die 3D-Photogrammetrie wurde in Gießen die Ebene 5 als Referenzebene zum Ablesen der Schädelstrecken definiert. Es erscheint uns daher als logisch, dass die benachbarten Ebenen 4 der Plagiocephalometrie und 5 der 3D-Photogrammetrie zu ähnlicheren Ergebnissen kommen, wie der geringe systematische Fehler bei Pv3D von -0,77 belegt. Da die Ebene 4 den größten Schädelstrecke widerspiegelt, misst die

3D-Photogrammetrie eine kürzere Schädelgröße im Vergleich zur Plagiocephalometrie (Ebene 5). Hingegen misst die 3D-Photogrammetrie eine größere Schädelgröße im Vergleich zur Zirkelmessung und damit geringere CI-Werte.

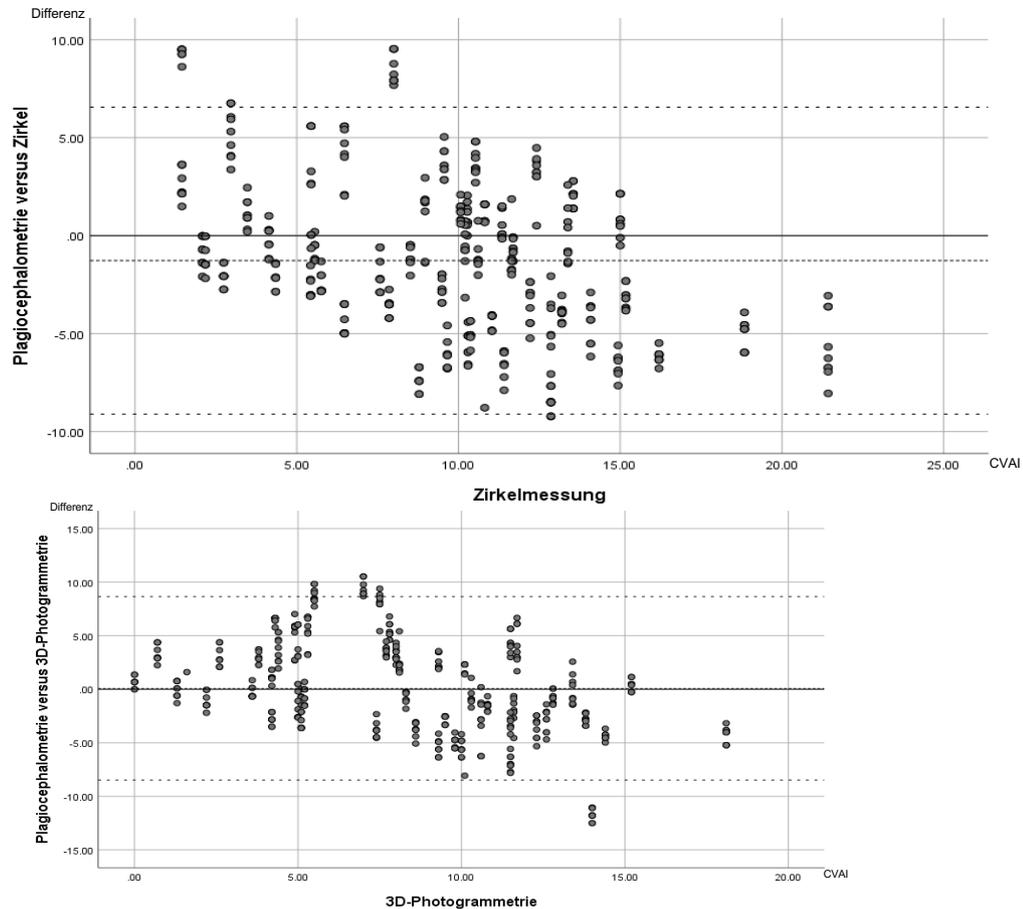


Abbildung 19

Vergleich der Bland-Altman-Diagramme zur Untersuchung des CVAI von Plagiocephalometrie versus Zirkelmessung mit Plagiocephalometrie versus 3D-Photogrammetrie. Vereinheitlichte x-Achse in beiden Diagrammen zum visuellen Vergleich der Punktwolken.

Betrachten wir nun den CVAI. Die Punktwolken der CVAI-Diagramme „Plagiocephalometrie versus Zirkelmessung“ (PvZ) und „Plagiocephalometrie versus 3D-Photogrammetrie“ (Pv3D) ähneln sich nicht in der Form wie dies für den CI der Fall war. Der systematische Fehler des Diagramms PvZ beträgt -1,27 und die Messwerte zeigen eine klar abfallende Tendenz. Die Messwerte des CVAI im Diagramm Pv3D weisen keine klare Tendenz auf und nivellieren zu einem systematischen Fehler von 0,07. Lediglich bei starken Deformitäten scheint die Plagiocephalometrie die Werte der 3D-Photogrammetrie zu unterschätzen.

Als einen Grund hierfür sehen wir die Tatsache, dass die Schädeldiagonalen an verschiedenen Schädelpunkten gemessen werden. Bei der Zirkelmessung werden die lateralen Diagonalen von der lateralen Oberkante der Augenbraue des Säuglings (fronto-temporaler Punkt „ft“) zur Lambdanaht der Gegenseite idealer Weise parallel zur Frankfurter Horizontalen gemessen (s. Abbildung 20). Bei der 3D-Photogrammetrie werden im festgelegten 30°-Winkel und bei der Plagiocephalometrie im 40°-Winkel zur Längsachse diagonale Linien bis zur Schädelaußenkante gezogen, die durch den Schnittpunkt der Längs- und Querachse verlaufen. Dies ist bei der Zirkelmessung nicht zwangsläufig der Fall. Bei der Zirkelmessung werden die Schädeldiagonalen also durch skelettale Messpunkte, bei der 3D-Photogrammetrie und der Plagiocephalometrie durch festgelegte Winkel bestimmt. Wir konnten für die festgelegten Winkel in der Literatur keine Begründung zu deren Auswahl finden (Loveday and de Chalain, 2001).

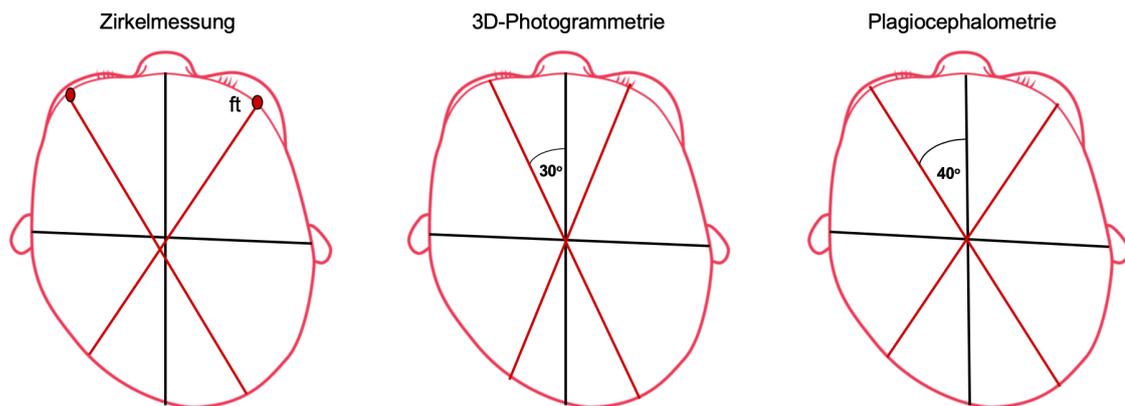


Abbildung 20

Vergleich der Messpunkte- und Winkel für die Ermittlung des Schädeldiagonalen ODL und ODR der verschiedenen Messmethoden.

Eine Erklärung für die Messunterschiede im Diagramm PvZ könnte daher lauten, dass geringere Schädeldeformitäten zunächst bei einem Winkel von 40° zur Schädellängsachse auftreten und im progressiven Verlauf am stärksten an der Lambdanaht imponieren. Wie die Punktwolke des PvZ-Diagramms zeigt, würde die Plagiocephalometrie dann kleinere Werte der Zirkelmessung über- und größere CVAI-Werte unterschätzen.

Dies erklärt jedoch nicht die Messunterschiede des Diagramms Pv3D, wo sich die Schädeldiagonalen lediglich in einem unterschiedlichen Winkel zur Längsachse (AP) unterscheiden, sonst aber genau gleich ermittelt werden.

Bei der Analyse der Messergebnisse zum CVAI fiel uns folgende weitreichende Tatsache auf: Der CVAI gilt als ein Standardparameter zur Beschreibung der Asymmetrie des kindlichen Schädels und wurde von Loveday und De Chalain im Jahr 2001 erstmals als [(Differenz der Schädeldiagonalen geteilt durch die kürzere Diagonale) x 100] definiert (Lit.). Die Autoren neuerer Publikationen und Übersichtsarbeiten verwenden jedoch offenkundig eine Modifikation der ursprünglichen Definition [(Differenz der Schädeldiagonalen geteilt durch die längere Diagonale) x 100] (Lit.). Wann, wo und aus welchem Grund hier in der wissenschaftlichen Literatur diese Modifikation eingeführt wurde, wird in keiner der untersuchten Arbeiten erklärt. Es wird nicht klar, ob die Änderung der Definition des CVAI wissenschaftlich ausreichend begründet ist oder ob hier lediglich fehlerhaft publiziert wurde.

Für die Vergleichbarkeit der hier vorgestellten Ergebnisse hat diese Uneinheitlichkeit in der Literatur die Konsequenz, dass bei der Berechnung des CVAI aus den Messwerten der Zirkelmessung und der Plagiocephalometrie durch die längere Schädeldiagonale geteilt wurde, wie in einer Vielzahl der Publikationen welche zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit erschienen sind. Hierzu gehört z. B. eine Übersichtsarbeit zu lagebedingten Schädeldeformitäten im Deutschen Ärzteblatt aus 2017 von Linz et al. und illustriert durch führende Institutionen wie das Boston Children's Hospital & Children's Healthcare of Atlanta (Graham *et al.*, 2005) (Kim, Kwon and Park, 2014)(Linz *et al.*, 2017)(Wolf, 2017)(Graham *et al.*, 2020)(Foster *et al.*, 2020). Bei der Darstellung des CVAI aus der 3D-Photogrammetrie jedoch erfolgte die Division der Differenz der Schädeldiagonalen durch die kürzere Diagonale, wie es in einer großen Zahl anderer Publikationen zum Thema zu finden ist (Loveday and de Chalain, 2001)(Yin, Dong and Yang, 2015)(Freudlsperger *et al.*, 2016)(Lee, Kim and Kwon, 2018)(Di Rocco *et al.*, 2019)(González-Santos *et al.*, 2020)(Wen *et al.*, 2020)(Kim *et al.*, 2020).

