

Aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie - Plastische
Operationen
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Anthropometrische Analyse des Gesichtsschädels:
Wissenschaftlicher Kenntnisstand und Analyse an CT-Datensätzen der
Universitätsmedizin Mainz

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Katja Gelbke geb. zum Hebel
aus Mönchengladbach

Mainz, 2020

Tag der Promotion:

08. Dezember 2020

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
1. EINLEITUNG	1
2. LITERATURDISKUSSION.....	4
2.1. Röntgenstrahlen.....	4
2.1.1. Wirkung der Röntgenstrahlung und ihre Folgen	5
2.1.2. Röntgenaufnahmen und effektive Dosis	7
2.2. Das Projekt „Kephalos“	9
2.3. Messung der Weichgewebedicke des Gesichts.....	11
2.3.1. Der Schädel.....	11
2.3.2. Das Weichgewebe des Gesichts	12
2.3.3. Anthropometrie	14
2.3.4. Verwendung der Weichgewebedickenwerte.....	14
2.3.5. Landmarks.....	15
2.3.6. Methoden der Weichgewebedickenmessung	17
2.3.7. Mögliche Einflussfaktoren auf die Weichgewebedicke	19
3. MATERIAL UND METHODEN.....	22
3.1. CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz	22
3.1.1. Ethikantrag	22
3.1.2. Identifikation und Auswahl der CT-Datensätze.....	22
3.1.3. Auswahl der Messpunkte für die CT-Datensätze.....	24
3.1.4. Analyse der CT-Datensätze.....	29
3.1.5. Grafische Darstellung der CT-Datensätze	30
3.2. Literatur.....	30
3.2.1. Literaturrecherche und Auswahl	30
3.2.2. Literaturzusammenfassung, Extraktion und Präsentation.....	30
3.2.3. Grafische Darstellung der Landmarks	32
3.2.4. Metaanalyse	32
3.3. Vergleich der Literaturdaten mit den CT-Datensätzen der Universitätsmedizin Mainz	35
4. ERGEBNISSE	36
4.1. CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz	36
4.2. Literatur.....	44

4.2.1.	Studienprofile der Literatur	44
4.2.2.	Messergebnisse zur Weichgewebedicke der Literatur.....	59
4.2.3.	Metaanalyse	66
4.3.	Vergleich Literatur und CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz	89
5.	DISKUSSION.....	91
5.1.	Die CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz.....	91
5.2.	Literaturanalyse	97
5.3.	Vergleich der Ergebnisse der Literaturanalyse mit denen der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz	102
5.4.	Beurteilung des Studiendesigns.....	105
5.5.	Schlussfolgerung	110
6.	ZUSAMMENFASSUNG	111
7.	LITERATURVERZEICHNIS.....	113
8.	ANHANG	121

Abkürzungsverzeichnis

BMI	Body-Mass-Index
bzw.	beziehungsweise
CBCT	Cone-beam Computertomografie (= DVT)
CT	Computertomografie
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DVT	(dentale) digitale Volumentomografie
FOV	Field of View
FRS	Fernröntgenseitenbild
i.d.R.	in der Regel
MRT	Magnetresonanztomografie
PACS	Picture Archiving and Communication System
Sv	Sievert
u.a.	unter anderem
z.B.	zum Beispiel
2D	2-dimensional
3D	3-dimensional

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: KNOCHEN DES MENSCHLICHEN SCHÄDELS, SAGITTAL	12
ABBILDUNG 2: SCHICHTEN DER HAUT	13
ABBILDUNG 3: BEISPIEL FÜR DIE BESCHREIBUNGEN DER LANDMARKS IN DER LITERATUR	16
ABBILDUNG 4: LANDMARKS DER CT-DATENSÄTZE DER UNIVERSITÄTSMEDIZIN MAINZ UND DER METAANALYSE, FRONTALANSICHT	27
ABBILDUNG 5: LANDMARKS DER CT-DATENSÄTZE DER UNIVERSITÄTSMEDIZIN MAINZ UND DER METAANALYSE, SEITENANSICHT	28
ABBILDUNG 6: FRONTALANSICHT DER MITTLEREN WEICHGEWEBEDICKE DER MÄNNLICHEN PROBANDEN DER CT-DATENSÄTZE DER UNIVERSITÄTSMEDIZIN MAINZ AN DEN MARKIERTEN LANDMARKS	39
ABBILDUNG 7: SEITENANSICHT DER MITTLEREN WEICHGEWEBEDICKE DER MÄNNLICHEN PROBANDEN DER CT-DATENSÄTZE DER UNIVERSITÄTSMEDIZIN MAINZ AN DEN MARKIERTEN LANDMARKS.....	40
ABBILDUNG 8: FRONTALANSICHT DER MITTLEREN WEICHGEWEBEDICKE DER WEIBLICHEN PROBANDEN DER CT-DATENSÄTZE DER UNIVERSITÄTSMEDIZIN MAINZ AN DEN MARKIERTEN LANDMARKS	42
ABBILDUNG 9: SEITENANSICHT DER MITTLEREN WEICHGEWEBEDICKE DER WEIBLICHEN PROBANDEN DER CT-DATENSÄTZE DER UNIVERSITÄTSMEDIZIN MAINZ AN DEN MARKIERTEN LANDMARKS.....	43
ABBILDUNG 10: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 5 „GLABELLA“.....	67
ABBILDUNG 11: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 6 „NASION“	68
ABBILDUNG 12: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 9 „RHINION“	69
ABBILDUNG 13: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 14 „MID-PHILTRUM“.....	70
ABBILDUNG 14: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 16 „PROSTHION“	71
ABBILDUNG 15: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 23 „INFRADENTALE“	72
ABBILDUNG 16: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 25 „SUPRAMENTALE“	73
ABBILDUNG 17: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 27 „POGONION“.....	74
ABBILDUNG 18: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 30 „MENTON“	75
ABBILDUNG 19: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 49 „MID-SUPRAORBITALE“	76
ABBILDUNG 20: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 63 „MID-INFRAORBITALE“	77
ABBILDUNG 21: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 69 „ZYGION“	78
ABBILDUNG 22: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 70 „LATERAL ORBIT“	79
ABBILDUNG 23: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 81 „INFERIOR MALAR“	80
ABBILDUNG 24: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 82 „SUPRACANINE“	81
ABBILDUNG 25: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 87 „ABOVE ECTOMOLARE ² “	82
ABBILDUNG 26: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 89 „OCCLUSAL LINE“	83
ABBILDUNG 27: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 92 „MID-RAMUS“	84
ABBILDUNG 28: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 98 „BELOW ECTOMOLARE ² “	85
ABBILDUNG 29: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 103 „GONION“	86
ABBILDUNG 30: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 107 „MID-MANDIBULAR BORDER“	87
ABBILDUNG 31: FOREST PLOT ZUR WEICHGEWEBEDICKE DER LANDMARK 144 „INFRACANINE“	88
ABBILDUNG 32: VERGLEICH ZWISCHEN DER LITERATUR UND DEN CT-DATENSÄTZEN DER UNIVERSITÄTSMEDIZIN MAINZ: WEICHGEWEBEDICKEN DER LANDMARKS DER MEDIANEBENE	89
ABBILDUNG 33: VERGLEICH ZWISCHEN DER LITERATUR UND DEN CT-DATENSÄTZEN DER UNIVERSITÄTSMEDIZIN MAINZ: WEICHGEWEBEDICKEN DER BILATERAL GELEGENEN LANDMARKS	90
ABBILDUNG 34: FRONTALANSICHT, DER IN DER MEDIANEBENE LIEGENDEN LANDMARKS AUS DER LITERATUR	121
ABBILDUNG 35: SEITENANSICHT, DER IN DER MEDIANEBENE LIEGENDEN LANDMARKS AUS DER LITERATUR	122
ABBILDUNG 36: FRONTALANSICHT, DER BILATERAL LIEGENDEN LANDMARKS AUS DER LITERATUR.....	126
ABBILDUNG 37: SEITENANSICHT, DER BILATERAL LIEGENDEN LANDMARKS AUS DER LITERATUR.....	127

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ÜBERSICHT UND DEFINITION DER UNTERSUCHTEN LANDMARKS	24
TABELLE 2: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN, MINIMA UND MAXIMA DER WEICHGEWEBEDICKEN DER PROBANDEN DER CT-DATENSÄTZE DER UNIVERSITÄTSMEDIZIN MAINZ.....	37
TABELLE 3: STUDIENZIEL UND MATERIALIEN DER EINGESCHLOSSENEN STUDIEN DER LITERATURRECHERCHE	44
TABELLE 4: DATENVERARBEITUNG DER EINGESCHLOSSENEN STUDIEN DER LITERATURRECHERCHE	48
TABELLE 5: ERSTE ERGEBNISSE DER EINGESCHLOSSENEN STUDIEN DER LITERATURRECHERCHE (TEIL 1)...	54
TABELLE 6: ERSTE ERGEBNISSE DER EINGESCHLOSSENEN STUDIEN DER LITERATURRECHERCHE (TEIL 2)...	56
TABELLE 7: GEWICHTETE MITTELWERTE DER EINZELNEN STUDIEN DER LITERATURRECHERCHE AN DEN LANDMARKS IN DER MEDIANEBENE	59
TABELLE 8: GEWICHTETE MITTELWERTE DER EINZELNEN STUDIEN DER LITERATURRECHERCHE AN DEN BILATERAL GELEGENEN LANDMARKS	61
TABELLE 9: GEWICHTETE STANDARDABWEICHUNGEN DER EINZELNEN STUDIEN DER LITERATURRECHERCHE AN DEN LANDMARKS DER MEDIANEBENE	63
TABELLE 10: GEWICHTETE STANDARDABWEICHUNGEN DER EINZELNEN STUDIEN DER LITERATURRECHERCHE AN DEN BILATERAL GELEGENEN LANDMARKS	64
TABELLE 11: LANDMARKS DER LITERATUR (MEDIANEBENE)	123
TABELLE 12: LANDMARKS DER LITERATUR (BILATERAL)	128

1. EINLEITUNG

Röntgenaufnahmen gehören in den meisten medizinischen Bereichen zur Routine. Hauptsächlich werden sie in der (zahn-) medizinischen Diagnostik eingesetzt. Im Jahr 2016 wurden laut dem Bundesamt für Strahlenschutz (2020) ca. 135 Millionen Röntgenanwendungen durchgeführt, allein 43% davon im zahnmedizinischen Bereich. Während die Pro-Kopf-Häufigkeit von 2007 bis 2016 mit 1,7 Röntgenaufnahmen gleichgeblieben ist, steigt die Anzahl an CT-Aufnahmen und der Anteil an zahnmedizinischen Röntgenaufnahmen seit 2007 konstant an (Bundesamt für Strahlenschutz, 2020). Während jeder Röntgenaufnahme wird der Patient mit Röntgenstrahlung belastet. (Röntgen-) Strahlung führt zur Veränderung der Molekülstruktur innerhalb der Zellen des Körpers. Veränderte Moleküle können dann die Zellen beeinflussen und zum Beispiel zur Entstehung von Erkrankungen wie Tumoren führen (Valentin and International Commission on Radiological Protection, 2007, p. 50 ff.). Die effektive Dosis gibt hierbei Auskunft, mit welcher Wahrscheinlichkeit solche strahlungsbedingten Schäden auftreten. Je höher dabei die Dosis, desto wahrscheinlicher das Entartungsrisiko (Bundesamt für Strahlenschutz, n.d.; Valentin and International Commission on Radiological Protection, 2007). CT-Aufnahmen waren 2016 für 67% der effektiven Dosis verantwortlich (Bundesamt für Strahlenschutz, 2020). Einen Teilbereich hiervon bilden die DVT-Aufnahmen, deren technische Erstellung der Herstellung von CT-Aufnahmen ähnelt.

DVT-Aufnahmen liefern ein 3-dimensionales Bild und werden in der Zahnmedizin und Medizin durch ihre im Vergleich zum CT wesentlich geringere Strahlenbelastung immer beliebter. So liegt die effektive Dosis einer großen DVT-Aufnahme am Kopf im Mittel bei ca. 84 - 212 μSv abhängig von der Größe der Aufnahme und dem verwendeten Gerät (Ludlow et al., 2015), während sie bei einem CT des Kopfes ca. 1000 - 3000 μSv beträgt (Bundesamt für Strahlenschutz, 2018). Neben dem Wissen, dass selbst niedrige Dosen an Röntgenstrahlung zufällige, „stochastische“ Effekte und Folgen, wie z.B. Krebs haben können (Valentin and International Commission on Radiological Protection, 2007, p. 50 ff.), lassen einige Studien vermuten, dass selbst für zahnmedizinische, 2-dimensionale Röntgenaufnahmen, die sich im Niedrigdosisbereich befinden, Zusammenhänge zwischen der Strahlenexposition und einem erhöhten Tumorrisiko zu finden sind (Preston-Martin et al., 1980; Memon et al., 2010).

Berechnungen für das Krebsrisiko durch DVT-Aufnahmen, die eine im Mittel ca. zehnmal höhere effektive Dosis als 2-dimensionale Röntgenaufnahmen haben (Brooks, 2009), zeigen, dass das individuelle Risiko an Krebs zu erkranken zwar nicht sehr hoch ist, die Gefahr jedoch darin besteht, dass DVT-Aufnahmen an Popularität gewinnen und durch die vermehrte Nutzung die Wahrscheinlichkeit von Strahlungsschäden in der Population steigt (Yeh and Chen, 2018).

Das Projekt „Kephalos“ - „Strahlungsarme 3D Rekonstruktion des Gesichtsschädels auf Basis multimodaler Eingabedaten“ ist ein BMBF¹-gefördertes Projekt, mit dem Ziel die Strahlenbelastung durch 3-dimensionale Röntgenaufnahmen zu reduzieren. Der Fokus liegt hierbei auf dem Ersatz von Röntgenaufnahmen, die zur Beurteilung der äußeren, knöchernen Schädeloberfläche angefertigt werden. Diese finden beispielsweise Anwendung in der Kieferorthopädie innerhalb der Diagnostik und Therapie von Lage- und Formanomalien der Kiefer (sogenannte Dysgnathien). Hierfür werden häufig DVT-Aufnahmen genutzt (Ludlow and Ivanovic, 2008; De Riu et al., 2014).

Um die Patienten vor hohen Strahlenbelastungen und ihren Folgen zu schützen und trotzdem die Vorteile der DVT-Aufnahme, nämlich ein 3-dimensionales Abbild der Schädeloberfläche, nutzen zu können, ist das Ziel des „Kephalos“-Projekts eine neue, strahlungsarme Technik zu entwickeln. Hierbei wird die faziale, knöcherne Schädeloberfläche aus einer 2-dimensionalen Röntgenaufnahme (FRS-Aufnahme), einem Oberflächenscan des Gesichts und einem statistischen Modell des Weichgewebes des Gesichts rekonstruiert. Mit dieser neuen Technik könnte die effektive Strahlendosis von ca. 84 - 212 μSv (eine DVT-Aufnahme) auf ca. 5 - 6 μSv (eine FRS-Aufnahme, (Ludlow et al., 2008)) verringert und damit das Risiko, eine strahlenbedingte Folgeerkrankung zu entwickeln, reduziert werden. Konkret soll aus dem Oberflächenscan des Gesichts, der die äußere Hautoberfläche des Patienten erfasst, die Oberfläche des Schädelknochens berechnet werden. Dazu ist es notwendig, die dem Knochen aufliegende Dicke des Weichgewebes zu kennen. Das statistische Modell gibt genauere Auskunft über die durchschnittlichen Weichgewebedicken verschiedener Bereiche des Gesichts und ermöglicht so die Rückschlüsse von der Hautoberfläche auf den unterliegenden Knochen.

¹ BMBF = Bundesministerium für Bildung und Forschung

Ziel dieser Dissertation ist es, die vorhandenen wissenschaftlichen Daten zur Weichgewebedicke im Schädelbereich des Gesichts im Sinne einer Metaanalyse auszuwerten, sowie die Generierung und Analyse aktueller Daten zur Weichgewebedicke des Gesichts junger, erwachsener Probanden. Sekundäres Hauptziel der Arbeit ist das Heraussuchen vorhandener CT-Datensätze des Schädels aus dem PACS (Picture Archiving and Communication System) der Universitätsmedizin Mainz, die sich für die Anfertigung des statistischen Schädelmodells im „Kephalos“-Projekt eignen.

2. LITERATURDISKUSSION

2.1. Röntgenstrahlen

Unter dem Begriff Strahlung versteht man im Allgemeinen den Transport von Energie in Form von Teilchen oder Wellen (Pasler, 2008, p. 1). Unterschieden werden kann hierbei nach Wirkung, Ursprungsort oder Bestandteil. In der medizinischen Diagnostik werden sowohl ionisierende, als auch nicht ionisierende Strahlen verwendet (Dössel, 2016). Zu den Verfahren, die nicht-ionisierende Strahlen nutzen, zählen die Sonografie (der Ultraschall) und die Magnetresonanztomografie (MRT) (Pasler, 2008, p. 1). Ionisierende Strahlen werden in der Röntgendiagnostik unter anderem bei der Erstellung konventioneller 2-dimensionaler Röntgenbilder, aber auch bei der Computertomografie, bzw. Cone-Beam-Computertomografie verwendet.

Beim Röntgenstrahl wird Energie in Form einer elektromagnetischen Welle transportiert (Bundesamt für Strahlenschutz, 2019a).

Um die Röntgenstrahlen für die Nutzung in der Medizin zu erzeugen, wird eine Röntgenröhre verwendet (Pasler, 2008, p. 38 ff.). In der Röntgenröhre werden Elektronen durch den Heizstrom an einer Kathode erzeugt und mit Unterstützung der Röhrenspannung beschleunigt. Die Elektronen treffen dann mit sehr hohen Geschwindigkeiten auf eine Anode, welche als Bremsmaterial fungiert. Aus der Wechselwirkung mit der Anode entstehen elektromagnetische Wellen, sprich die Bremsstrahlung und die charakteristische Eigenstrahlung, aus denen sich die Röntgenstrahlung zusammensetzt.

Durch Filtern und Einblenden wird ein Großteil an langwelliger und für die Diagnostik nicht nutzbarer Anteil der Röntgenstrahlen herausgefiltert (Dössel, 2016, p. 31)

2.1.1. Wirkung der Röntgenstrahlung und ihre Folgen

Beim Auftreffen des Röntgenstrahls auf Materie, wie den menschlichen Körper, kommt es zu Wechselwirkungen, die abhängig von der Strahlenintensität und Strahlenqualität sind.

Die Photonen (die Elementarteilchen des Röntgenstrahls) reagieren beim Zusammentreffen mit den Atomen der Materie. Dabei sind folgende Wechselwirkungen von Bedeutung (Pasler, 2008, p. 5 f.; Dössel, 2016, p. 16 ff.):

Die klassische Streuung

Hierbei ändert sich die Richtung des Röntgenstrahls ohne Energieübertragung durch die resultierende Schwingung der Elektronen der Atomhülle beim Auftreffen (Rayleigh-Streuung).

Compton Streuung

Trifft das Photon auf ein Elektron der Atomhülle, kann es zur Überleitung von Energie kommen. Dies führt zum Austreten des Elektrons aus dem Atom und zur Richtungsänderung des energetisch abgeschwächten Photons, zurück bleibt ein ionisiertes Atom.

Photoabsorption

Das Photon trifft auf ein Elektron des Atoms und überträgt seine Energie vollständig auf dieses. Das Elektron löst sich ganz aus dem Atom-Verbund, auch hier entsteht ein ionisiertes Atom.

Im menschlichen Körper kommt es, durch den hohen Wasseranteil der Körperzellen, bei Auftreffen der ionisierten Strahlung häufig zur Bildung von ionisierten Wasser-Atomen (Dössel, 2016, p. 187). Diese reaktionsfreudigen Radikale können schließlich mit den Molekülen der Zellen (wie beispielsweise der DNA) interagieren und diese verändern. Daneben kann ionisierende Strahlung aber auch direkt auf die Moleküle der Zellen, wie z.B. die DNA einwirken und sie modifizieren (Valentin and International Commission on Radiological Protection, 2007, p. 50 ff.).

Die dabei entstehenden Strahlenschäden lassen sich wie folgt einteilen:

Stochastische Strahlenschäden

Stochastische Strahlenschäden sind zufallsbedingte Strahlenschäden, deren Wahrscheinlichkeit dosisabhängig ist. Je höher die (effektive) Dosis der Strahlung, desto wahrscheinlicher treten sie auf. Das Ausmaß der Schädigung lässt sich dabei nicht vorhersagen. Es handelt sich hierbei um strahlenbedingte Veränderungen der DNA, die in ihrer Folge Mutationen und z.B. Tumore oder Erbkrankheiten auslösen können (Valentin and International Commission on Radiological Protection, 2007, p. 49 ff.; Pasler, 2008, p. 19; Bundesamt für Strahlenschutz, 2019b).

Prinzipiell reicht ein Photon aus, um die Atome der Erbsubstanz so zu verändern, dass Krebs entsteht. Demzufolge wichtig festzuhalten ist: „Jede Röntgenaufnahme - auch wenn sie mit einer minimalen Dosis auskommt - kann Krebs auslösen.“ (Dössel, 2016, p. 189).

Deterministische Strahlenschäden

Deterministische Strahlenschäden entstehen, wenn die Strahlung einen Grenzwert von ca. 500mSv (bei Erwachsenen) überschreitet. Die Strahlung führt zur Apoptose (dem Absterben) der Zellen. Je höher die Dosis, desto stärker der Schaden. Folgen des Zellsterbens kann der Funktionsverlust des betreffenden Gewebes oder auch eines ganzen Organs sein (Pasler, 2008, p. 19 f.; Valentin and International Commission on Radiological Protection, 2007, p. 49 f.; Bundesamt für Strahlenschutz, 2019b).

Innerhalb der (zahn-) medizinischen Diagnostik liegen die Dosiswerte bei einer Aufnahme im Bereich des Kopfes weit außerhalb dieses Bereichs (eine CT-Aufnahme des Kopfes hat beispielsweise eine mittlere Effektive Dosis von 1 - 3 mSv (Bundesamt für Strahlenschutz, 2018)).

Die Strahlenmenge (Dosis), die Strahlenart (Strahlenqualität) sowie der Ort, der bestrahlt wird, entscheiden, wie gefährlich die Strahlung für die Gesundheit ist (Bundesamt für Strahlenschutz, 2019b). Grundsätzlich kann festgehalten werden, je höher die Dosis desto wahrscheinlicher kann es zu Strahlenschäden kommen (Pasler, 2008, p. 19). Im Kopf-Hals-Bereich sind die Schilddrüse, das Gehirn und die Speicheldrüsen besonders strahlensensibel und schützenswert (Valentin and International Commission on Radiological Protection, 2007, p. 89).