Was dies für unsere Ergebnisse bedeutet, soll anhand eines simplen Beispiels dargestellt werden, bei dem von einer Diagonale A von 14 cm und Diagonale B von 12 cm ausgegangen wird:

$(14 - 12) \times 100 / 12 = 16,7 \rightarrow$ die 3D-Photogrammetrie wird eine schwerere Plagiozephalie einschätzen

$(14 - 12) \times 100 / 14 = 14,3 \rightarrow$ die Plagiocephalometrie wird eine geringere Plagiozephalie einschätzen

Logischerweise liegt die Differenz der Schädeldiagonalen bei geringer Plagiozephalie näher beieinander und nimmt bei schwererer Plagiozephalie zu. In unserer Arbeit beobachten wir daher, dass beim Vergleich der unterschiedlichen Messmethoden schwerere Plagiozephalien, – wobei dies nur für den Parameter CVAI gilt –, durch die 3D-Photogrammetrie schwerer und durch die Plagiocephalometrie geringer eingeschätzt werden (Abbildung 19).

Die Vergleichbarkeit der Plagiocephalometrie mit der Zirkelmessung im Hinblick auf den Parameter CVAI ist gegeben, da hier die Berechnung einheitlich erfolgte. Für die in dieser Arbeit festgestellten Messunterschiede des CVAI bei der Zirkelmessung verglichen mit der Plagiocephalometrie kann also eine variierende Berechnung des Parameters nicht verantwortlich sein.

Zusätzlich erscheinen uns variierende Messebenen und -winkel der verschiedenen Messmethoden für unterschiedliche CI- und CVAI-Werte mitverantwortlich zu sein. Weiterhin könnten noch andere, uns unbekannte Faktoren ebenfalls die Messergebnisse beeinflussen, die in dieser Studie unberücksichtigt bleiben. Daher bedarf es weiterer Studien mit größeren Fallzahlen, um diese nicht bekannten Faktoren identifizieren und tiefergehend untersuchen zu können.

Um die Messgenauigkeit der verschiedenen Messverfahren zukünftig vergleichen zu können, wäre es wichtig, die Messverfahren auf derselben Schädelebene/-höhe und an denselben Schädelpunkten messen zu lassen sowie die Indices national und international einheitlich zu berechnen, um Messunterschiede aufgrund von differierenden Winkeln, Rechnungen und Ebenen ausschließen zu können. Hierin liegt eine große Limitation zur Vergleichbarkeit der Daten zu kindlichen Schädeldeformitäten und Ihrer Vermessung.

4.2.3 Fragestellung 3

Mit der Fragestellung 1 untersuchten wir die Plagiocephalometrie im Hinblick auf die Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit mittels einer Varianzkomponentenanalyse.

Mit der Fragestellung 2 verglichen wir die Plagiocephalometrie mit den beiden Gießener Goldstandard-Verfahren zur Vermessung lagebedingter Schädeldeformitäten namens Zirkelmessung und 3D-Photogrammetrie. Dies geschah, indem mit den gemessenen Parametern jeder Vermessungsmethode zunächst jeweils die gleichen Indices CI und CVAI gebildet und diese anschließend miteinander verglichen wurden.

Nach ursprünglich vorgesehenem Protokoll jedes Messverfahrens wurden in der klinischen Anwendung aber je nach Untersuchung ganz verschiedene Indices zur Beurteilung von Schädeldeformitäten gebildet, die wiederum mit unterschiedlichen Tabellen zu deren Schweregradeinteilung beurteilt wurden.

Mit der Fragestellung 3 untersuchen wir, inwieweit die Anwendung der drei Vermessungsverfahren mit deren eigenen zugehörigen Indices, Cutoffs und Schweregradeinteilungen zu unterschiedlichen Behandlungsindikationen bei vorliegenden lagebedingten Schädeldeformitäten führt. Wir wollen also nicht nur die Vermessungsverfahren, sondern auch deren zugehörige Indices und Cutoffs sowie Schweregradeinteilungen beurteilen. Die Schweregradeinteilung der Ergebnisse der Zirkelmessung und der 3D-Photogrammetrie wurden in dieser Studie so vorgenommen, wie es in der klinischen Praxis der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen das Goldstandard-Verfahren darstellt (Wilbrand *et al.*, 2011)(Wilbrand *et al.*, 2017). Die Schweregradeinteilung der Ergebnisse der Plagiocephalometrie wurde anhand der im Untersuchungsprotokoll mitgelieferten Tabelle zur Schweregradeinteilung von van Vlimmeren vorgenommen (Van Vlimmeren *et al.*, 2005), wie sie in den Niederlanden praktiziert wird.

4.2.3.1 Beurteilung und Vergleich der Schweregradeinteilungen

Schweregradeinteilung Zirkelmessung:

In der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen findet zur Beurteilung der mittels Zirkelmessung erhobenen Messwerte ein festgelegter klinischer Cutoff für den Parameter CVA von $\geq 1,0$ cm für die Plagiozephalie

und für die Länge-Breite-Differenz von $\leq 1,0$ cm für die Brachyzephalie Anwendung. Bei brachyzephalen und plagiozephalen Asymmetrien zwischen einem und zwei Zentimetern wird ggf. mit den Eltern eine abwartende Haltung und Physiotherapie für das Kind für einige Monate besprochen, um eine evtl. Rückbildung abzuwarten. Sollte dann das Kind weiterhin eine Asymmetrie aufweisen wird eine Helmtherapie empfohlen. Diese Cutoffs zur Behandlungsindikation weisen keine empirische Grundlage auf, sondern deren Auswahl beruht auf Erfahrungswerten der praktizierenden Ärzte der Klinik. Der besagte „eine Zentimeter“ scheint die Schwelle zu sein, ab deren Überschreitung eine lagebedingte Schädeldeformität augenscheinlich als „schwer“ einzustufen ist (Blecher and Howaldt, 1998).

Moss et al. legten 1997 einen Cutoff für den CVA von $\geq 1,2$ cm zur Behandlungsindikation für die Helmtherapie fest, nannten jedoch ebenfalls keine Begründung für dessen Auswahl (Moss, 1997). Es scheint sich wie beim Gießener Cutoff um eine willkürliche oder klinisch imponierende Seitendifferenz zu handeln. Unter der Verwendung dieses CVA-Cutoffs $\geq 1,2$ cm kommt es mittels Zirkelmessung bei der Untersuchung der Plagiozephalie zu 36 Behandlungsindikation im Vergleich zu 38 Behandlungsindikationen bei einem Cutoff von $\geq 1,0$ cm. Da uns dieser Unterschied gering erscheint und Moss et al. keine Angabe zu einem alternativen Cutoff bei der Brachyzephalie nannten, nutzen wir in dieser Arbeit den in Gießen etablierten Cutoff von $\geq 1,0$ cm und $\leq 1,0$ cm zur Behandlungsindikation bei Plagio- und Brachyzephalie.

Zusammengefasst handelt es sich bei der Zirkelmessung um ein direktes anthropometrisches Messverfahren, deren Schweregradeinteilung mit einem Cutoff bei einem Zentimeter lediglich beschreibt, ob eine Behandlungsindikation besteht oder nicht. Eine weitere Graduierung in „Unter-Schweregrade“ wird nicht vorgenommen.

Schweregradeinteilung 3D-Photogrammetrie:

In der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen findet zur Beurteilung der Messwerte, die mittels 3D-Photogrammetrie erhoben wurden, die 2017 publizierte Perzentiltabelle für lagebedingte Schädeldeformitäten von Wilbrand et al. Anwendung (Wilbrand *et al.*, 2017). Im selben Jahr wurde von Holowka et al. eine alternative Tabelle zur Schweregradeinteilung der Plagiozephalie veröffentlicht (Holowka *et al.*, 2017). Diese beiden zum Zeitpunkt der Anfertigung dieser Arbeit

aktuellsten Schweregradeinteilungen zur Beurteilung von lagebedingten Schädeldeformitäten sollen hier miteinander verglichen werden.

Level	Clinical Presentation	Recommendation	CVAI
1	<ul style="list-style-type: none"> All symmetry within normal limits 	No treatment required	< 3.50
2	<ul style="list-style-type: none"> Minimal asymmetry in one posterior quadrant No secondary changes 	Repositioning program	3.5 to 6.25
3	<ul style="list-style-type: none"> Two quadrant involvement Moderate to severe posterior quadrant flattening Minimal ear shift and/or anterior involvement 	Conservative treatment: Repositioning program cranial remolding othosis (based on age and history)	6.25 to 8.75
4	<ul style="list-style-type: none"> Two or three quadrant involvement Severe posterior quadrant involvement Moderate ear shift Anterior involvement including noticeable orbit asymmetry 	Conservative treatment: cranial remolding othosis	8.75 to 11.0
5	<ul style="list-style-type: none"> Three or four quadrant involvement Severe posterior quadrant flattening Severe ear shift Anterior involvement including orbit and cheek asymmetry 	Conservative treatment: cranial remolding othosis	> 11.0

Tabelle 7

Schweregradeinteilung zur Evaluation der Plagiozephalie nach Holowka.

Quelle: Holowka, M. A. *et al.* (2017) 'Plagiocephaly Severity Scale to Aid in Clinical Treatment Recommendations', *Journal of Craniofacial Surgery* (Holowka *et al.*, 2017).

Wilbrands Perzentiltabelle für Schädeldeformitäten von 2017 (s. Tabelle 2) und ihre klinische Behandlungsindikation ab der 97. Perzentile je Alter und Geschlecht stimmt beim CVAI im Grundsatz inhaltlich mit der Schweregradtabelle von Holowka *et al.* von 2017 (s. Tabelle 7) überein. Die Wilbrand'sche 90. Perzentile (Behandlungsindikation: „can be treated“) liegt mit ihren Werten in der Regel am Übergang der Holowka'schen Klassen 2 zu 3 (Indikation zur physiotherapeutischen Repositionsbehandlung). Die Wilbrand'sche 97. Perzentile (Behandlungsindikation: „should be treated“) liegt mit ihren Werten in der Holowka'schen Klasse Schweregrad 3 (Abwägung ob Indikation zur physiotherapeutischen Repositionsbehandlung oder zur Helmtherapie gestellt werden soll). Holowka gibt darüber hinaus noch weitere Schweregrade bis zu einer Klasse 5 an, in der ein CVAI von >11 als Cutoff angesehen wird. Weitere Schweregradklassen oberhalb der 97. Perzentile finden keine Berücksichtigung in der Schweregradtabelle mit Perzentileinteilung von Wilbrand. Holowka beschreibt zudem für jede Klasse, wie sich der jeweilige Schweregrad klinisch präsentiert, dies beschreibt Wilbrand in seiner Einteilung nicht. In der Behandlungsempfehlung gleichen sich die beiden Tabellen in der Hinsicht, dass sie ungefähr bei einem CVAI von 6,0 eine Behandlungsindikation zur

Helmtherapie mittels Kopforthese aussprechen und bei geringeren Schädeldeformitäten eine physiotherapeutische Repositionsbehandlung für zunächst indiziert erachten. Eine Schweregradeinteilung über die 97. Perzentile hinaus empfinden wir als klinisch weniger wichtig, da die Behandlungsindikation und mögliche Therapie dieser Kinder ab Überschreitung der 97. Perzentile die gleiche ist. Es erscheint uns sinnvoll, die klinisch ermittelten Cutoffs mittels Perzentiltabelle von Wilbrand zur Behandlungsindikation für die Untersuchung des Patientenkollektivs dieser Studie zu nutzen, da sie in der Erweiterung von Holowka empirisch ermittelt Geschlecht und Alter der Kinder, sowie zusätzlich die Parameter Umfang, Länge, Breite, CVA, CI und *diag_ratio* berücksichtigen und damit eine differenzierte Einschätzung ermöglichen. Zudem nennen Holowka et al. keine Schweregradeinteilung für die Brachyzephalie sondern lediglich für die Plagiozephalie (Holowka *et al.*, 2017). Ab der Wilbrand'schen 97. Perzentile scheint die spontane Rückbildung der lagebedingten Schädeldeformität oder die Korrektur durch physiotherapeutische und manueller Therapie ausgeschlossen zu sein, weshalb ab diesem Cutoff die Behandlungsindikation mittels Helmtherapie gestellt wird (Wilbrand *et al.*, 2017).