Auf Grund der oben aufgeführten Risiken, besonders der stochastischen Strahlenschäden, ist es notwendig, die Strahlenexposition jedes Individuums so gering wie möglich zu halten. Dabei muss die Indikation zur Strahlenbelastung eines Patienten und sein gesundheitlicher Benefit durch die Bestrahlung mit dem Risiko von iatrogen-verursachten Strahlenschäden abgewogen werden. Dies wird durch den behandelnden (Zahn-) Arzt beurteilt und die rechtfertigende Indikation zur Bestrahlung gestellt. Gehandelt wird in der Medizin nach dem „ALARA-Prinzip“ („as low as reasonably achievable“), die Strahlenbelastung wird „so gering wie vernünftigerweise erreichbar“ gewählt (Valentin and International Commission on Radiological Protection, 2007, p. 89).

2.1.2. Röntgenaufnahmen und effektive Dosis

In der Medizin werden Röntgenstrahlen in verschiedenen Techniken verwendet. Man unterscheidet generell zwischen 2-dimensionalen und 3-dimensionalen Röntgentechniken.

Die Energieübertragung und mögliche stochastische Strahlenwirkung der verschiedenen Röntgentechniken auf das bestrahlte Gewebe werden mit der effektiven Dosis in Sievert (im medizinischen Bereich i.d.R. in Milli-Sievert (mSv) bzw. Mikro-Sievert (μ Sv) angegeben) (Bundesamt für Strahlenschutz, n.d.).

Die innerhalb dieser Arbeit am häufigsten aufgeführten ionisierten Strahlungsquellen sind kurz im Folgenden aufgeführt.

Das Projektionsröntgen

Vereinfacht beschrieben, treten beim Projektionsröntgen (2-dimensional) die vom Körper abgeschwächten Röntgenstrahlen in Wechselwirkung mit einem Empfänger. Je dicker und dichter ein Körperbereich ist, oder je höher die Ordnungszahl des Materials, welches die ionisierten Strahlen durchdringen, desto mehr werden die Röntgenstrahlen auf ihrem Weg abgeschwächt und desto weniger Photonen treffen auf den Empfänger (Dössel, 2016, p. 22 f.). Die Wechselwirkungen zwischen den auftreffenden Photonen und dem Empfänger können anschließend sichtbar gemacht werden, es entsteht ein typisches 2-dimensionales Abbild, ein „Schattenbild“, des geröntgten Gebiets. Bereiche in denen Röntgenstrahlen stark abgeschwächt werden, sind im Röntgenbild heller dargestellt als Bereiche in denen die Röntgenstrahlung

nahezu ungehindert auf den Empfänger auftreffen können, wie beispielsweise bei der Bestrahlung luftgefüllter Hohlräume (z.B. Nasennebenhöhlen) (Dössel, 2016, p. 5 ff.). Ein Beispiel für das 2-dimensionale Röntgen ist die Fernröntgenseitenaufnahme (FRS-Aufnahme). Ihre Besonderheit besteht in dem großen Fokus-Detektor Abstand (Abstand zwischen der Strahlenquelle und dem Empfänger; 1,5m im alltäglichen klinischen Gebrauch) und einer standardisierten Positionierung des Kopfes lateral zum Fokus mit Ausrichtung der Medianebene orthogonal zum Röntgenstrahl (Kahl-Nieke, 2010, p. 147). Dies „[...] ermöglicht eine weitgehend originalgetreue Reproduktion des Gesichtsschädels mit geringer Vergrößerung und Verzerrung [...].“ (Kahl-Nieke, 2010, p. 147). Der Vergrößerungsfaktor eines Fernröntgenseitenbildes liegt bei bis zu 10% (Nötzel et al., 2007, p. 22). Die Beurteilung von Winkeln und Verhältnissen des Ober- und Unterkiefers getrennt und zueinander, wie es standardmäßig bei der kephalometrischen Analyse in der kieferorthopädischen Diagnostik durchgeführt wird, wird so ermöglicht (Nötzel and Schultz, 2001).

Die effektive Dosis einer FRS-Aufnahme liegt im bei ca. 5 - 6 μ Sv (Ludlow et al., 2008).

Die CT-Aufnahme

CT-Aufnahmen sind Schnittbildaufnahmen und werden mithilfe der Computertomografie erzeugt. Die Röntgenröhre sowie die Detektoren, die die sogenannte Gantry bilden, rotieren dabei um 360° um den auf einem Tisch liegenden Patienten. Der Tisch fährt den Patienten durch die Gantry, entsprechend dem Bereich, der geröntgt werden soll. Die Bestrahlung erfolgt mit einem fächerförmigen Röntgenstrahlenbündel. Die Röntgenstrahlen werden beim Eintritt in den Patienten nach denselben Regeln wie beim Projektionsröntgen abgeschwächt. Beim Austritt werden sie von den Detektoren aufgefangen und digital in einzelnen Schnittbildern rekonstruiert. Die Schichtdicke für die Schnittbilder wird vom Untersucher festgelegt, kleinere Schichtdicken entsprechen dünneren Schnittbildern des Patienten und ergeben damit eine höhere Auflösung. Des Weiteren ist es möglich, aus dem CT-Datensatz ein 3-dimensionales Abbild des Patienten zu rekonstruieren. (Wenker, 2017)

Im Gegensatz zum Projektionsröntgen, bei dem es durch Überlagerungen hintereinanderliegender Strukturen nicht möglich ist, zu erkennen in welcher räumlichen Beziehung diese zueinander stehen, kann beim CT anhand der Schnittbilder genau entschieden werden, an welcher Position innerhalb des Schnittbildes sich welche Struktur befindet (Dössel, 2016, p. 131).

Die effektive Dosis eines Schädel-CTs beläuft sich auf ca. 1000 - 3000 μSv (Bundesamt für Strahlenschutz, 2018).

Die DVT-Aufnahme

Das DVT ((dentale) digitale Volumetomografie, auch CBCT (engl.): cone beam computed tomography) erzeugt wie das CT ein 3-dimensionales Abbild des Patienten, welches in Schichten ausgewertet wird. Im Gegensatz zur CT-Aufnahme wird bei der DVT-Aufnahme ein kegelförmiges Röntgenstrahlenbündel verwendet. Dadurch kann der 3-dimensionale Datensatz mit einer einzigen Umdrehung um den unbewegten Patienten gewonnen werden (Kumar et al., 2015). Das „Field of View“ (FOV) gibt hierbei Auskunft über die Größe des Untersuchungsbereichs (Strahlenschutzkommission, 2015).

Die effektive Dosis beträgt zwischen 84 μSv (kleines FOV) und 212 μSv (großes FOV) (Ludlow et al., 2015).

2.2. Das Projekt „Kephalos“

Das Projekt „Kephalos“ (Kephalos (Κέφαλος): griechisch für Kopf) - „Strahlungsarme 3D Rekonstruktion des Gesichtsschädels auf Basis multimodaler Eingabedaten“ ist ein BMBF-gefördertes Projekt (eine Kooperation zwischen der Hochschule RheinMain und der Universitätsmedizin Mainz) mit dem Ziel, die Strahlenbelastung durch 3-dimensionale Röntgenaufnahmen zu reduzieren. Es soll eine neue, strahlungsarme Technik entwickelt werden, die die äußere Schädeloberfläche aus einer 2-dimensionalen Röntgenaufnahme (FRS-Aufnahme), einem Oberflächenscan des Gesichts und einem statistischen Modell des Weichgewebes des Gesichts rekonstruieren kann. Der Oberflächenscan bildet dabei die Ausgangssituation durch die Abbildung der Gesichtsoberfläche. Mithilfe des statistischen Modells der durchschnittlichen Weichgewebedicke des Gesichts lässt sich die Schädeloberfläche berechnen. Die FRS-Aufnahme liefert die maßstabsgetreuen Verhältnisse zwischen Knochen und Weichgewebe in der Medianebene sowie erste Anhaltspunkte über die Weichgewebedicke des Patienten. Mit dieser Technik könnten 3-dimensionale Röntgenaufnahmen, die zur Beurteilung der äußeren Schädeloberfläche angefertigt werden, ersetzt werden.

Ein möglicher Anwendungsbereich dieser Aufnahmen in der (Zahn-) Medizin ist die Kieferorthopädie und die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Für die Behandlungen

von Dysgnathien, besonders im Bereich der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie (Dysgnathieoperationen) (Kapila and Nervina, 2015), werden immer häufiger entsprechende 3-dimensionale Aufnahmen mittels DVT angefertigt (Ludlow and Ivanovic, 2008; De Riu et al., 2014). Diese Röntgenaufnahmen durch eine 3-dimensionale Rekonstruktion zu ersetzen, wäre ein Beispiel für den möglichen medizinischen Anwendungsbereich der neuen Technik.

Dysgnathien (dys (δύς): griechisch für miss-, fehl- und gnáthos (Γνάθος): griechisch für Kiefer) sind Kieferfehlstellungen. Sie umfassen häufig eine Kombination aus dentalen, alveolären und skelettalen Fehlstellungen (Howaldt and Schmelzeisen, 2015, p. 252 ff.). Die skelettalen Fehlpositionen können in jeder Ebene (sagittal, transversal und vertikal) ausgeprägt sein, es können Volumenveränderungen des Knochens ebenso wie Asymmetrien auftreten.

Zur Beurteilung der sagittalen Lagebeziehung der Kiefer zueinander wird die skelettale Klasse des Patienten durch eine kephalometrische Analyse einer Fernröntgenseitenaufnahme bestimmt. Die skelettale Klasse gibt hierbei an, ob Ober- und Unterkiefer in physiologischer Position (Klasse I) zueinander stehen, ob eine Ventralverlagerung des Oberkiefers oder eine Dorsalverlagerung des Unterkiefers im Bezug zur Schädelbasis besteht (Klasse II) oder ob eine Dorsalverlagerung des Oberkiefers oder eine Ventralverlagerung des Unterkiefers im Bezug zur Schädelbasis vorliegt (Klasse III) (Kahl-Nieke, 2010, p. 150 f.).

Je nach Ausprägung werden die Fehllagen der Kiefer operativ therapiert.

Für die Operationsplanung muss die von der Norm abweichende Lagebeziehung der Kiefer genau vermessen werden. Der informative Mehrwert einer 3-dimensionalen Messung im Gegensatz zur Analyse von 2-dimensionalen FRS-Aufnahmen ist bisher nicht belegt (European Commission and Directorate-General for Energy, 2012, p. 41). Die 3-dimensionale Aufnahme bietet allerdings Vorteile in der Operationsplanung und kann die Durchführung unterstützen (Aboul-Hosn Centenero and Hernández-Alfaro, 2012; Zinser et al., 2012). Außerdem kann sie zur Vorhersage des Operationsergebnisses genutzt werden (De Riu et al., 2014).

Das Ziel des „Kephalos“-Projekt ist es nun, eine 3-dimensionale Rekonstruktion der Schädeloberfläche mit einer möglichst geringen Strahlenbelastung zu ermöglichen. Die effektive Strahlendosis von ca. 84 - 212 μSv (eine DVT-Aufnahme) könnte so auf ca. 5 - 6 μSv (eine FRS-Aufnahme, (Ludlow et al., 2008)) verringert werden, während die Vorteile der 3-dimensionalen Aufnahme weiterhin bestehen bleiben.