Zusammengefasst misst die 3D-Photogrammetrie indirekt die Schäfeldistanzen unter Verwendung einer Analysesoftware, mit der zur Beurteilung einer möglichen Schädeldeformität die relativen Indices CVAI und CI gebildet werden. Die Perzentiltabelle der Vermessungsparameter wird von Wilbrand et al. empirisch in sieben Klassen unterteilt: 3., 10., 25., 50., 75., 90. und 97. Perzentile (Wilbrand *et al.*, 2017). Ab der 97. Perzentile wird für die jeweiligen Indices die absolute Behandlungsindikation zur Helmtherapie gestellt.

Schweregradeinteilung Plagiocephalometrie

Die Firma EKWIP (Evidence based Kinderfysiotherapie Wetenschap In Praktijk, Veghel, The Netherlands) vertreibt die von Herrn Leo A. van Vlimmeren entwickelte und seit 2004 im klinischen Alltag eingesetzte Plagiocephalometrie. Die „PCM Box“ enthält neben dem Untersuchungsprotokoll und -utensilien ebenfalls die Tabelle zur Schweregradeinteilung von van Vlimmeren (s. Tabelle 3). Da wir keine alternative Schweregradeinteilung zu dieser Tabelle in der Literatur fanden, entschieden wir uns lediglich für die zusätzliche Untersuchung eines anderen von van Vlimmeren et al. 2007 selbst genannten ODDI Cutoff von $\geq 104\%$ (Klasse 1 „mild“) zusätzlich zu dem mit der

Klasse 2 „schwer“ einhergehenden ODDI Cutoffs von ≥ 108 % aus ebendieser Tabelle (s. Tabelle 3) (van Vlimmeren *et al.*, 2007). Hier stellt sich die Frage, wie die konkreten Cutoffs der Schweregradeinteilung ermittelt wurden. Wir gehen davon aus, dass hier keine evidenzbasierte Tabellierung, sondern ggf. klinisch imponierende oder aufgrund von Expertise gewählte Werte bestehend aus ganzen Zahlen zur Festlegung eines Cutoffs genutzt wurden. Dies ist dann zu berücksichtigen, wenn es um die Beurteilung einer geeigneten Klassifikation zur Schweregradeinteilung von Schädeldeformitäten geht.

Zusammengefasst misst die Plagiocephalometrie indirekt Schäeldistanzen unter Verwendung thermoplastischer Streifen, deren Form durch eine einfache Kopie von einer dreidimensionalen Struktur in die zweidimensionale Ebene projiziert wird. Die Indices ODDI und CPI werden anschließend errechnet und es erfolgt die Schweregradeinteilung in die Klassen: „normal“, „mild“, „schwer“ und „sehr schwer“.

4.2.3.2 Beurteilung und Vergleich der Vermessungsverfahren

Wir untersuchten, welches Messverfahren unter Verwendung der eigenen Schweregradklassifikation eine Behandlungsindikation für die Plagiozephalie und die Brachyzephalie ausspricht.

Plagiozephalie: Wie in Tabelle 5 zu sehen ist, wird zunächst bei 38 Kindern durch die Zirkelmessung und ihrem klinischen Cutoff CVA (Synonym: ODD) $\geq 1,0$ cm eine Behandlungsindikation gestellt. Von den 32 Kindern, die durch die 3D-Photogrammetrie mit ihrem klinischen Cutoff S30CVAI ≥ 97 . Perzentile eine Behandlungsindikation erhalten, befinden sich 30 in der Kohorte der 38 Kinder, die diese zuvor durch die Zirkelmessung erhalten haben. In nur zwei Fällen wird mit der 3D-Photogrammetrie ein Kind eine Behandlungsindikation erhalten, die zuvor nach der Zirkelmessung nicht ausgesprochen wurde. In acht Fällen widerspricht die 3D-Photogrammetrie der zuvor gestellten Behandlungsindikation bei Plagiozephalie durch die Zirkelmessung.

Nach der Vermessung der 51 Kinder durch die Plagiocephalometrie ergeben sich unter Verwendung des Cutoffs ODDI ≥ 104 % (Klasse 1) 42 und unter der Verwendung des Cutoffs ODDI ≥ 108 % (Klasse 2) 28 Behandlungsindikationen. Dies ist ein bedeutender Unterschied von 14 Kindern. Betrachtet man erneut die 38 Behandlungsindikationen durch die Zirkelmessung, bestätigt diese die Plagiocephalometrie unter Verwendung des Cutoff ODDI ≥ 108 % (Klasse 2) in 24 Fällen und widerspricht dieser in 14 Fällen; unter

Verwendung des Cutoff ODDI ≥ 104 % (Klasse 1) bestätigt die Plagiocephalometrie die Zirkelmessung in 37 Fällen und widerspricht dieser in zwei Fällen. Dafür weist die Plagiocephalometrie unter Verwendung des Cutoff ODDI ≥ 108 % (Klasse 2) für vier Kinder und unter Verwendung des Cutoff ODDI ≥ 104 % (Klasse 1) für sechs Kinder eine Behandlungsindikation bei Plagiozephalie aus, die nicht zuvor durch die Zirkelmessung erteilt wurde.

Brachycephalie: Wie in Tabelle 6 zu sehen ist, wird zunächst durch die Zirkelmessung und ihren klinischen Cutoff Länge-Seiten-Differenz $\leq 1,0$ cm eine Behandlungsindikation bei 23 Kindern gestellt. Von den zehn Kindern, die durch die 3D-Photogrammetrie mit ihrem klinischen Cutoff CI ≥ 97 . Perzentile eine Behandlungsindikation erhalten, befinden sich neun in der Kohorte der 23 Kinder, die diese zuvor durch die Zirkelmessung erhalten haben. In nur einem Fall wird mit der 3D-Photogrammetrie ein Kind eine Behandlungsindikation bei Brachycephalie erhalten, die zuvor nicht durch die Zirkelmessung ausgesprochen wurde. In 14 Fällen widerspricht die 3D-Photogrammetrie mit ihrem klinischen Cutoff CI ≥ 97 . Perzentile der zuvor gestellten Behandlungsindikation bei Brachycephalie durch die Zirkelmessung und ihrem klinischen Cutoff Länge-Seiten-Differenz $\leq 1,0$ cm.

Nach der Vermessung der 51 Kinder durch die Plagiocephalometrie ergeben sich unter Verwendung des Cutoffs CI ≥ 95 . Perzentile (Klasse 2) 10 Behandlungsindikationen, die sich alle in der Kohorte der 23 Kinder befinden, welche die Behandlungsindikationen zuvor durch die Zirkelmessung erhalten haben. In 13 Fällen widerspricht also die Plagiocephalometrie bei der Brachycephalie der Behandlungsindikation, die zuvor durch die Zirkelmessung gestellt wurde. Von den Kindern, die keine Behandlungsindikation durch die Zirkelmessung bei Brachycephalie erhalten, erhält ebenfalls kein Kind eine Behandlungsindikation durch die Vermessung mittels der Plagiocephalometrie.

Zusammengefasst können wir also feststellen, dass unter der Verwendung der Zirkelmessung und ihrer Cutoffs sowohl für die Plagiozephalie als auch für die Brachycephalie eindeutig mehr Behandlungsindikationen gestellt werden als unter der Verwendung der 3D-Photogrammetrie und der Plagiocephalometrie. Bei der Plagiozephalie weist die Plagiocephalometrie unter Verwendung der beiden publizierten Cutoffs ODDI ≥ 104 % (Klasse 1) und ODDI ≥ 108 % (Klasse 2) vier respektive eine Behandlungsindikation aus, die zuvor nicht durch die Zirkelmessung unter Verwendung

ihres Cutoffs $\geq 1,0$ cm gestellt wurden. In allen anderen Fällen gibt es maximal zwei unter den 51 Kindern, die unter Verwendung der Messmethode 3D-Photogrammetrie bei Plagio- und Brachycephalie eine Behandlungsindikation erhalten, die zuvor nicht unter Verwendung der Zirkelmessung und ihres Cutoffs gestellt wurde. Die Zirkelmessung scheint also ein recht sensitives Messverfahren – insbesondere gegenüber der 3D-Photogrammetrie – für behandlungsbedürftige Schädeldeformitäten darzustellen oder unter deren Verwendung wird unnötig oft die Diagnose „behandlungsbedürftig“ gestellt.

Im Unterschied zur Fragestellung 2 untersucht die Fragestellung 3 nicht, mit welcher Messgenauigkeit der gleiche Parameter am selben Kind von allen drei Messmethoden unabhängig ermittelt wird. Stattdessen werden hier Schweregradeinteilungen und unterschiedliche Parameter verglichen, die im Zusammenhang mit den verschiedenen Messverfahren publiziert wurden

Der Cutoff-Parameter der Zirkelmessung CVA (Synonym: ODD) ist ein absoluter Parameter. Es scheint bei den relativen Parametern CVAI und CI zur spontanen Normalisierung während des Kopfwachstums mit Größenzunahme zu kommen. Der absolute Wert CVA ändert sich jedoch nicht, sodass die Asymmetrie zwar relativ gesehen kleiner wird, aber absolut gesehen keine Veränderung oder Besserung erfährt (Wilbrand *et al.*, 2017). Der CVAI hat den Vorteil gegenüber dem CVA, dass er unabhängig von der Größe des Kopfes ist, da er sich wie folgt berechnet: $CVAI = (Diagonale A - Diagonale B) \times 100 / Diagonale A$; wobei $Diagonale A > Diagonale B$ (Graham *et al.*, 2005)(Kim, Kwon and Park, 2014)(Linz *et al.*, 2017)(Wolf, 2017)(Graham *et al.*, 2020)(Foster *et al.*, 2020). Der ODDI wird wie folgt errechnet: $ODDI = (Diagonale A / Diagonale B) \times 100$; wobei $A > B$. Es kommt also auch beim ODDI zu einer Relativierung der Werte, wenn die Schädeldiagonalen mit dem physiologischen Schädelwachstum des Kindes zunehmen. So wird also sicher die Zirkelmessung mit dem Cutoff-Parameter CVA noch länger Schädeldeformitäten als behandlungsbedürftig einstufen, wenn durch die Größenzunahme des Kopfes die 3D-Photogrammetrie unter Verwendung des Cutoff-Parameters CVAI und die Plagiocephalometrie unter Verwendung des Cutoff-Parameters ODDI dies nicht mehr anzeigen würden.