Zur Erstellung des statistischen Modells werden CT-Datensätze benötigt, aus denen die durchschnittlichen Weichgewebedicken im Gesicht ermittelt werden können. Dysgnathieoperationen finden in der Regel nach Abschluss des skelettalen Wachstums statt, damit Wachstumsschübe das Operationsergebnis nicht nachträglich beeinflussen (Howaldt and Schmelzeisen, 2015, p. 270). Der Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses liegt bei ca. 16 Jahren für weibliche Patienten und ca. 18 Jahren für männlichen Patienten. Besonders im Erwachsenenalter, wo eine rein konservative (kieferorthopädische) Behandlung einer ausgeprägten Dysgnathie durch Abschluss des skelettalen Wachstums nicht mehr möglich ist, werden Dysgnathien kieferorthopädisch-kieferchirurgisch operativ therapiert (Kahl-Nieke, 2010, p. 258). Das statistische Modell setzt sich daher aus CT-Datensätzen von jungen, erwachsenen Patienten im Alter zwischen 18 und 35 Jahren zusammen.

2.3. Messung der Weichgewebedicke des Gesichts

Bei der Weichgewebedickenmessung des Gesichts wird die Stärke der Gewebeschichten ermittelt, die der frontalen und zum Teil seitlichen Schädeloberfläche aufliegen. Das Gesicht setzt sich aus mehreren Schichten verschiedenster Weichgewebe zusammen, die je nach Lokalisation unterschiedlich angeordnet sind und den knöchernen Schädel bedecken. Im Folgenden soll dies näher beschrieben werden.

2.3.1. Der Schädel

Der Schädel ist das knöcherne Gerüst des Kopfes. Er setzt sich aus 17 Knochen zusammen und lässt sich anatomisch in den Hirnschädel (Neurokranium) und den Gesichtsschädel (Viscerocranium) unterteilen. Der Gesichtsschädel bildet nur für einen Teil des Gesichts die Grundlage, die Margo supraorbitalis und der Stirnbereich gehört beispielsweise anatomisch betrachtet zum Neurocranium. Die zum Gesicht zählenden knöchernen Strukturen sind das Os frontale, das Os nasale, das Os zygomaticum, die Maxilla und die Mandibula. Zusätzlich kann man noch den Arcus zygomaticus des Os temporale einschließen (Aumüller and Wolff, 2010, p. 852 f.). Die grundsätzliche Form der Schädelknochen ist immer gleich, jedoch gibt es individuelle Unterschiede in Größe und Ausprägung bestimmter Anteile bei jedem Menschen. Dadurch ist jeder Schädel einzigartig und bildet die Basis für ein spezifisches Gesicht.

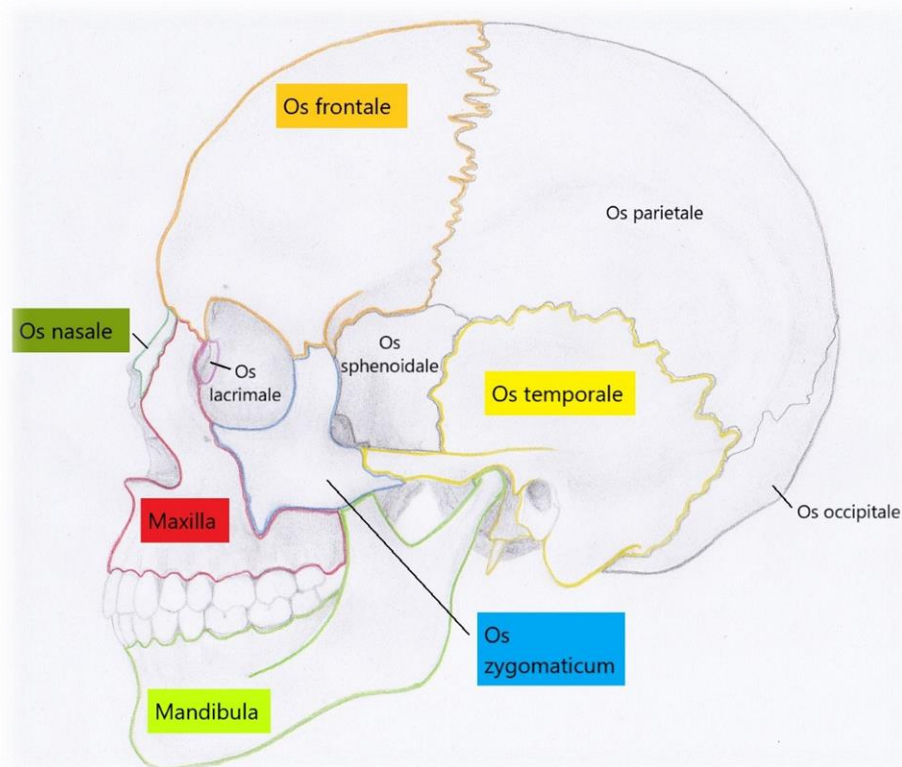


Abbildung 1: Knochen des menschlichen Schädels, sagittal
(gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.2))

2.3.2. Das Weichgewebe des Gesichts

Das Weichgewebe des Gesichts umfasst alle dem Schädel aufliegenden Gewebeanteile. Dazu zählen die Haut, das Muskel-, Fett- und Bindegewebe sowie das Drüsengewebe. Grundsätzlich lässt es sich in fünf Schichten unterteilen: 1. die Haut, 2. die Subcutis, 3. das superfizielle muskuloaponeurotische System, 4. „Freiräume“ und das tiefe Fettgewebe, 5. das Periost oder die tiefe Faszie (Cotofana and Lachman, 2019). Die Anzahl, Anordnung und Schichtdicke variiert je nach Region.

Die Haut (lat. Cutis) lässt sich unterteilen in die Epidermis (die Oberhaut) und die Dermis (die Lederhaut). Die Epidermis bildet die äußerste Schutzbarriere des Gesichts und besteht aus verhorntem Plattenepithel. Die Dermis befindet sich unterhalb der Epidermis und besteht neben Blutgefäßen und Nervenzellen aus faserreichem Bindegewebe (Aumüller and Wolff, 2010, p. 1164 ff.).

Die sich anschließende Subcutis (die Unterhaut) ist das „Polster“ des Körpers. Das hier vorkommende Fettgewebe dient als Energiereservoir und schützt vor Kälte und

mechanischen Einflüssen (Aumüller and Wolff, 2010, p. 1171). Zusätzlich findet sich hier noch fibröses Bindegewebe (Retinacula cutis), welches die Dermis mit der mimischen Muskulatur verbindet. Die Dicke der Subcutis variiert sehr stark, so ist sie sehr dünn im Bereich des Augenlids und besonders ausgeprägt in der nasolabialen Region (Mendelson and Wong, 2013).

Die Muskulatur des Gesichts lässt sich in die mimische Muskulatur und die Kaumuskulatur unterteilen. Die Muskelfasern der mimischen Muskulatur sind in der 3. Schicht der Haut zu finden und sorgen für den Gesichtsausdruck. In bestimmten Bereichen ziehen sie durch die unterhalb liegende Schicht und inserieren in den Knochen. Die Kaumuskeln, die sich innerhalb des Gesichts befinden und unter bzw. umgeben von der tiefen Faszie (Schicht 5) liegen, sind hauptsächlich der Musculus masseter und zu geringen Anteilen der Musculus temporalis. Der Musculus masseter zieht auf beiden Seiten des Gesichts vom Arcus zygomaticus zum Unterkieferrand (Tuberositas masseterica) und liegt dem Ramus mandibularis zu Teilen auf. Der Musculus temporalis entspringt beidseits der Squama ossis temporalis des Os parietale (Linea temporalis), durchquert die Schläfengrube und setzt am Processus coronoideus des Unterkiefers an. Die Funktion beider Muskeln ist der Kieferschluss (Aumüller and Wolff, 2010, pp. 870 ff., 936 ff.; Mendelson and Wong, 2013).

Das tiefe Fettgewebe und die „Freiräume“ ermöglichen die Verschiebung der ersten drei Schichten gegen die tiefe Körperfaszie. Dadurch können Bewegungen der Muskulatur wie z.B. Kaubewegungen durchgeführt werden (Mendelson and Wong, 2013).

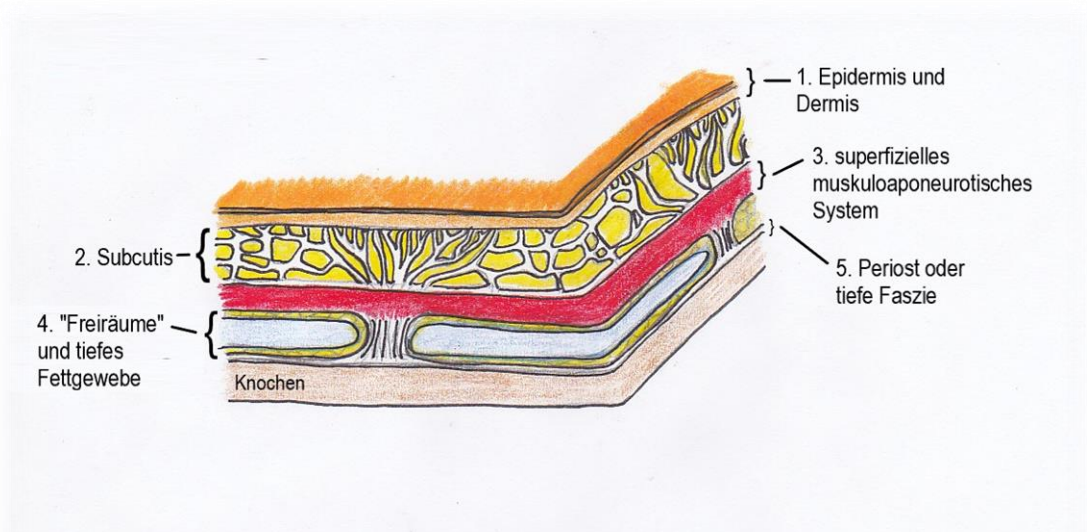


Abbildung 2: Schichten der Haut
(gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Mendelson und Wong, 2013)

2.3.3. Anthropometrie

Unter Anthropometrie (Anthropos (άνθρωπος): griechisch für Mensch; -metrie: griechisch von μέτρον (*métron*) = Maß) versteht man das Vermessen und Untersuchen verschiedenster Maße des menschlichen Körpers (Martin, 1914, p. 1). Die sogenannte Kephalometrie (Kephalos (Κέφαλος): griechisch für Kopf) bezieht sich auf die Vermessung des Kopfes und lässt sich in die Kapulometrie und die Craniometrie unterteilen. Die Kapulometrie beschäftigt sich mit der Analyse des Weichgewebes, die Craniometrie hingegen mit dem Hartgewebe (Caple and Stephan, 2016). Das Augenmerk dieser Arbeit liegt auf der Vermessung und Analyse der Weichgewebedicke des Kopfes, genauer des Gesichts, sodass sich die folgenden Abschnitte ausschließlich hierauf beziehen.