Wie kompliziert die Zusammenhänge der einzelnen Cutoffs, Parameter und errechneten Indices zusammenhängen, soll folgendes Beispiel illustrieren.

männliches Kind, 5 Monate alt:

Länge 13 cm, Breite 12 cm

Diagonale A: 15 cm, Diagonale B: 14 cm

CVA: 15 cm – 14 cm = 1 cm

CVAI: $\frac{(15\text{cm}-14\text{cm})\cdot 100}{15\text{cm}} = 6,67 \rightarrow 90. P$

ODDI: $\frac{15\text{cm}\cdot 100}{14\text{cm}} = 107,14 \rightarrow \text{mild}$

Länge-Breite-Differenz: 13 cm – 12 cm = 1 cm

CI: $\frac{12\text{cm}\cdot 100}{13\text{cm}} = 92,31$ W. $\rightarrow 90. P$; v.V. $\rightarrow \text{mild}$

selbes männliches Kind, 15 Monate alt:

Länge 18 cm, Breite 17 cm

Diagonale A: 20 cm, Diagonale B: 19 cm

CVA: 20 cm – 19 cm = 1 cm

CVAI: $\frac{(20\text{cm}-19\text{cm})\cdot 100}{20\text{cm}} = 5,0 \rightarrow 75. P$

ODDI: $\frac{20\text{cm}\cdot 100}{19\text{cm}} = 105,26 \rightarrow \text{mild}$

Länge-Breite-Differenz: 18 cm – 17 cm = 1 cm

CI: $\frac{17\text{cm}\cdot 100}{18\text{cm}} = 94,44$ W. $\rightarrow 97. P$; v.V. $\rightarrow \text{mild}$

Tabelle 8

Beispielhafter Fall eines männlichen Säuglings, dessen Schädeldeformität innerhalb von zehn Monaten mit den Vermessungsverfahren Zirkelmessung, Plagiocephalometrie und 3D-Photogrammetrie vermessen und mit deren Schweregradeinteilungen beurteilt wird.

Dabei gilt: rot: Behandlungsindikation empfohlen; grün: Behandlungsindikation nicht empfohlen.

Es kommt beim ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt zu verschiedenen Behandlungsindikationen.

Dasselbe Kind (mit festgelegten Schäfeldistanzen) würde also im zeitlichen Verlauf durch die unterschiedlichen Vermessungsmethoden, ihre zugehörigen Cutoffs und Schweregradeinteilungen unterschiedlich beurteilt werden und zu verschiedenen Zeitpunkten verschiedene Behandlungsindikationen erhalten (s. Tabelle 8).

Zirkelmessung

Durch die Einfachheit der Zirkelmessung und der Verwendung ihres absoluten Cutoffs von 1,0 cm können bei dessen Anwendung nur wenige Fehler unterlaufen und erste klinische Einschätzungen leicht vorgenommen werden. Unabhängig vom Alter und Geschlecht des Kindes kann eine absolute Schädeldeformität mit recht hoher Sensitivität erkannt und können über die Zeit Veränderungen festgestellt werden. Die Zirkelmessung schließt unter Verwendung des Parameters CVA mehr Kinder in die Untersuchung mit ein, deren asymmetrische physische Erscheinung mit zunehmenden Alter und Kopfwachstum zwar immer weniger apparent wird, deren Betreuung und weitere Beobachtung aber insbesondere in Hinblick auf das Risiko der Entwicklung von Dysgnathien und Wirbelsäulenproblemen und ggf. notwendiger Behandlung fortgeführt werden muss (Hussein *et al.*, 2018)(Collett *et al.*, 2019). Durch die Verwendung absoluter Parameter werden persistierende Schädeldeformitäten bei zunehmendem Kopfwachstum

gleichbleibend nachgewiesen. Im Gegensatz dazu haben im jüngeren Kindesalter auffällige Schädel-Indices die Tendenz sich mit zunehmendem Kopfwachstum von allein zu „normalisieren“, obwohl sich an der absoluten Längendifferenz der Deformität nichts verändert. So sehen wir auch in unseren Ergebnissen, dass es durch die Vermessung mittels Beckenzirkel bei lagebedingten Schädeldeformitäten sowohl bei Plagio- als auch Brachyzehalie zu einer häufigeren Überschreitung des Cutoffs als bei den anderen Vermessungsverfahren kommt.

Nahles et al. verglichen 2018 die benötigte Zeit für die anthropometrische Vermessung mittels Zirkelmessung: 180,5 Sekunden, mit der für die Vermessungsmethode Laser Shape Digitizer: 579,6 Sekunden (Nahles *et al.*, 2018). Wir kommen für die Vermessung mittels Maßband- und Zirkelmessung zu anderen Ergebnissen: nämlich circa eine Minute (60 Sekunden). Grund hierfür könnte sein, dass in der Studie von Nahles et al. ggf. nur ein Untersucher sowohl das Kind vermaß als auch selber die Werte dann notierte. In unserem Fall übernahm letzteres ein/e Assistent/in in der Helmsprechstunde. Zudem wurde möglicherweise das Patientenaufklärungsgespräch zu Ursachen, Diagnostik und Therapie von lagebedingten Schädeldeformitäten des Untersuchers mit den Eltern eines betroffenen Kindes ebenfalls in die Berechnung der Untersuchungsdauer miteinbezogen. Dies fand in unseren Berechnungen nicht statt. Zudem beschrieben Nahles et al., dass die Kinder während beider Messmethoden häufig schrien, weinten und unruhig waren, während wir hingegen bei der manuellen Vermessung in der Regel ruhige Kinder untersuchten, die die Vermessung im Großteil der Fälle nicht als unangenehm empfanden und dementsprechend auch nicht mit Weinen und Schreien reagierten (Nahles *et al.*, 2018). Ein Beckenzirkel und ein Maßband kosten zusammen etwa 55,- Euro, und deren Verwendung dauerte in unserer Studie im Durchschnitt eine Minute. Wir sehen daher den Kosten- und Zeitaufwand sowie die Unannehmlichkeiten für das zu untersuchende Kind als gering an.

3D-Photogrammetrie

Anschließend an die Zirkelmessung schränkte in unserer Studie die Verwendung der 3D-Photogrammetrie die Gruppe der zu behandelnden Kinder weiter ein. Die 3D-Photogrammetrie hat den Vorteil der exakten Reproduzierbarkeit und Eindeutigkeit der anthropometrischen Messpunkte, auch wenn Haare oder Falten in der Mütze zu Verfälschungen führen können, die durch ein manuelles, direktes Messverfahren nicht

stören würden. Die Mütze, die zur Vermeidung von Artefakten aufgesetzt wird, empfanden viele Kinder im Moment des Aufziehens als störend, und reagierten dementsprechend mit Unruhe. Im Regelfall beruhigten sie sich aber, sobald das Aufziehen beendet war. Das Tragen einer Mütze an sich schien für die jungen Patienten weniger unangenehm zu sein. Aus dem mittels Software virtuell generierten Modell des kindlichen Kopfes kann direkt eine Kopforthese zur Helmtherapie vom Hersteller produziert und der Therapieverlauf – sei es durch Physio- oder Helmtherapie – durch wiederholte Messungen dokumentiert und nachvollzogen werden. Das Foto-System ist mit circa 45.000,- Euro Kosten nur sinnvoll in spezialisierten Zentren zu verwenden, die sich mit einer großen Anzahl von Kindern mit Schädeldeformitäten beschäftigen und eine Helmtherapie einleiten und betreuen können.

Plagiocephalometrie

Die Plagiocephalometrie ist ein relativ kostengünstiges Verfahren zur indirekten Vermessung von lagebedingten Schädeldeformitäten. Ein thermoplastischer Streifen kostet dabei zwischen 3,25 – 3,50 Euro (je nach Abnahmemenge beim Hersteller). Es ist ein Verfahren, welches eine Schulung und eine gewisse Routine beim korrekten und standardisierten Anlegen erfordert. Für die korrekte manuelle Auswertung der Kopien der thermoplastischen Formen hingegen scheint nach einer kurzen Einweisung wenig Expertise oder medizinisches Hintergrundwissen vonnöten zu sein. In unserer Studie erforderte die Untersuchung vom Erweichen des Streifens bis zur händischen Vermessung der Kopie sowie Berechnung der Indices durchschnittlich 26 Minuten. Wir empfinden - selbst bei einer durch hohe Expertise entwickelten Beschleunigung des Vermessungsvorgangs um ein paar Minuten -, dass dieses Verfahren für die ambulante Vermessung zu lange dauert. Zudem wird mit der Kopie aus einem dreidimensionalen Ring (thermoplastisches Band) eine zweidimensionale Ebene geschaffen, die die dreidimensionalen Deformitäten im Ring nicht in ihrer Vollständigkeit wiedergeben kann. Zudem kann beim Einsatz der Plagiocephalometrie auch keine digitale Matrix zur Herstellung einer Kopforthese generiert werden. Die Plagiocephalometrie kann daher im Falle einer notwendigen Helmtherapie die 3D-Photogrammetrie als notwendige Grundlage zur Herstellung der Kopforthese nicht ersetzen. Der sinnvolle Einsatz der Plagiocephalometrie in der klinischen Praxis und im medizinischen Alltag ist daher aus unserer Sicht zu hinterfragen.

4.3 Erkenntnisse der Studie und Einordnung in die Literatur

Zusammenfassend stellen wir fest, dass die Plagiocephalometrie, wie sie in unserem Studienmodell angewandt wurde, ein Untersucher-unabhängiges (Inter- und Intrarater-Variabilität gering) Verfahren zur Vermessung lagebedingter Schädeldeformitäten ist.

Die Anwendung verschiedener Messverfahren und ihrer Schädelparameter zur Berechnung der Indices CVAI und CI führt zu abweichenden Messergebnissen. Grund dafür sind unter anderem unterschiedliche Messebenen und -punkte der jeweiligen Messmethoden. Durch diese lassen sich aber abschließend nicht die Gesamtheit der Messunterschiede und bestehende Zusammenhänge erklären. Es scheinen daher noch weitere uns unbekannte Ursachen für abweichende Messergebnisse verantwortlich zu sein.

Mazzola et al. stellen 2016 in ihrem Review-Paper von 42 Artikeln heraus, dass bildgebende Verfahren zur Diagnosestellung einer Plagiozephalie meist überflüssig und 2D-Messverfahren dazu ausreichend seien (Mazzola *et al.*, 2016). Wir stimmen grundsätzlich zu, dass für die Diagnosestellung einer Plagio- und/oder Brachyzehalie und ggf. auch für das Stellen einer korrekten Behandlungsindikation zweidimensionale Verfahren ausreichend sind. Jedoch muss für die eventuelle Anfertigung einer Kopforthese in jedem Fall ein dreidimensionales Verfahren zur Vermessung der Kopfoberfläche verwendet werden. Das Follow-up sowie erst später aufkommende Fragestellungen können mit bildgebenden dreidimensionalen Messverfahren zudem auch nachträglich untersucht, evaluiert und demonstriert werden.

Wir unterstützen im ähnlichen Zusammenhang Spitzers 2011 veröffentlichte Ansicht, dass die Erfassung komplexer räumlicher Deformitäten mit einer zweidimensionalen Messmethode nur unter dem wahrscheinlichen Verlust von Informationen möglich ist (Spitzer *et al.*, 2011). Ein dreidimensionales Messverfahren, wie z. B. die 3D-Photogrammetrie kann solche Deformitäten exakt abbilden und komplexe Vermessungen ermöglichen. So ist es bei der 3D-Photogrammetrie möglich, nachträglich Messwerte für alternative Ebenen zu evaluieren und auch dreidimensional Schädelvolumina zu berechnen. Bei der Plagiocephalometrie und der Zirkelmessung wird jedoch auf einer Ebene gemessen, und es kann nachträglich keine Beurteilung anthropometrischer Parameter auf anderen Messhöhen getätigt werden.