2.3.4. Verwendung der Weichgewebedickenwerte

Das wichtigste Einsatzgebiet für Weichgewebedickenwerte ist die Rekonstruktion von Gesichtern. Im Bereich der Forensik werden sie zur Identifikation von unbekanntem Schädelfunden genutzt, wenn andere Möglichkeiten, wie z.B. DNA-Analysen erschöpft sind (Buzug, 2007; Kreutz and Verhoff, 2007; Püschel et al., 2011). Auch zur Aufbereitung archäologischer Funde (d'Hollosy, 2007) oder zur Herstellung von Totenmasken (His, 1895) ist das Wissen um durchschnittliche Weichgewebedicken von Vorteil. Weitere Anwendungsgebiete sind Gesichts-rekonstruktive Eingriffe in der Medizin, hier können beispielsweise die Werte der gesunden Seite auf die behandlungsbedürftige Seite übertragen werden (Schramm et al., 2007).

Es gibt unterschiedliche Techniken zur Gesichtsrekonstruktion in der Forensik und Anthropologie. In der Regel wird zuerst der vorhandene Schädel zur weiteren Verarbeitung kopiert und bildet damit die Arbeitsgrundlage. Die traditionelle manuelle Methode zur Rekonstruktion ist gewissermaßen die Umkehrung der klassischen Weichgewebedickenmessung. An bestimmten Positionen im Gesicht, an denen die Weichgewebedicke bekannt ist, werden Abstandshalter in Höhe der Weichgewebedicke angebracht. Anschließend wird der Bereich zwischen den Abstandshaltern unter Beachtung der anatomischen Gegebenheiten eines gesunden Gesichts aufgefüllt. Computergestützte Rekonstruktionsverfahren arbeiten annähernd nach demselben Prinzip, allerdings erfolgt der Prozess der Abstandshalterplatzierung automatisch und die Bearbeitung digital (Kreutz and Verhoff, 2007).

Bei der forensischen Gesichtsrekonstruktion muss beachtet werden, dass es sich eher um eine Annäherung als wirkliche Rekonstruktion eines Gesichts handelt (Kreutz and Verhoff, 2007). Dies lässt sich dadurch begründen, dass meist keine zusätzlichen Informationen zu den Schädeln bekannt sind. Je nach Vollständigkeit des gefundenen Skeletts lassen sich Geschlecht und Alter noch einigermaßen sicher aus den Knochen bestimmen (Rösing et al., 2005). Relativ zuverlässige Hinweise bezüglich des Körpergewichts, Haar-, Augen- oder Hautfarbe lassen sich wenn überhaupt aus zusätzlichen Funden wie der Kleidung oder weiteren Überresten wie beispielsweise einzelnen Haaren gewinnen (Kreutz and Verhoff, 2007).

2.3.5. Landmarks

Zur Bestimmung der Weichgewebedicke des Gesichts werden Messungen an unterschiedlichen Messpositionen durchgeführt. Innerhalb der Literatur werden diese Messpunkte auch als sogenannte „Landmarks“ bezeichnet. Die Worte „Landmark“, „Messposition“, „Messstelle“ und „Messpunkt“ werden innerhalb der vorliegenden Arbeit synonym verwendet.

Beschreibungen zu Landmarks finden sich sowohl für das Weichgewebe („capulometric landmarks“), als auch für das Hartgewebe („craniometric landmarks“) (Cagle and Stephan, 2016). Dabei sollte es sich um möglichst gut reproduzierbare Punkte auf dem Schädel („craniometric landmarks“) und/oder Weichgewebe („capulometric landmarks“) des Gesichts handeln. Zum einen wird die Genauigkeit der Messwerte dadurch erhöht, zum anderen der Vergleich mit anderen Studien ermöglicht (Cagle and Stephan, 2016). Auch kombinierte Beschreibungen, die sich sowohl auf das Hart- als auch auf das Weichgewebe beziehen, sind möglich.

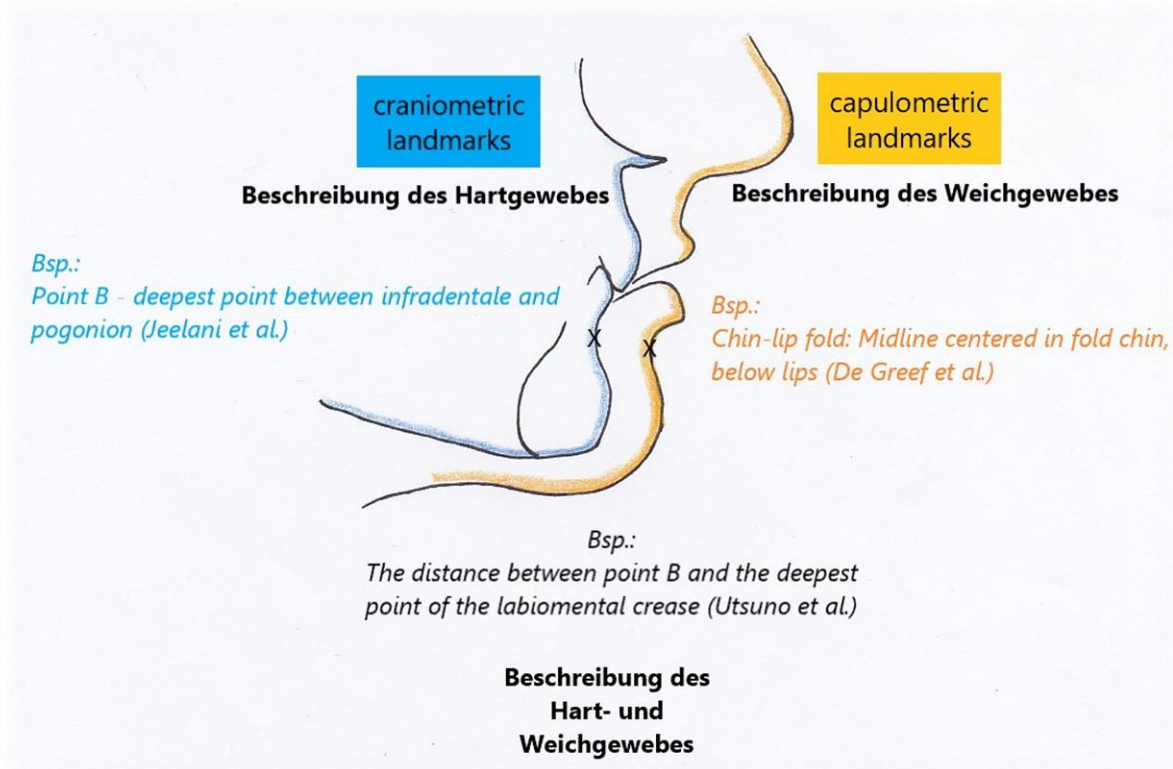


Abbildung 3: Beispiel für die Beschreibungen der Landmarks in der Literatur (gezeichnet durch die Autorin; Vorlage: Michelow und Guyuron, 1995)

Die Beschreibung, Benennung und Positionierung der Landmarks variiert innerhalb der Literatur stark. Neben Bellmann et al. (2007), die eine unterschiedliche Namensgebung gleich definierter Messpunkte in unterschiedlichen Studien entdeckten, stellten Caple und Stephan (2016) eine Vielzahl an Schwierigkeiten bei dem Vergleich der Landmarks bzw. dem Zusammenführen verschiedener Literatur fest. Unter anderem bemängeln sie in einigen Publikationen die fehlerhafte Zuordnung genau definierter Landmarks zu angrenzenden Messstellen, die unübliche Benennung genau definierter Landmarks, sowie die Verwendung gleicher Namen für nicht übereinstimmende Hart- und Weichgewebepartner bzw. die unterschiedliche Benennung von dem Hartgewebepunkt und seinem Weichgewebeäquivalent (Caple and Stephan, 2016).

Die genaue Kenntnis der Lage der Messpositionen in bereits bestehender Literatur ist besonders für die Zusammenfassung von Weichgewebedicken verschiedener Studien essentiell. Die entsprechende Aufbereitung der Literatur bildete also die Grundlage für die Analyse der Literaturdaten zur Weichgewebedicke und war für den Vergleich mit

den Weichgewebedicken der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz notwendig. Daher ist sie ebenfalls Teil dieser Arbeit.

2.3.6. Methoden der Weichgewebedickenmessung

Nadelmethode

Die Nadelmethode in ihren Variationen ist die ursprüngliche Messmethode (Grüner, 1959) und wird zur Ermittlung der Weichgewebedicken an Leichen verwendet. Eine Nadel oder ein nadelähnliches Instrument wird an dem gewählten Messpunkt von oben durch die Weichgewebeschichten bis auf die Knochenoberfläche vorgeschoben. Der Austrittspunkt wird markiert, anschließend wird das Messinstrument herausgezogen und die Länge von der Nadelspitze bis zu Markierung gemessen. Zur Markierung wurden Stopper bis auf die Höhe des Weichgewebes auf der Nadel vorgeschoben (His, 1895; Robetti et al., 1982; Sutton, 1969; Simpson and Henneberg, 2002; Suazo Galdames et al., 2008; Tedeschi-Oliveira et al., 2009; de Almeida et al., 2013), die Nadel mit einer Zange auf Höhe der Weichgewebedicke ergriffen (Codinha, 2009) oder der nach Insertion saubere Bereich einer rußgeschwärzten Nadel betrachtet (Domaracki and Stephan, 2006). Teilweise wird Öl zur Erleichterung des Einstichs verwendet (Domaracki and Stephan, 2006). Bei der Insertion der Nadel kann versucht werden den Einstich in eine bestimmte Richtung, beispielsweise im rechten Winkel zu Hautoberfläche, durchzuführen.

Fernröntgenseitenaufnahmen (2-dimensional)

Bei Verwendung von FRS-Aufnahmen können die Weichgewebedicken nur in der Medianebene analysiert werden. Auf den zur Verfügung stehenden Röntgenbildern der Patienten werden die Landmarks entweder analog (direkt auf dem Röntgenbild oder auf einer nachgezeichneten Kopie) (Sarnäs and Solow, 1980; Smith and Throckmorton, 2006; Utsuno et al., 2010; Negi et al., 2012) oder digital (Gungor et al., 2015; Kasai, 1998; Kurkcuoglu et al., 2011) markiert. Anschließend kann die Weichgewebedicke entsprechend der Methodik der Studie als der Abstand zwischen den Punkten (Sarnäs and Solow, 1980; Kasai, 1998), im rechten Winkel ausgehend vom knöchernen Messpunkt (Gungor et al., 2015) oder unterschiedlich je nach Messposition (Aulsebrook et al., 1996; Utsuno et al., 2010; Jeelani et al., 2015) ermittelt werden. Bei der Analyse von absoluten Werten im Fernröntgenseitenbild muss der vergleichsweise geringe Vergrößerungsfaktor von bis zu 10 % (Nötzel et al.,

2007, p. 22) entsprechend berücksichtigt werden (Smith and Throckmorton, 2006; Kurkcuoglu et al., 2011; Gungor et al., 2015; Jeelani et al., 2015). Zur genauen Lokalisation der Mittellinie des Patienten auf dem Röntgenbild und zur Vermeidung von Fehlinterpretationen bei Überlagerung von prominenten lateralen Gesichtsbereichen (z.B. der Augenbrauenwulst), kann vor der Röntgenaufnahme eine dünne Schicht Bariumsulfatpaste auf die Medianebene des Patienten aufgetragen werden (Aulsebrook et al., 1996).

Die Auswertung einer Xeroradiografieaufnahme stimmt mit der Auswertung der 2-dimensionalen Fernröntgenseitenaufnahme überein (Michelow and Guyuron, 1995).