In Hinblick auf die in der Medizin an Bedeutung gewinnende Etablierung von automatischen Bildanalyseverfahren in Verbindung mit *machine learning* und Künstlicher Intelligenz scheint zudem die 3D-Photogrammetrie ein deutlich größeres Entwicklungspotential als die Zirkelmessung und die Plagiocephalometrie aufzuweisen. Parallel zu dieser Doktorarbeit wird in Gießen an der Entwicklung einer mobilen Software zur Erfassung und Einschätzung kindlicher Schädeldeformitäten mit mobilen Endgeräten gearbeitet (s. Abbildung 21). Wir hoffen mit diesem Verfahren in näherer Zukunft verlässliche Messungen von kindlichen Schäfeldistanzen durch medizinische Laien im eigenen häuslichen Umfeld generieren zu können. Ggf. wird es zudem möglich sein, so beispielsweise mit dem Smartphone erhobene Messwerte mit anderen Messwerten in Bezug zu setzen, die mittels 3D-Photogrammetrie in der Universitätsklinik erfasst wurden. So könnten Nachsorgetermine in der Klinik reduziert werden, ohne auf eine engmaschige bildgebende Evaluation verzichten zu müssen.



Abbildung 21

Illustration der Vermessung eines kindlichen Schädels durch Verwendung einer mobilen Applikation und einer Zwei-Euro-Münze als Referenzpunkt.

Mit freundlicher Genehmigung und Bereitstellung der Bilder durch Clara Seifert und der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität in Gießen.

Bzgl. der Klassifikationen zur Schweregradeinteilung stellen wir fest, dass es bei einem Verfahren wie der Zirkelmessung, die viele Kinder mit möglicher Behandlungsindikation einschließen soll, sinnvoll ist, einen „frühen“ Cutoff zu verwenden, der geschlechter- und altersunabhängig schon bei leichten Schädeldeformitäten eine Indikation zur nachfolgenden 3D-Vermessung stellt. Ein solcher Cutoff ist unmissverständlich anzuwenden und weist Schädeldeformitäten auch bei geringer Apparenz als behandlungsbedürftig aus. Eine weitere Klassifikation in Unterschweregrade kann hier

vernachlässigt werden, da es anschließend zur Reevaluation mit einem spezifischeren Verfahren kommt. Eine solche zweite Einschätzung ist jedoch auch unbedingt notwendig, um nicht unnötig viele Kinder mit wenig imponierenden Schädeldeformitäten zu behandeln.

Die evidenz-basierte alters- und geschlechterabhängige Schweregradeinteilung der 3D-Photogrammetrie ermöglicht die unabhängige Einordnung von Kindern mit Schädeldeformitäten in Perzentil-Klassen.

4.4 Schlussfolgerung

Die Plagiocephalometrie ist zwar ein valides und Untersucher-unabhängiges Verfahren zur Vermessung lagebedingter Schädeldeformitäten, sie weist jedoch keinen wesentlichen Vorteil gegenüber der Zirkelmessung und der 3D-Photogrammetrie auf. Unter Verwendung der Zirkelmessung werden bereits relativ geringe Schädeldeformitäten sowohl für die Brachy- als auch die Plagiozephalie als behandlungsbedürftig ausgewiesen. Es käme daher unter deren alleiniger Verwendung zur Evaluation von Schädelasymmetrien für viele Kinder zu falsch positiven Behandlungsindikationen. Daher ist es sinnvoll, in zweiter Instanz unter Verwendung der spezifischeren 3D-Photogrammetrie eine zuvor durch die Zirkelmessung gestellte Behandlungsindikation zu reevaluieren. Im Falle einer dann bestätigten Indikation und der Verordnung einer Kopforthese kann dann direkt auf Grundlage der generierten digitalen Matrix der 3D-Photogrammetrie ein Helm zur Therapie einer lagebedingten Schädeldeformität angefertigt werden.

Daher ist die kostengünstige und einfach anzuwendende Zirkelmessung aus unserer Sicht als ein guter Screeningtest für die ambulante Versorgung – wie z. B. in der Kinderarztpraxis – anzusehen und die kostenintensive 3D-Photogrammetrie für den Gebrauch in Zentren sinnvoll, die auf die Vermessung und Therapie von lagebedingten Schädeldeformitäten bei Säuglingen spezialisiert sind und eine große Anzahl von Kindern mit Schädeldeformitäten betreuen. Zudem sehen wir in der 3D-Photogrammetrie ein großes Entwicklungspotential in Hinblick auf die aktuelle Forschung im Bereich des *machine learning* und alternative photometrische Vermessungen von Kopfoberflächen mit mobilen Endgeräten durch medizinische Laien.

4.1 Ausblick

Heutzutage beschäftigt sich die aktuelle Forschung zum Thema Schädeldeformitäten und deren Vermessung unter anderem mit der Frage, ob eine Korrelation zwischen Plagiozephalie und verzögerter Neuroentwicklung besteht (Hussein *et al.*, 2018).

Collet *et al.* legen in ihrer jüngsten Studie von 2019 dar, dass Säuglinge mit moderater oder schwerer Plagiozephalie als Schulkinder signifikant schlechtere kognitive und akademische Leistungen aufweisen, als Kinder ohne oder mit milder Plagiozephalie. Sie sehen darin jedoch keine Ursache-Folge-Beziehung, sondern ein vielmehr gleichzeitiges Auftreten von lagebedingten Schädeldeformitäten und neuromotorischen Entwicklungsstörungen dieser Kinder. Sie empfehlen daher, die Entwicklung von Kindern engmaschig zu überwachen, die mit moderater oder schwerer Plagiozephalie klinisch auffällig geworden sind, und weitere Forschung auf diesem Gebiet anzustreben (Collett *et al.*, 2019).

Insbesondere im Hinblick auf aktuelle Entwicklungen von Applikationen für elterliche Smartphones zur Schweregradeinteilung und zur Dokumentation des Follow-ups von Kindern mit lagebedingten Schädeldeformitäten gewinnen bildgebende und strahlenfreie Messverfahren an Bedeutung. So aufgenommene Bilder könnten direkt mit Bildern von zuvor aufgenommenen 3D-Photogrammetrien verglichen werden, was mit Zirkel- und Maßbandmessung sowie der Plagiocephalometrie nicht möglich ist.

Wittmeier und Mulder forderten in ihrer Veröffentlichung von 2017 eine ärztliche Empfehlung an Eltern von Neugeborenen weg von „Back to sleep“ hin zu „Back to sleep, tummy to play“. Dabei soll die Rückenlage eines Kindes lediglich im Schlaf, aber eine Bauchlage im Wachzustand sichergestellt werden, um einseitige Druckbelastungen auf den Schädel zu minimieren. Weiterhin fordern sie die Aufnahme der Untersuchung von Schädeldeformitäten in die Kindervorsorgeuntersuchungen (U-Untersuchungen) und die konsequente Überweisung an einen spezialisierten Facharzt bei persistierendem Plagiocephalus oder Torticollis (Wittmeier and Mulder, 2017). Wir halten diese Empfehlungen für folgerichtig und schließen uns diesen daher an.

Weitere Forschung ist in den Bereichen anzustreben, ob und wie sich lagebedingte Schädeldeformitäten auf die Symmetrie der Schädelbasis auswirken und diese zu

Dysgnathien und vertebralen Beschwerden führen können. Es laufen aktuell zu diesen Themen Studien an der Justus-Liebig-Universität in Gießen.

4.2 Limitationen

In Bezug auf unsere Studie müssen wir mehrere Einschränkungen in Bezug auf das Studiendesign sowie die Aussagekraft der Ergebnisse vornehmen.

Bei der Varianzkomponentenanalyse gingen wir von einer Normalverteilung der Messwerte aus. Durch die übersichtliche Anzahl von 51 untersuchten Kindern können wir jedoch nicht sicher sagen, ob eine Normalverteilung der Schädelformen der untersuchten Patientenkohorte unserer Studie vorliegt.

Beim Vergleich des CVAI der verschiedenen Messmethoden fiel auf, dass wir diesen für die Plagiocephalometrie und die Zirkelmessung anders berechnet hatten als dies für die 3D-Photogrammetrie unter Verwendung der Analysesoftware Cranioform Analytics 4.0 erfolgte. Unseres Wissens fiel in dieser Arbeit zum ersten Mal auf, dass ein implizites Problem dieses Index darin besteht, dass er in verschiedenen hochrangigen Publikationen auf der ganzen Welt unterschiedlich berechnet wird. Es wird nämlich entweder die längere oder die kürzere Diagonale als Divisor zur Ermittlung des CVAI verwendet. Eine Begründung hierfür wurde bislang nicht genannt (Graham *et al.*, 2005)(Kim, Kwon and Park, 2014)(Linz *et al.*, 2017)(Wolf, 2017)(Graham *et al.*, 2020)(Foster *et al.*, 2020)(Loveday and de Chalain, 2001)(Yin, Dong and Yang, 2015)(Freudlsperger *et al.*, 2016)(Lee, Kim and Kwon, 2018)(Di Rocco *et al.*, 2019)(González-Santos *et al.*, 2020)(Wen *et al.*, 2020)(Kim *et al.*, 2020)(Çevik, Işık and Özkılıç, 2020). Die Ergebnisse des CVAI für die verschiedenen Messmethoden können damit nur unzureichend miteinander verglichen werden.

Ein Problem stellte ebenfalls die händische Übertragung von Messwerten der Plagiocephalometrie dar, die erst im Nachhinein bei der Erstellung von graphischen Darstellungen als nicht erklärliche Messausreißer auffielen. So wurde beispielsweise anstelle einer Schädeldiagonale von 11,8 cm eine falsche Länge von 1,8 cm übertragen, die bei der Durchschau der tabellarischen Listung nicht auffiel. Erst als in den Bland-Altman-Diagrammen diese nicht physiologische Schädeldiagonale angezeigt wurde, konnte der Übertragungsfehler als visueller Messausreißer bemerkt werden. Wir können nicht ausschließen, dass weniger graphisch apparente Übertragungsfehler weiterhin die

eigentlichen Messergebnisse in unserer Statistik verfälscht haben. Es ist jedoch eine implizite Eigenschaft der Plagiocephalometrie und anderer manuell durchgeführten Vermessungsverfahren, dass es statistisch auf die große Anzahl von Einzelmessungen gesehen regelmäßig zu Übertragungsfehlern kommt. Der Einfluss dieser Fehlerquelle ist bei computergestützten Verfahren als geringer einzuschätzen.