CT-Aufnahme

CT-Aufnahmen werden digital analysiert. Die Messung kann Anhand eines Schnittbildes analog zur Vermessung an FRS-Bildern erfolgen (Cavanagh and Steyn, 2011). Alternativ kann der CT-Datensatz 3-dimensional digital dargestellt und analysiert werden (Bellmann et al., 2007; Shimofusa et al., 2009; Panenková et al., 2012; Dong et al., 2012; Guyomarc'h et al., 2013). Die Weichgewebedicke wird nach Markierung der Messpunkte als Abstand zwischen zwei markierten Punkten, rechtwinklig zur Markierung ausgehend vom Knochen (Phillips and Smuts, 1996; Bellmann et al., 2007; Cavanagh and Steyn, 2011; Panenková et al., 2012; Dong et al., 2012), als kürzester Abstand zwischen Knochenpunkt und Haut (Lodha et al., 2016) oder variabel je nach Messposition (Guyomarc'h et al., 2013) gemessen.

DVT-Aufnahme

Die DVT-Aufnahme ermöglicht wie der CT-Datensatz die digitale Messung an einem 2-dimensionalen Einzelbild (Perlaza Ruiz, 2013) oder die Generierung eines 3-dimensionalen Abbildes mit separater Betrachtungsmöglichkeit von Weich- und Hartgewebe in allen Raumrichtungen (Hwang et al., 2012). Die Landmarks können ebenfalls wahlweise auf dem Knochen oder Weichgewebe platziert werden (Hwang et al., 2012). Die Messung der Distanz folgt den bereits beschriebenen Methoden (siehe dazu *FRS-Aufnahme* bzw. *CT-Aufnahme*).

MRT-Aufnahme

MRT-Aufnahmen werden ebenfalls digital analysiert. Auch hier können verschiedene 2-dimensionale Ebenen selektiv analysiert werden (Niinimäki and Karttunen, 2007;

Sahni et al., 2008; Chen et al., 2011; Sipahioğlu et al., 2012). 3-dimensionale Rekonstruktionen zur Ermittlung der Weichgewebedicke lagen dieser Arbeit nicht vor.

Sonografie

Die Sonografie ermöglicht die Weichgewebedickenmessung am ausgewählten Messpunkt mit Hilfe von Ultraschallwellen. Die Ultraschallsonde wird meistens unter Verwendung eines Gels auf die Haut platziert. Es gibt zwei mögliche Modi mit denen die Aufnahme erfolgen kann, den A-Modus (Aulsebrook et al., 1996; De Greef et al., 2006) oder den B-Modus (Manhein et al., 2000; Smith and Throckmorton, 2006; Chan et al., 2011; Peckmann et al., 2015; Baillie et al., 2016). Bei Verwendung des A-Modus entstehen eine Reihe von „wave peaks“ (Baillie et al., 2016), über deren Abstand sich die Weichgewebedicke erschließen lässt (Aulsebrook et al., 1996). Im B-Modus kann anhand eines (Ultraschall-) Bildes zwischen Knochen und Weichgewebe unterschieden werden, Messpunkte markiert und so die Weichgewebedicke als sichtbare Distanz gemessen werden (Baillie et al., 2016). Um möglichst wenig Kompression des Weichgewebes durch die Ultraschallsonde zu verursachen, kann der Kopf unter Wasser untersucht werden (Smith and Throckmorton, 2006) oder das Gel für möglichst hohe Viskosität gekühlt werden (Baillie et al., 2016). Auch hier wird versucht eine Messrichtung einzuhalten, wie z.B. möglichst rechtwinklig zum Knochen (De Greef et al., 2006) oder auch verschieden je nach untersuchter Landmark (Aulsebrook et al., 1996; Baillie et al., 2016).

2.3.7. Mögliche Einflussfaktoren auf die Weichgewebedicke

Das Gesicht eines Menschen ist sehr individuell und gibt viele Informationen über eine Person preis, wie beispielsweise das Geschlecht, das ungefähre Alter, zu gewissen Teilen den Gesundheitszustand, und einiges mehr (Jack and Schyns, 2015). Die Klärung der Frage, ob diese Diversität sich auch in der Weichgewebedicke widerspiegelt und z.B. bei der Rekonstruktion von Gesichtern in der Forensik beachtet werden muss, ist das Ziel vieler Forschungsarbeiten zur Weichgewebedicke des Gesichts. Im Folgenden wird kurz auf die am häufigsten untersuchten Einflussfaktoren eingegangen.

Einer der offensichtlichsten Einflüsse ist der Ernährungszustand einer Person. Ein linearer Zusammenhang zwischen der subjektiv empfundenen Steigerung der Gesichtsfülle und einem zunehmenden BMI ist wissenschaftlich belegt (Coetzee et al.,

2009). Der BMI (Body Mass Index) gilt als ein Maß für den Ernährungszustand einer Person (World Health Organization, 2020). Da das Weichgewebe des Gesichts viele verschiedene Fettkompartimente enthält (Rohrich and Pessa, 2007; Cotofana and Lachman, 2019), ist ein Zusammenhang zwischen dem steigenden Körpergewicht und einem Zuwachs der Weichgewebedicke durchaus denkbar. Die Fettkompartimente kommen im Gesicht in nahezu allen Bereichen vor und werden häufig von Muskeln, Faszien oder Bändern begrenzt. Ausnahmen bilden z.B. der mediale Infraorbitalbereich, die Lippen oder auch der Nasenrücken (Cotofana and Lachman, 2019).

Auch die visuelle Unterscheidung zwischen männlichen und weiblichen Gesichtern ist mit bis zu 96%iger Genauigkeit möglich (Burton et al., 1993; Cellerino et al., 2004). Hieraus ergibt sich die Überlegung, ob die Weichgewebedicke des Gesichts von dem Geschlecht beeinflusst wird.

Dass das Alter einen Einfluss auf das Erscheinungsbild des Gesichts hat, ist nicht zuletzt durch die große Anzahl an gesichtsverjüngenden, kosmetischen Eingriffen belegt (Mendelson and Wong, 2013). Es besteht daher die Vermutung, dass sich auch die Weichgewebedicke mit steigenden Lebensjahren verändert. Neben Veränderungen des Weichgewebes kommt es ebenfalls zu Umbauvorgängen am Schädelknochen. Dies bezieht zum Beispiel Resorptionsvorgänge im Bereich der Orbita, der Maxilla und der Mandibula ein. Während die Haut im Alter dünner und unelastischer wird und sich Falten bilden, treten in der Subcutis die einzelnen Fettkompartimente durch selektiven Verlust oder Zuwachs an Fettgewebe sowie geschwächtes Bindegewebe deutlicher hervor. Es kann zur Atrophie der mimischen Muskulatur im Bereich des Musculus orbicularis oris der Oberlippe kommen (Mendelson and Wong, 2013). Die Schwächung von Bindegewebefasern führt im Alter zum Erschlaffen des lateralen Bereichs der Augenbraue sowie zur Verlagerung von Fettkompartimenten, deren Resultat z.B. die alterstypischen „Hängewangen“ und die Verstärkung der labiomentalen Falte (Mendelson and Wong, 2013) sind.

Stirbt eine Person, so folgen eine Vielzahl an körperlichen Veränderungen. Ein häufig genannter Faktor im Zusammenhang mit der Weichgewebedickenmessung ist die Dehydratation der Subcutis und damit verbunden der Substanzverlust der Haut nach dem Tod (Todd and Lindala, 1928; Phillips and Smuts, 1996). Im Gesicht trägt der Verlust an Flüssigkeit besonders häufig auch zur Austrocknung der Lippen bei (Dettmeyer et al., 2019, p. 19 f.). Dies könnte die an Leichen ermittelten Weichgewebedickenwerte beeinflussen.

Eine der ursprünglichsten, untersuchten Einflussfaktoren ist die Ethnie. Die Ethnie (Éthnos (ἔθνος): altgriechisch für Menschengruppe, Stamm, Volk) beschreibt die „kollektive Identität“ einer Gruppe und die Differenz zwischen verschiedenen Gruppen, wobei nicht einheitlich geklärt ist, worin genau diese Unterschiede bestehen (Sökefeld, 2007). Unterteilungen können beispielsweise anhand physischer Merkmale, der regionalen Herkunft oder der jeweiligen Kultur stattfinden, wenngleich sich diese Merkmale überschneiden können (Sökefeld, 2007). Innerhalb der Analyse von Weichgewebedicken erfolgt häufig eine rein geografische Einteilung (Hwang et al., 2012; Gungor et al., 2015), eine phänotypische Unterteilung (z.B. nach Hautfarbe (Cavanagh and Steyn, 2011; Manhein et al., 2000), oder auch der Versuch selektiv eine genetisch einheitliche Population zu untersuchen (Aulsebrook et al., 1996). Die Einschränkung auf die Untersuchung von „Kaukasern“ wird des Öfteren durchgeführt (Freedman, 1984; Michelow and Guyuron, 1995; De Greef et al., 2006; Bellmann et al., 2007). Es soll dadurch geklärt werden, ob sich der optische Unterschied zwischen Personen unterschiedlicher Herkunft in der Weichgewebedicke widerspiegelt.

Des Weiteren wird in der Literatur die Frage untersucht, ob sich neben der Position des Weichgewebes des äußeren Profils eines Dysgnathiepatienten durch die operative Therapie auch die Dicke durch beispielsweise eine erhöhte Spannung ändert (Csaszar and Brüker-Csaszar, 2000).

Weitere Möglichkeiten für individuelle Weichgewebedickenunterschiede können auch in dem Einfluss verschiedener Erkrankungen, wie beispielsweise der Akromegalie, dem Cushing Syndrom, einer Nephritis, der Leberzirrhose, (Tischendorf and Beck, 2008, pp. 228, 232, 444 f.), der Einnahme von Medikamenten wie bestimmte ACE-Hemmer und Diuretika (Schindler and Schellong, 2009), ausgelöst durch eine Allergie (Tischendorf and Beck, 2008, p. 94) oder auch hormonell bedingt in der Schwangerschaft (Stauber et al., 2005, p. 475)) liegen. Studien zur Auswirkung dieser Aspekte auf die Weichgewebedicke waren nicht auffindbar.

3. MATERIAL UND METHODEN

Ziel dieser Arbeit war es, die für das „Kephalos“-Projekt erforderlichen CT-Datensätze für das statistische Modell zu liefern, so Daten zu generieren und diese im Hinblick auf die spätere Verwendung der neuen Technik zu analysieren. Des Weiteren sollte die Literatur zusammengefasst, analysiert, beurteilt und mit den CT-Datensätzen für weitere Information verglichen werden.

Zu diesem Zweck wurden die Weichgewebedicke des Gesichts aus den CT-Datensätze junger, erwachsener Patienten der Universitätsmedizin Mainz getrennt nach Geschlecht an 22 Messstellen deskriptiv-statistisch ausgewertet. Zusätzlich erfolgte eine Metaanalyse anhand der Literatur an eben denselben 22 Landmarks, dargestellt in 22 Forest Plots. Abschließend wurden die mittleren Weichgewebedickenwerte beider Datenpakete miteinander verglichen.