Da die untersuchte Patientengruppe ausschließlich aus Säuglingen bestand, mussten wir mit zunehmender Untersuchungsdauer eine abnehmende Compliance der Patienten akzeptieren. Wir können nicht ausschließen, dass die Wahl der Reihenfolge, in der die einzelnen Vermessungsverfahren angewandt wurden, die Messergebnisse beeinflusst hat. Wir gehen davon aus, dass der unterschiedliche Diskomfort der Untersuchungen im eigentlichen Sinne zur mangelnden Compliance der Kinder führte. Hingegen ist es aber auch möglich, dass vor allem die Gesamtdauer der nacheinander durchgeführten Untersuchungen eine erhöhte Belastung der Kinder ergab, sodass diese zu Beginn der Untersuchungsreihe eher ruhig und gegen Ende häufig aufgeregt waren und schrien. Um diesen Einfluss zu minimieren, haben wir uns für das nur ein- statt neunmalige Anlegen des thermoplastischen Bandes bei der Plagiocephalometrie entschieden und diese als die augenscheinlich für die Säuglinge unangenehmste Untersuchungsmethode an das Ende der Untersuchungsreihe gestellt.

Möglicherweise hätten die Beobachtungen einer größeren Patientenkohorte von mehr als 51 Patienten zu eindeutigeren oder anderen Ergebnissen geführt. Zudem wären uns unter Umständen noch weitere Ursachen aufgefallen, die die abweichenden Messergebnisse der verschiedenen Vermessungsmethoden erklärt hätten. Wir orientierten uns jedoch bei der Planung der anzustrebenden Fallzahl an dem Studiendesign anderer Studien zu Vermessungsverfahren lagebedingter Schädeldeformitäten, die selten höhere Patientenzahlen aufwiesen.

Insgesamt sind weitere prospektive und standardisierte Studien mit größeren Patientenkollektiven notwendig, um die angesprochenen Probleme dieser Arbeit weiter zu evaluieren und ggf. zu lösen.

5 Zusammenfassung

Seit der Einführung der *Back to Sleep Campaign* (1992) wird zur Vermeidung des Plötzlichen Kindstods die Rückenlagerung von Säuglingen zum Schlafen empfohlen. Die dadurch veränderte Druckbelastung auf den kindlichen Schädel führte zu einem Inzidenzanstieg von lagebedingten Schädeldeformitäten, deren Vermessung international unterschiedlich erfolgt. Dies erschwert die Vergleichbarkeit international erhobener Daten erheblich.

Ziel der Arbeit war es, die in den Niederlanden etablierte und in multiplen hochrangig publizierten Artikeln zu diesem Thema verwendete Plagiocephalometrie auf ihre Untersucherabhängigkeit und klinische Anwendbarkeit hin zu untersuchen und mit den an der Universitätsklinik Gießen etablierten Verfahren der anthropometrischen Zirkelmessung und 3D-Photogrammetrie zu vergleichen. Insgesamt wurden 51 Kinder, die sich von Juni bis August 2017 im Alter von drei bis zwölf Monaten in der „Helmsprechstunde“ in der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Justus-Liebig-Universität vorstellten, jeweils mit den drei unterschiedlichen Messverfahren prospektiv untersucht.

Die Plagiocephalometrie zeigte sich mit einer Inter- und Intraratervariabilität von 0,7 % und 2,41 % der Gesamtvarianz als untersucherunabhängiges Verfahren. Jedoch wurde die Formabnahme am kindlichen Kopf nur einmalig und die Vermessungen auf dem Papier dreimalig durch jeweils drei Untersucher und nicht von jedem der drei Untersucher dreimalig individuelle Formabnahmen und anschließende Berechnungen der Schädelparameter durchgeführt.

Der *cephalic index* (CI: Breite / Länge x 100) zur Beurteilung der Brachycephalie wurde für jedes Messverfahren und der *cranial vault asymmetry index* (CVAI; (Diagonale A – Diagonale B) x 100 / Diagonale A; wobei Diagonale A > Diagonale B) zur Beurteilung der Plagiocephalie wurde für die Zirkelmessung und Plagiocephalometrie berechnet. Die Ergebnisse der Plagiocephalometrie wurden mit denen der Zirkelmessung und der 3D-Photogrammetrie unter Verwendung von modifizierten Bland-Altman-Diagrammen verglichen. Es zeigten sich verschiedene Messebenen und -punkte bei den jeweiligen Vermessungsverfahren und eine unterschiedliche Berechnung des CVAI bei der 3D-Photogrammetrie – hier wurde automatisiert durch die kürzere und nicht durch die

längere Diagonale geteilt – neben weiteren Faktoren für abweichende Ergebnisse verantwortlich.

Anschließend wurde analysiert, ob die Messverfahren mit ihren eigenen Indices und Schweregradeinteilungen zu verschiedenen Behandlungsindikationen führen. Die Anwendung der Zirkelmessung führt sowohl für die Plagio- als auch die Brachyzephalie im Vergleich zur Plagiocephalometrie und 3D-Photogrammetrie am häufigsten zu einer Behandlungsindikation.

Die Zirkelmessung ist kostengünstig, schnell und unkompliziert durchführbar. Die Anwendung der Plagiocephalometrie ist ebenfalls kostengünstig, aber die Durchführung ist aufwendig und die untersuchten Kinder wurden aufgrund der länger dauernden Manipulation am Kopf zunehmend unruhig. Die 3D-Photogrammetrie misst schnell und genau, ist jedoch apparativ aufwendig und sehr teuer.

Insgesamt stellt die Zirkelmessung ein günstiges und einfach anwendbares Screeningverfahren zur Beurteilung von Schädeldeformitäten dar. Eine dann gestellte Behandlungsindikation sollte durch die spezifischere 3D-Photogrammetrie in spezialisierten Zentren überprüft und eine eventuelle Therapie eingeleitet werden. Die Plagiocephalometrie weist keine relevanten Vorteile gegenüber den Messverfahren mittels Zirkelmessung oder 3D-Photogrammetrie auf. Als möglicher Grund für die unterschiedlichen Messergebnisse der einzelnen Verfahren kommt die Anwendung verschiedener anthropometrischer Messpunkte und -ebenen sowie national und international differierende Berechnung anthropometrischer Parameter in Frage.

6 Summary

Since the introduction of the Back to Sleep Campaign (1992), supine positioning of infants for sleep has been recommended to prevent Sudden Infant Death Syndrome (SIDS). The resulting change in pressure on the infant's skull has led to an increase in the incidence of positional skull deformities, the measurement of which varies internationally. This makes the comparability of internationally collected data considerably more difficult.

The aim of this work was to investigate the plagiocephalometry measurement tool which was established in the Netherlands and has been used in multiple high-ranking published articles on this topic with regard to its examiner dependence. We inquired its clinical applicability and compared it with the procedures of anthropometric measurements with a spreading caliper (pelvimeter) and 3D photogrammetry which are used at University Hospital of Giessen, Germany. A total of 51 children, aged between three and twelve months, who attended the "helmet consultation" at the outpatient clinic for Oral and Maxillofacial Surgery at Justus Liebig University from June to August 2017 were prospectively examined using the three different measurement methods.

Plagiocephalometry was shown to be an examiner-independent method with inter- and intraobserver variability of 0.7% and 2.41% of total variance, respectively. However, shape sampling of the infant head was performed only once and paper measurements were performed three times by each of three examiners, rather than individual shape samplings and subsequent calculations of cranial parameters by each of the three examiners three times.

The cephalic index (CI: $\text{width} / \text{length} \times 100$) to assess brachycephaly and the cranial vault asymmetry index (CVAI; $(\text{diagonal A} - \text{diagonal B}) \times 100 / \text{diagonal A}$; where $\text{diagonal A} > \text{diagonal B}$) to assess plagiocephaly were calculated for both pelvimeter measurement and plagiocephalometry. The results of plagiocephalometry were compared with those of pelvimeter measurement and 3D photogrammetry using modified Bland-Altman diagrams. Different measurement planes and points for the respective measurement methods and a different calculation of the CVAI for 3D photogrammetry - here, automated division by the shorter rather than the longer diagonal was used - were found to be responsible for deviating results, in addition to other factors.

Subsequently, it was analyzed whether the measurement methods with their own indices and severity classifications lead to different treatment indications. The use of pelvimeter measurement most frequently leads to a treatment indication for both plagiocephaly and brachycephaly compared with plagiocephalometry and 3D photogrammetry.

Pelvimeter measurement is inexpensive, quick, and straightforward to perform. The use of plagiocephalometry is also inexpensive, but it is laborious to perform and the children included in this study became increasingly restless due to prolonged manipulation of the head. 3D photogrammetry measures quickly and accurately but is equipment-intensive and very expensive.

Overall, pelvimeter measurement represents an inexpensive and easy-to-use screening method for the assessment of cranial deformities. A subsequently formulated treatment indication then should be verified by the more specific 3D photogrammetry in specialized centers and a possible therapy should be initiated. Plagiocephalometry does not show any relevant advantages compared to the measurement methods using pelvimeter measurement or 3D photogrammetry. A possible reason for differing measurement results of the respective methods is the use of different anthropometric measurement landmarks and planes as well as nationally and internationally differing calculation of anthropometric indices.

7 Literaturverzeichnis

van Adrichem, L. N. A. *et al.* (2008) 'Validation of a simple method for measuring cranial deformities (plagiocephalometry).', *The Journal of craniofacial surgery*. United States, 19(1), pp. 15–21. doi: 10.1097/scs0b013e31815c93cb.

Argenta, L. (2004) 'Clinical Classification of Positional Plagiocephaly', *Journal of Craniofacial Surgery*, 15(3), pp. 368–372. doi: 10.1097/00001665-200405000-00004.

Argenta, L. C. *et al.* (1996) 'An increase in infant cranial deformity with supine sleeping position.', *The Journal of craniofacial surgery*. United States, 7(1), pp. 5–11.

Ballardini, E. *et al.* (2018) 'Prevalence and characteristics of positional plagiocephaly in healthy full-term infants at 8–12 weeks of life', *European Journal of Pediatrics*. Springer Berlin Heidelberg, 177(10), pp. 1547–1554. doi: 10.1007/s00431-018-3212-0.

Bernhardt, P. *et al.* (2013) 'A novel quantitative image-based method for evaluating cranial symmetry and its usefulness in patients undergoing surgery for unicoronal synostosis', *Journal of Craniofacial Surgery*, 24(1), pp. 166–169. doi: 10.1097/SCS.0b013e31826468bc.

Bialocerkowski, A. E., Vladusic, S. L. and Wei Ng, C. (2008) 'Prevalence, risk factors, and natural history of positional plagiocephaly: A systematic review', *Developmental Medicine and Child Neurology*, 50(8), pp. 577–586. doi: 10.1111/j.1469-8749.2008.03029.x.

Bland, J. M. and Altman, D. G. (1986) 'Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement.', *Lancet (London, England)*, 1(8476), pp. 307–10. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2868172> (Accessed: 18 July 2019).

Blecher, J. and Howaldt, H. (1998) 'Treatment of non-synostotic head deformity in infants with dynamic orthosis', *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie: MKG*. Mund Kiefer Gesichtschir, 2(Suppl 1). doi: 10.1007/PL00014489.

Çevik, S., Işık, S. and Özkılıç, A. (2020) 'The role of age on helmet therapy in deformational plagiocephaly and asymmetric brachycephaly', *Child's Nervous System*. Springer, 36(4), pp. 803–810. doi: 10.1007/s00381-019-04354-2.

Christofides, E. A. and Steinmann, M. E. (2010) 'A novel anthropometric chart for craniofacial surgery', *Journal of Craniofacial Surgery*, 21(2), pp. 352–357. doi: 10.1097/SCS.0b013e3181cf6050.