3.1. CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz

3.1.1. Ethikantrag

Das positive Ethikvotum erfolgte durch die Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz am 05.08.2015 mit der Bearbeitungs-Nr. 837.244.15 für das Projekt „Kephalos: Strahlungsarme 3D Rekonstruktion des Gesichtsschädels auf Basis multimodaler Eingabedaten“ und stimmte der Verwendung von CT-Datensätzen der Universitätsmedizin Mainz in anonymisierter Form (einzig Registrierung von Alter und Geschlecht) zu.

3.1.2. Identifikation und Auswahl der CT-Datensätze

Für die Verwendung der CT-Datensätze innerhalb des Projekts „Kephalos“ mussten gewisse Anforderungen erfüllen werden. Zum einen musste die Qualität der Datensätze den informatischen Anforderungen für die Weiterverarbeitung entsprechen, zum anderen sollte ein medizinisch sinnvolles Probandenkollektiv gewählt werden. Schließlich wurden die Einschlusskriterien für geeignete CT-Datensätze wie folgt festgelegt:

1. Patientenalter zum Zeitpunkt der Aufnahme: 18 - 35 Jahre
2. Schichtdicke der CT-Aufnahme: $\leq 1\text{mm}$
3. Gesamte Abbildung des Gesichtsschädels, mindestens der Bereich von der Kinnunterseite bis einschließlich Margo supraorbitalis
4. Keine fehlenden Gesichtsstrukturen oder Deformationen des Weichgewebes des Gesichts oder des Schädelknochens

Zur Ermittlung der Weichgewebedicke des Gesichts wurden CT-Datensätze des PACS (picture archiving and communications system) der Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie der Universitätsmedizin Mainz von Oktober 2015 rückwirkend analysiert. Selektiv wurden hierzu die CT-Datensätze aus der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Neuroradiologie, Gefäßchirurgie (genauer CT-Aufnahmen der A. carotis) und Unfallchirurgie (Schockraum CT) im SAP freigeschaltet und anschließend alle vorhandenen CT-Datensätze analysiert. Insgesamt waren so ca. 1000 CT-Datensätze verfügbar. Nachdem diejenigen aussortiert wurden, die zum Zeitpunkt der Aufnahme jünger als 18 Jahre waren oder das 36. Lebensjahr bereits erreicht hatten, wurden die Datensätze, deren Schichtdicke 1mm überschritten und diejenigen, die nicht den gesamten Gesichtsschädel abbildeten, ausgeschlossen. Die übrigen CT-Datensätze wurden handgesichtet. Fielen Veränderungen der Weichgewebekontur des Gesichts oder des darunterliegenden Schädels auf, ergaben sich Hinweise auf Pathologien im Gesichtsbereich oder war nicht das gesamte Gebiet von Kinnunterseite bis einschließlich Margo supraorbitalis abgebildet, wurde derjenige Datensatz ebenfalls aus dieser Arbeit ausgeschlossen. Häufig führten Tumore, Traumata, Schwellungen, Knochenbrüche, oder auch aufnahmetechnisch bedingte Umstände, wie die Fixation des Kopfes z.B. bei Trauma-Patienten, sowie die Abbildung medizinischer Geräte zur Intubation oder nasogastralen Ernährung zu einer Veränderung von Hart- und Weichgewebe und folglich zum Ausschluss eben dieses Datensatzes.

Geschlecht und Alter der Patienten konnte bei dieser retrospektiven Analyse nachvollzogen werden. Weitere Angaben wie zum Beispiel der BMI des jeweiligen Patienten waren im Nachhinein aber nicht mehr verfügbar. Alle CT-Aufnahmen waren medizinisch indiziert, keine Aufnahme wurde eigens für diese Studie angefertigt.

3.1.3. Auswahl der Messpunkte für die CT-Datensätze

Die Weichgewebedicke sollte in möglichst großflächig verteilten Bereichen des Gesichts untersucht werden. Dies wurde im Rahmen des „Kephalos-Projekts“ als Voraussetzung festgelegt. Dadurch konnte die Variation der Weichgewebedicke und ihre Spannbreite beurteilt und die Identifikation hoch variabler Gebiete begünstigt werden. Letztendlich wurden 22 Landmarks ausgewählt, neun in der Medianebene, 13 bilateral (Abbildung 4, Abbildung 5 und Tabelle 1). Die Namensgebung der Landmarks erfolgte entsprechend der Literatur in englischer Sprache oder nach dem anatomischen Vorbild in lateinischer Sprache. Folgende Punkte wurden verwendet:

Tabelle 1: Übersicht und Definition der untersuchten Landmarks

Name (Nummer)	Definition ¹
<i>Glabella (5)</i>	Prominentester Punkt des Os frontale in der Medianebene
<i>Nasion (6)</i>	Punkt in der Medianebene am Schnittpunkt mit der Sutura nasofrontalis
<i>Rhinion (9)</i>	Punkt in der Medianebene am untersten Ende der Sutura internasalis
<i>Mid-Philtrum (14)</i>	Punkt in der Medianebene genau mittig zwischen dem <i>A-Punkt (12)</i> und <i>Prosthion (16)</i>
<i>Prosthion (16)</i>	Der am weitesten anterior-inferior gelegene Punkt der Maxilla (zwischen den zentralen Inzisivi auf dem Alveolarknochen) in der Medianebene
<i>Infradentale (23)</i>	Der am weitesten superior-anterior gelegene Punkt des Unterkieferalveolarfortsatzes (zwischen den zentralen Inzisivi gelegen) in der Medianebene
<i>Supramentale (25)</i>	B-Punkt: der am weitesten posterior gelegene Punkt des Unterkiefers in der Medianebene
<i>Pogonion (27)</i>	Der am weitesten anterior gelegene Punkt der Protuberantia mentalis in der Medianebene
<i>Menton (30)</i>	Der am weitesten inferior gelegenen Punkt der Symphysis mandibulae

<i>Mid-Supraorbitale</i> (49)	Schnittpunkt zwischen dem oberen Orbitarand und dem Zentrum der Orbita (Vertikalebene)
<i>Mid-Infraorbitale</i> (63)	Schnittpunkt zwischen dem unteren Rand der Orbita und dem Zentrum der Orbita (Vertikalebene)
<i>Zygion</i> (69)	Der lateralste Punkt des Arcus zygomaticus
<i>Lateral Orbit</i> (70)	Schnittpunkt zwischen dem lateralen Orbitarand (Vertikalebene) und der mittleren Höhe des Os zygomaticum (Horizontalebene) (kann ebenso auf mittlerer Höhe des Processus zygomaticus maxillae liegen)
<i>Inferior Malar</i> (81)	Schnittpunkt zwischen dem Zentrum der Orbita (Vertikalebene) und dem Übergang des Processus zygomaticus maxillae in die Maxilla (Horizontalebene)
<i>Supracanine</i> (82)	Punkt auf maximaler Prominenz der Juga alveolaris des Oberkiefercaninus
<i>Above Ectomolare²</i> (87)	Punkt mittig marginal auf dem Processus alveolaris des zweiten Oberkiefermolaren
<i>Occlusal Line</i> (89)	Punkt am anterior-lateralen Rand des Ramus mandibulae auf Höhe der Okklusionsebene (Horizontalebene)
<i>Mid-Ramus</i> (92)	Mittelpunkt der kürzesten antero-posterioren Distanz des Ramus mandibularis
<i>Below Ectomolare₂</i> (98)	Punkt mittig marginal auf dem Processus alveolaris des zweiten Unterkiefermolaren
<i>Gonion</i> (103)	Punkt am lateralen Rand des Kieferwinkels, der durch die Winkelhalbierende zwischen dem posterioren Rand des Ramus mandibulae und dem inferioren Rand des Corpus mandibulae markiert wird
<i>Mid-Mandibular Border</i> (107)	Punkt am inferioren Rand der Mandibula mittig zwischen (27) (Pogonion) und (103) (Gonion)

<i>Infracanine</i> ²	Punkt auf der maximalen Prominenz der Juga alveolaris des Unterkiefercaninus
---------------------------------	--

¹Literaturstellen: die Lage der Landmarks entspricht der Definition und Position von Caple und Stephan (2016) mit Ausnahme der Punkte „Lateral Orbit (70)“, „Inferior Malar (81)“, „Supracanine (82)“, „Occlusal Line (89)“ und „Infracanine (144)“, für deren Nomenklatur Caple und Stephan keine Empfehlung aussprachen.

²Literaturstellen: Definition innerhalb der Metaanalyse: Infracanine (144): Punkt auf Juga alveolaris des Unterkiefercaninus

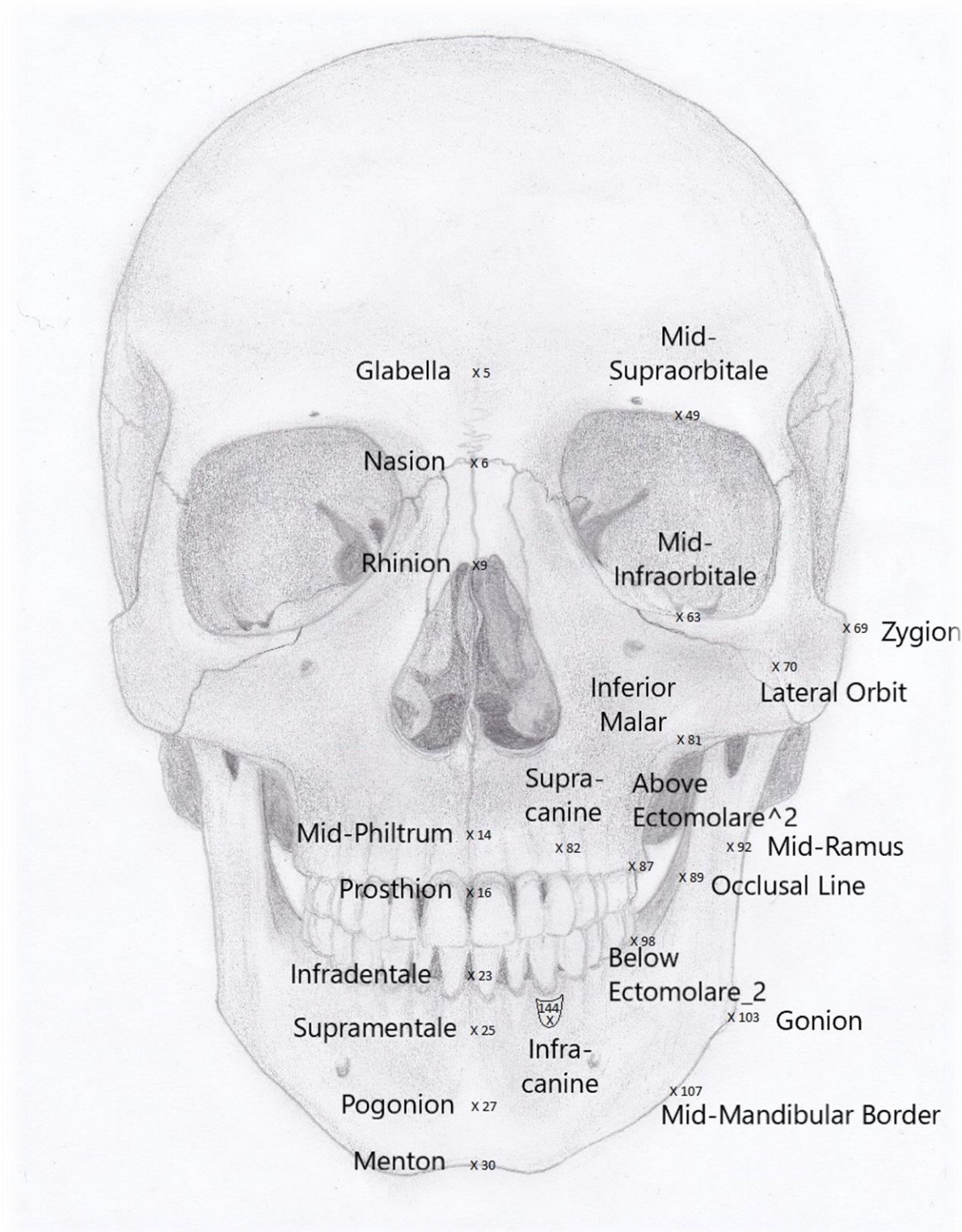


Abbildung 4: Landmarks der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz und der Metaanalyse, Frontalansicht
 (gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.4))