Collett, B. R. *et al.* (2019) 'Cognitive Outcomes and Positional Plagiocephaly.', *Pediatrics*.

- American Academy of Pediatrics, 143(2), p. e20182373. doi: 10.1542/peds.2018-2373.
- Danby, P. M. (1962) 'Plagiocephaly in some 10-year-old children', *Archives of Disease in Childhood*, 37(195), pp. 500–504. doi: 10.1136/adc.37.195.500.
- Dörhage, K. (2010a) 'Klinische Bedeutung, Prophylaxe und Therapie der lagebedingte Plagiozephalie', *Manuelle Medizin*, 48(2), pp. 135–140. doi: 10.1007/s00337-010-0748-0.
- Dörhage, K. (2010b) 'Ursache und Diagnostik der lagebedingten Plagiozephalie. Eine Übersichtsarbeit', *Manuelle Medizin*, 48(2), pp. 125–134. doi: 10.1007/s00337-010-0743-5.
- Feijen, M. *et al.* (2012) 'Positional Plagiocephaly and Brachycephaly', *Journal of Craniofacial Surgery*, 23(4), pp. 998–1001. doi: 10.1097/scs.0b013e31824e642e.
- Foster, J. *et al.* (2020) 'Pediatric cranial deformations: demographic associations.', *Journal of neurosurgery. Pediatrics*. J Neurosurg Pediatr, pp. 1–6. doi: 10.3171/2020.3.PEDS2085.
- Freudlsperger, C. *et al.* (2016) 'Impact of severity and therapy onset on helmet therapy in positional plagiocephaly.', *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. J Craniomaxillofac Surg, 44(2), pp. 110–5. doi: 10.1016/j.jcms.2015.11.016.
- González-Santos, J. *et al.* (2020) 'Infant Cranial Deformity: Cranial Helmet Therapy or Physiotherapy?', *International journal of environmental research and public health*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 17(7). doi: 10.3390/ijerph17072612.
- Graham, J. M. *et al.* (2005) 'Management of deformational plagiocephaly: Repositioning versus orthotic therapy', *Journal of Pediatrics*, 146(2), pp. 258–262. doi: 10.1016/j.jpeds.2004.10.016.
- Graham, T. *et al.* (2020) 'Significant Factors in Cranial Remolding Orthotic Treatment of Asymmetrical Brachycephaly.', *Journal of clinical medicine*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 9(4). doi: 10.3390/jcm9041027.
- Holowka, M. A. *et al.* (2017) 'Plagiocephaly Severity Scale to Aid in Clinical Treatment Recommendations', *Journal of Craniofacial Surgery*, 28(3), pp. 717–722. doi: 10.1097/SCS.00000000000003520.
- Hönn, M. and Göz, G. (2007) 'The Ideal of Facial Beauty: A Review', *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*. Urban & Vogel, 68(1), pp. 6–16. doi: 10.1007/s00056-007-0604-6.

- Hussein, M. A. *et al.* (2018) 'Analysis of the correlation between deformational plagiocephaly and neurodevelopmental delay', *Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery*, 71(1). doi: 10.1016/j.bjps.2017.08.015.
- Hutchison, B. L. (2004) 'Plagiocephaly and Brachycephaly in the First Two Years of Life: A Prospective Cohort Study', *Pediatrics*, 114(4), pp. 970–980. doi: 10.1542/peds.2003-0668-f.
- St. John, D. *et al.* (2002) 'Anthropometric analysis of mandibular asymmetry in infants with deformational posterior plagiocephaly', *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 60(8), pp. 873–877. doi: 10.1053/joms.2002.33855.
- Kim, J. K., Kwon, D. R. and Park, G.-Y. (2014) 'A new ultrasound method for assessment of head shape change in infants with plagiocephaly.', *Annals of rehabilitation medicine*. *Ann Rehabil Med*, 38(4), pp. 541–7. doi: 10.5535/arm.2014.38.4.541.
- Kim, M. J. *et al.* (2020) 'Applicative Factors of Helmet Molding Therapy in Late-diagnosed Positional Plagiocephaly.', *Journal of Korean medical science*. *J Korean Med Sci*, 35(36), p. e295. doi: 10.3346/jkms.2020.35.e295.
- Lee, H. S., Kim, S. J. and Kwon, J.-Y. (2018) 'Parents' Perspectives and Clinical Effectiveness of Cranial-Molding Orthoses in Infants With Plagiocephaly.', *Annals of rehabilitation medicine*. *Ann Rehabil Med*, 42(5), pp. 737–747. doi: 10.5535/arm.2018.42.5.737.
- Linz, C. *et al.* (2017) 'Positional Skull Deformities.', *Deutsches Arzteblatt international*. *Germany*, 114(31–32), pp. 535–542. doi: 10.3238/arztebl.2017.0535.
- Loveday, B. P. and de Chalain, T. B. (2001) 'Active counterpositioning or orthotic device to treat positional plagiocephaly?', *The Journal of craniofacial surgery*. *United States*, 12(4), pp. 308–313.
- Mazzola, C. *et al.* (2016) 'Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guideline for the Diagnosis of Patients With Positional Plagiocephaly', *Neurosurgery*. *Narnia*, 79(5), pp. E625–E626. doi: 10.1227/NEU.0000000000001427.
- McGarry, A. *et al.* (2008) 'Head shape measurement standards and cranial orthoses in the treatment of infants with deformational plagiocephaly', *Developmental Medicine and Child Neurology*, 50(8), pp. 568–576. doi: 10.1111/j.1469-8749.2008.03017.x.
- Moss, S. D. (1997) 'Nonsurgical, nonorthotic treatment of occipital plagiocephaly: what is the natural history of the misshapen neonatal head?', *Journal of neurosurgery*, 87(5), pp. 667–70.

doi: 10.3171/jns.1997.87.5.0667.

Mulliken, J. B. *et al.* (1999) 'Analysis of posterior plagiocephaly: deformational versus synostotic.', *Plastic and reconstructive surgery*. United States, 103(2), pp. 371–380.

Nahles, S. *et al.* (2018) 'Evaluation of positional plagiocephaly: Conventional anthropometric measurement versus laser scanning method', *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. Churchill Livingstone, 46(1), pp. 11–21. doi: 10.1016/J.JCMS.2017.10.010.

Peitsch, W. K. *et al.* (2002) 'Incidence of Cranial Asymmetry in Healthy Newborns', *PEDIATRICS*, 110(6), pp. e72–e72. doi: 10.1542/peds.110.6.e72.

Pivar, S. J. and Scheuerle, A. (2006) 'Variable co-diagnosis of plagiocephaly and torticollis in Texas health care facilities', *Journal of Craniofacial Surgery*. doi: 10.1097/00001665-200603000-00006.

Plank, L. H. *et al.* (2006) 'Comparison of infant head shape changes in deformational plagiocephaly following treatment with a cranial remolding orthosis using a noninvasive laser shape digitizer.', *The Journal of craniofacial surgery*. United States, 17(6), pp. 1084–1091. doi: 10.1097/01.scs.0000244920.07383.85.

Di Rocco, C. *et al.* (2012) 'Anterior plagiocephaly: Epidemiology, clinical findings, diagnosis, and classification. A review', *Child's Nervous System*, 28(9), pp. 1413–1422. doi: 10.1007/s00381-012-1845-2.

Di Rocco, F. *et al.* (2019) 'Prevalence and severity of positional plagiocephaly in children and adolescents', *Acta Neurochirurgica*. Springer, 161(6), pp. 1095–1098. doi: 10.1007/s00701-019-03924-2.

Schaaf, H. *et al.* (2010) 'Three-dimensional photographic analysis of outcome after helmet treatment of a nonsynostotic cranial deformity', *Journal of Craniofacial Surgery*, 21(6), pp. 1677–1682. doi: 10.1097/SCS.0b013e3181f3c630.

Spermon, J., Spermon-Marijnen, R. and Scholten-Peeters, W. (2008) 'Clinical classification of deformational plagiocephaly according to Argenta: a reliability study.', *The Journal of craniofacial surgery*, 19(3), pp. 664–8. doi: 10.1097/SCS.0b013e31816ae3ec.

Spitzer, M. J. *et al.* (2011) 'Validation of optical three-dimensional plagiocephalometry by computed tomography, direct measurement, and indirect measurements using thermoplastic bands', *Journal of Craniofacial Surgery*, 22(1), pp. 129–134. doi:

10.1097/SCS.0b013e3181f6f849.

Turk, A. E. *et al.* (1996) 'The "back to sleep campaign" and deformational plagiocephaly: is there cause for concern?', *The Journal of craniofacial surgery*. United States, 7(1), pp. 12–18.

van Vlimmeren, L. A. *et al.* (2007) 'Risk factors for deformational plagiocephaly at birth and at 7 weeks of age: a prospective cohort study.', *Pediatrics*. United States, 119(2), pp. e408-18. doi: 10.1542/peds.2006-2012.

van Vlimmeren, L. A. *et al.* (2017) 'The course of skull deformation from birth to 5 years of age: a prospective cohort study', *European Journal of Pediatrics*. Springer Berlin Heidelberg, 176(1), pp. 11–21. doi: 10.1007/s00431-016-2800-0.

Van Vlimmeren, L. A. *et al.* (2005) 'Plagiocephalometry: A non-invasive method to quantify asymmetry of the skull; a reliability study', *European Journal of Pediatrics*, 165(3), pp. 149–157. doi: 10.1007/s00431-005-0011-1.

Van Vlimmeren, L. A. *et al.* (2006) 'Plagiocephalometry: A non-invasive method to quantify asymmetry of the skull; a reliability study', *European Journal of Pediatrics*, 165(3), pp. 149–157. doi: 10.1007/s00431-005-0011-1.

Weinberg, S. M. *et al.* (2006) 'Anthropometric Precision and Accuracy of Digital Three-Dimensional Photogrammetry', *Journal of Craniofacial Surgery*, 17(3), pp. 477–483. doi: 10.1097/00001665-200605000-00015.

Wen, J. *et al.* (2020) 'Effect of helmet therapy in the treatment of positional head deformity', *Journal of Paediatrics and Child Health*. John Wiley & Sons, Ltd, 56(5), pp. 735–741. doi: 10.1111/jpc.14717.

van Wijk, R. M. *et al.* (2014a) 'Helmet therapy in infants with positional skull deformation: randomised controlled trial.', *BMJ (Clinical research ed.)*. England, 348, p. g2741. doi: 10.1136/bmj.g2741.

van Wijk, R. M. *et al.* (2014b) 'Helmet therapy in infants with positional skull deformation: randomised controlled trial.', *BMJ (Clinical research ed.)*. England, 348, p. g2741. doi: 10.1136/bmj.g2741.

Wilbrand, J.-F. *et al.* (2014) 'Percentile-based assessment of craniosynostosis', *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. Churchill Livingstone, 42(5), pp. 634–640. doi: 10.1016/J.JCMS.2013.09.005.

Wilbrand, J.-F. *et al.* (2016) 'Treated Versus Untreated Positional Head Deformity.', *The Journal of craniofacial surgery*, 27(1), pp. 13–8. doi: 10.1097/SCS.0000000000002167.

Wilbrand, J. F. *et al.* (2011) 'Value and reliability of anthropometric measurements of cranial deformity in early childhood', *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. Elsevier Ltd, 39(1), pp. 24–29. doi: 10.1016/j.jcms.2010.03.010.

Wilbrand, J. F. *et al.* (2017) 'Normal Head Shape Parameters in the First 2 Years of Life and Effect of Helmet Therapy', *Neuropediatrics*, 48(6), pp. 432–441. doi: 10.1055/s-0037-1604482.

Wittmeier, K. and Mulder, K. (2017) 'Time to revisit tummy time: A commentary on plagiocephaly and development', *Paediatrics & Child Health*. Narnia, 22(3), pp. 159–161. doi: 10.1093/pch/pxx046.

Wolf, J. A. (2017) *Quantifizierung der Gesichtsasymmetrie bei Kindern mit lagebedingter Plagiozephalie - Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde (Tübingen)*. Available at: https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/bitstream/handle/10900/78335/Diss_JanWolf.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Accessed: 21 January 2021).

Yin, H., Dong, X. and Yang, B. (2015) 'A new three-dimensional measurement in evaluating the cranial asymmetry caused by craniosynostosis', *Surgical and Radiologic Anatomy*. Springer, 37(8), pp. 989–995. doi: 10.1007/s00276-015-1430-y.

8 Anhang

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	6
Abbildung 2	7
Abbildung 3	8
Abbildung 4	9
Abbildung 5	10
Abbildung 6	14
Abbildung 7	16
Abbildung 8	23
Abbildung 9	25
Abbildung 10	26
Abbildung 11	27
Abbildung 12	31
Abbildung 13	37
Abbildung 14	38
Abbildung 15	39
Abbildung 16	40
Abbildung 17	48
Abbildung 18	49
Abbildung 19	51
Abbildung 20	52
Abbildung 21	66

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	24
Tabelle 2	28
Tabelle 3	32
Tabelle 4	36
Tabelle 5	41
Tabelle 6	42
Tabelle 7	57
Tabelle 8	62

8.3 Abkürzungsverzeichnis

AD	anterior-dextra
AP	anterior-posterior (Länge)
AS	anterior-sinistra
CI	<i>cranial index - Synonym: CPI</i>
CPI	<i>cranial proportional index - Synonym: CI</i>
CVA	<i>cranial vault asymmetry - Synonym: ODD</i>
CVAI	<i>cranial vault asymmetry index</i>
DiagA	längere Diagonale
DiagB	kürzere Diagonale
ED	<i>ear deviation</i>
EDI	<i>ear deviation index</i>
LOP	linker Ohrenpunkt
MOP	mittlerer okzipitaler Punkt
NP	Nasenpunkt
ODD	<i>oblique diameter difference - Synonym: CVA</i>
ODL	<i>oblique diameter left</i>
ODR	<i>oblique diameter right</i>
PD	posterior-dextra
PS	posterior-sinistra
Pv3D	Plagiocephalometrie versus 3D-Photogrammetrie
PvZ	Plagiocephalometrie versus Zirkelmessung
ROP	rechter Ohrenpunkt
SD	sinistra-dextra (Breite)
SIDS	<i>sudden infant death syndrome - Plötzlicher Kindstod</i>

8.4 Patientenaufklärung



UNIVERSITÄTSKLINIKUM
GIESSEN UND MARBURG

Uniklinikum GI und MR GmbH, MKG-Chirurgie
Klinikstrasse 33, D - 35385 Gießen

**Klinik und Poliklinik für
Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
- Plastische Operationen -
Justus-Liebig-Universität Gießen**
Direktor:
Prof. Dr.med. Dr.med.dent. H.-P. Howaldt

Klinikstraße 33
35385 Gießen

Telefon (0641) 985-46271
Telefax (0641) 985-46279
E-mail: mkg@uniklinikum-giessen.de
www.ukgm.de/ugi_mkg

13. Juni 2017

Az.: Plagiocephalometrie

Patientenaufklärung „Plagiocephalometrie“

Sehr geehrte Eltern,

wir möchten Sie heute herzlich bitten, an einer klinischen Studie teilzunehmen, die aktuell an der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie durchgeführt wird.

Die Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Gießen beschäftigt sich als eine der ersten Kliniken in ganz Europa seit 1995 mit der Untersuchung, Klassifikation und Behandlung lagebedingter und synostotischer kindlicher Schädeldeformitäten und nimmt international eine führende Rolle auf diesem Gebiet ein.

Nun untersucht unsere Klinik zwei unterschiedliche Methoden, die beide eine ambulante Erfassung kindlicher Schädeldeformitäten möglich machen. Die Validität beider Messverfahren wird aktuell in unserer Klinik untersucht. Dies bedeutet, dass überprüft wird, ob eine solche Erfassung mittels zwei unterschiedlicher Vermessungsverfahren zum selben Ergebnis führen.

Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH

Sitz der Gesellschaft: Gießen
Amtsgericht Gießen HRB 6384
<http://www.ukgm.de>

Geschäftsführung

Dr. Gunther K. Weiß (Vors.)
Prof. Dr. Werner Seeger (stv. Vors.)
Dr. Christiane Hinck-Kneip
Prof. Dr. Harald Renz

Aufsichtsratsvorsitzender

Dr. Dr. Martin Siebert

Hierzu wird eine einmalige Erfassung des Kopfes Ihres Kindes mit einem plastischen Band, was nach kurzer Zeit eine stabile Form annimmt, durchgeführt, das so den genauen Kopfumfang Ihres Kindes widerspiegelt. Dies dauert wenige Minuten und stellt keinerlei zusätzliche Belastung für Sie oder ihr Kind dar. Die Kopfform wird nachfolgend im Labor ausgewertet. Die ebenfalls durchgeführten Kopfmessungen mit Zirkel und Maßband und eine dreidimensionale Erfassung der Kopfform sind Standardverfahren an unserer Klinik. Mit diesen Methoden sollen die mit der manuellen Ausmessung erhaltenen Messdaten verglichen werden.

Die Daten Ihres Kindes werden im Rahmen dieser Studie anonymisiert verwendet und ausgewertet. Sie werden nicht an Dritte weitergegeben. Eine Nicht-Teilnahme oder ein Abbruch der Teilnahme führt für Sie oder Ihr Kind zu keinerlei Nachteilen.

Gerne stehen Ihnen die Ärzte der Klinik für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie und der mit der Studiendurchführung betraute Doktorand, Herr Richard Krüger, zur Beantwortung eventuell auftretender Fragen jederzeit zur Verfügung. Die Einwilligung zur Studienteilnahme können Sie mit Ihrer Unterschrift auf dem nachfolgenden Einverständniserklärungsbogen geben. Bei Nicht-Teilnahme lassen Sie den Bogen bitte einfach unberücksichtigt.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. Dr. H.-P. Howaldt
Direktor der Klinik

PD Dr. Dr. J. F. Wilbrand
Oberarzt der Klinik

Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH

Sitz der Gesellschaft: Gießen
Amtsgericht Gießen HRB 6384
<http://www.ukgm.de>

Geschäftsführung

Dr. Gunther K. Weiß (Vors.)
Prof. Dr. Werner Seeger (stv. Vors.)
Dr. Christiane Hinck-Kneip
Prof. Dr. Harald Renz

Aufsichtsratsvorsitzender

Dr. Dr. Martin Siebert

Patientenaufklärung „Plagiocephalometrie“

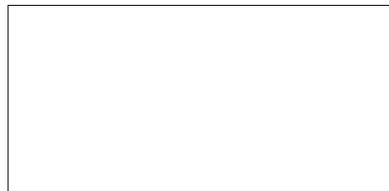
Seite 3

Einverständniserklärung

Mit meiner Unterschrift erkläre ich mich zur Teilnahme an der klinischen Studie

„Vergleichende Evaluation verschiedener Messverfahren kindlicher Schädeldeformitäten: Plagiocephalometrie vs. Zirkelmessung vs. 3D-Messung“ einverstanden. Ich bin ausführlich über den Ablauf der Studie aufgeklärt worden und habe keine weiteren Fragen. Ich habe verstanden, dass eine Nicht-Teilnahme oder ein Studienabbruch zu keinerlei Nachteilen für mich oder mein Kind führt.

Gießen, den



Patientenaufkleber

Unterschrift

Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH

Sitz der Gesellschaft: Gießen
Amtsgericht Gießen HRB 6384
<http://www.ukgm.de>

Geschäftsführung

Dr. Gunther K. Weiß (Vors.)
Prof. Dr. Werner Seeger (stv. Vors.)
Dr. Christiane Hinck-Kneip
Prof. Dr. Harald Renz

Aufsichtsratsvorsitzender

Dr. Dr. Martin Siebert

8.5 Publikationsverzeichnis

Vortrag und Vorstellung der Ergebnisse der Arbeit auf dem 68. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie am 09. Juni 2018 in Dresden



Validierungsprüfung verschiedener Messmethoden kindlicher Schädeldeformitäten: Plagiocephalometrie
Krüger, Richard; Tabak, D.; Howaldt, H.-P.; Wilbrand, J.-F. (Giessen)

9 Danksagung

Mein Dank gilt zuallererst Herrn PD Dr. Dr. J.-F. Wilbrand für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und die allumfassende strukturelle, fachliche und zwischenmenschliche Betreuung, seine Motivationsgabe und seine unendliche Geduld.

Ich bedanke mich zudem bei Herrn Dr. J. Pons-Kühnemann für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse und die vielen Erklärungen über alle Kommunikationswege.

Herrn Samuel Thomas danke ich für seine unvergleichliche Freundschaft und die vielen gemeinsamen Jahre, die wir Seite an Seite während allen Examina des Medizinstudiums und dem Verfassen unserer Dissertationen miteinander verbracht haben.

Herrn Jannik Löhnert, Moritz Meyer und Lukas Vossen danke ich für ihre geduldige Hilfe bei der grafischen, formalen und statistischen Gestaltung dieser Arbeit.

Ich danke Herrn Philipp Langen für seine sofortige Bereitschaft zur Mitarbeit und vielen Stunde seiner Unterstützung bei der Beschaffung der Messergebnisse.

Für die tatkräftige und kompetente Hilfe möchte ich namentlich Birgitt Bader, Carola Braun, Michaela Ladouz, Sultan Özcan, Nicola Schröder-Giesemann, Darko Tabak und auch allen anderen Mitarbeitern der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und des Promotionsbüros für Medizin danken sowie Lisa Dröge, Leonard und Nikolaus Grefe, Christian Hoffmeister, Paul Kohlhaas, Adrian Patenge und Finn Schönefeldt.

Für die finanzielle Unterstützung danke ich herzlich meinem Patenonkel Reinhard Solte.

Aber vor allem gilt mein größter Dank meinen Eltern, die Zeit meines Lebens in völliger Selbstverständlichkeit mir alles ermöglicht und in unendlicher Liebe hinter mir gestanden haben. Ich danke meiner Schwester Lara und meinem Zwillingsbruder Konstantin für die unvergesslichen Momente unserer gemeinsamen Kindheit und den bestehenden Zusammenhalt als frei denkende und glückliche Erwachsene und Kollegen.

Besonders danken möchte ich meiner Freundin Lara Zöllner, die von Anfang bis Ende dieser Arbeit liebevoll an meiner Seite stand und an mich geglaubt hat.

Und ich danke meinem Corps, das mich viele Regeln des Lebens und Zusammenlebens gelehrt und mir Freunde fürs Leben geschenkt hat.