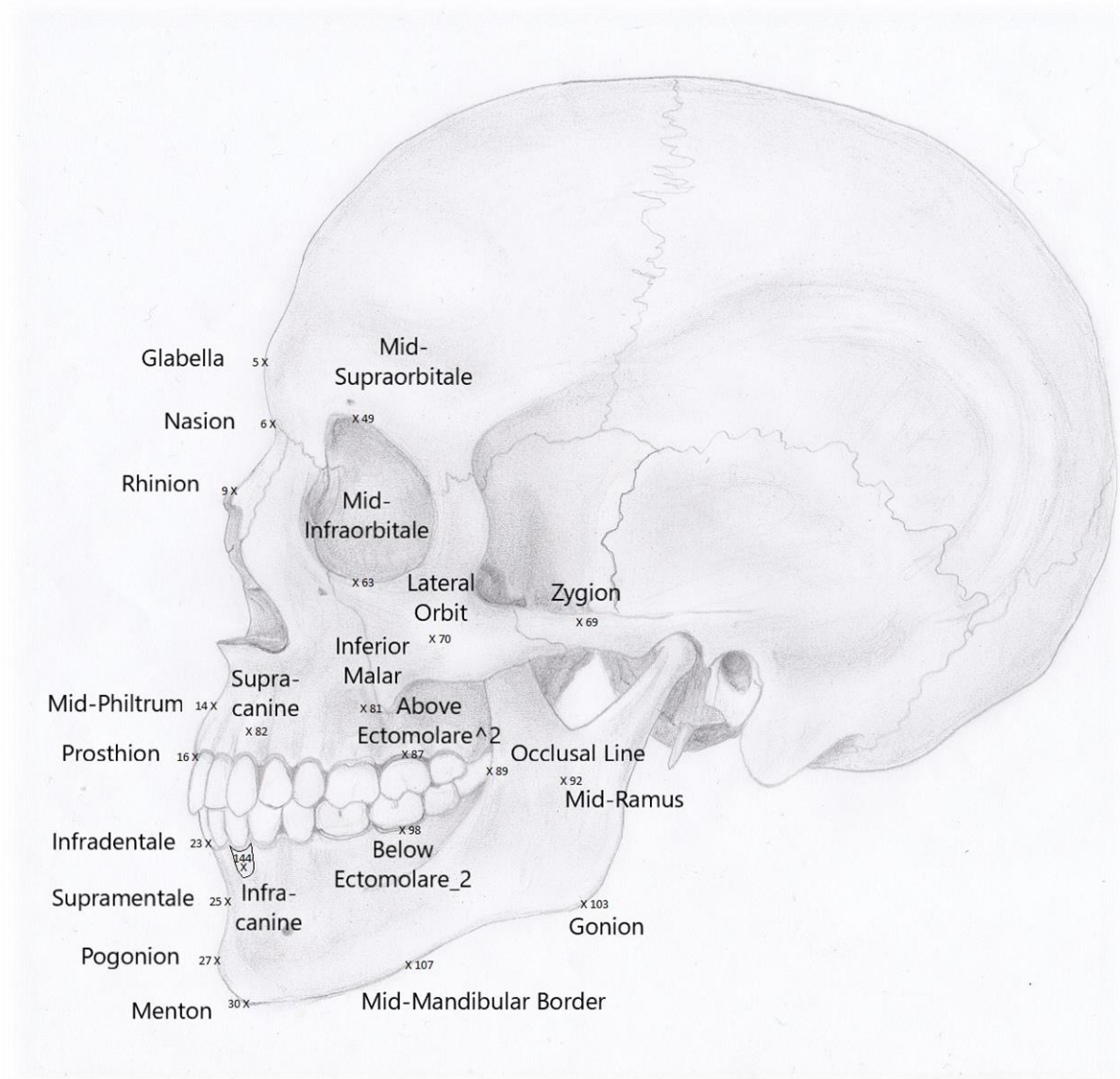


Abbildung 5: Landmarks der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz und der Metaanalyse, Seitenansicht (gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.2))

3.1.4. Analyse der CT-Datensätze

Die selektierten CT-Datensätze wurden anonymisiert, lediglich Alter und Geschlecht wurden erfasst, und als DICOM-Datensätze innerhalb des Projekts „Kephalos“ weiterverwendet.

Die Berechnung der Weichgewebedicke für jeden CT-Datensatz an je 22 Landmarks erfolgte automatisiert durch ein innerhalb des Forschungsprojekts „Kephalos“ implementiertes Programm (der Namen des Programms ist ebenfalls „Kephalos“, die Erstellung dieser Software war Teil des Arbeitspakets der Informatiker der Arbeitsgruppe des Projekts „Kephalos“). Hierbei wurden von jedem CT-Datensatz die Hautoberfläche und die Schädeloberfläche extrahiert und jeweils in ein eigenes polygonales Netz umgewandelt. Parallel wurde auf einem erworbenen, digitalen Schädelmodell (dem Schädel-Template) die Lage der 22 Landmarks durch 13 Mediziner manuell festgelegt. Die markierten Positionen jeder Messstelle wurde anschließend gemittelt und somit die endgültige Lage der Landmarks bestimmt. Nun erfolgte das Fitting des markierten Schädelmodells auf die selektierte Schädeloberfläche eines jeden CT-Datensatzes und die somit automatisierte Markierung aller Landmarks auf allen CT-Datensätzen. Diese Landmarks waren nun Ausgangspunkt der Weichgewebedickenmessung. Von hier aus wurde die kürzeste Distanz zum selektierten Hautoberflächennetz bestimmt, dies ergab dann die gesuchte Weichgewebedicke. Der exakte Vorgang ist von der Arbeitsgruppe „Kephalos“ bereits publiziert worden (Gietzen et al., 2019).

Die so ermittelten Weichgewebedickenwerte wurden dann für die weitere Analyse innerhalb dieser Arbeit verwendet.

Aus den Rohdaten wurden die Mittelwerte, Standardabweichungen, sowie die Minimal- und Maximalwerte der Weichgewebedicken an den 22 Messpunkten berechnet. Die statistische Analyse erfolgte mittels Statistik Software SPSS (Version 23.0) sowohl über alle Daten als auch getrennt nach Geschlecht. Die Ergebnisse wurden tabellarisch festgehalten.

Die CT-Datensätze wurden innerhalb des Projekt „Kephalos“ zur Erstellung des statistischen Modells für die Rekonstruktion des Schädels im Gesichtsbereich weiterverwendet (Gietzen et al., 2019).

3.1.5. Grafische Darstellung der CT-Datensätze

Mit den ermittelten statistischen Werten konnten jeweils Abbildungen für die weiblichen und die männlichen Probanden erstellt werden. Die Grundlage für die Zeichnung der Schädel (frontal und seitlich) bildete der Anatomieatlas Prometheus (Schünke et al., 2006, pp. 2 and 4). Die Mittelwerte wurden in die Abbildung neben die jeweiligen Messpunkte eingefügt. Die Standardabweichungen wurden in 5 Bereiche unterteilt ($< 1\text{mm}$, $\geq 1\text{mm}$ bis $< 2\text{mm}$, $\geq 2\text{mm}$ bis $< 3\text{mm}$, $\geq 3\text{mm}$ bis $< 4\text{mm}$, $\geq 4\text{mm}$) und aufsteigend von Blau zu Rot hinterlegen sie den jeweiligen Mittelwert.

3.2. Literatur

3.2.1. Literaturrecherche und Auswahl

Der zweite Teil dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Suche nach bereits vorhandenen, tabellarisierten Messwerten zur Weichgewebedicke des Gesichts und ihrer Analyse. Einziges Auswahlkriterium stellte das Alter da, es musste sich um Weichgewebedicken erwachsener Probanden (definiert als ≥ 18 Jahre) handeln. Es wurden alle auffindbaren, frei zugänglichen Studien in die Sammlung mit einbezogen, die bis Juli 2016 publiziert wurden. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass nur Studien mit Primärdaten in der Sammlung berücksichtigt werden konnten.

Die Literatursuche erfolgte mit Hilfe der medizinischen Datenbank „Pubmed“ und dem Online-Katalog der Universitätsbibliothek Mainz. Englisch- oder deutschsprachige Artikel und Publikationen mit dem Suchbegriff „Gesichtsdicke“, „Weichgewebedicke“, „soft tissue thickness“, „facial soft tissue thickness“, „FSTT“ wurden in diese Arbeit einbezogen. Ein zweiter Suchdurchlauf erfolgte mit der Literaturliste „CORE PUBLICATION LIST“ unter dem aufgeführten Abschnitt „Soft Tissue Depth“ auf der Website CRANIOFACIALidentification.com, die eine sehr gut sortierte Sammlung an Literaturquellen aufweist.

3.2.2. Literaturzusammenfassung, Extraktion und Präsentation

Die gesammelten Studien wurden analysiert und einzeln ausgewertet. Aufgenommen in die Ergebnistabellen wurden folgende Messgrößen bzw. Merkmale: Publikationszeitpunkt, Grundlage der Vermessung (z.B. CT-Aufnahme, Leiche etc.),

Probandenanzahl, Geschlecht, Alter, BMI, Herkunft/Ethnie, die Position an denen die Messung stattfand (die „Landmarks“) sowie die Weichgewebedicke. Neben diesen Merkmalen wurden auch die Messrichtung, skelettale Klasse der Probanden, die Eigenschaften der Leichen, die Gesichtsform der Probanden und die Positionierung ermittelt. Da diese jedoch nur in sehr wenigen Publikationen aufgeführt waren, wurden sie nicht in die Ergebnistabellen zur Methodik der einzelnen Studien mit einbezogen. Die gesammelten Studien wurden nach Publikationszeitpunkt sortiert und Studienziel, Materialien, die Datenverarbeitung sowie die ersten Ergebnisse in vier Tabellen übersichtlich dargestellt.

Annahme dieser Arbeit ist, dass die Dicke der Gesichtsweichteile an derselben Messposition immer nahezu gleich ist. Die Sortierung der unterschiedlichen Messpunkte der Studien erfolgte nach verschiedenen Kriterien. Die wichtigste Bedeutung kam der angegebenen Definition zuteil, die eventuell unterstützt durch den Namen der Landmark und/oder einer Zeichnung die Lage der Messstelle erkenntlich machen sollte. War die Aussage der Definition ungenau, wurde auf die Lage im Bild oder die Benennung zur eindeutigeren Identifizierung der Position zurückgegriffen. Befand sich die Benennung oder auch die Zeichnung im Widerspruch zu der Definition, wurde dies in derjenigen Studie am entsprechenden Messpunkt vermerkt und anhand der angegebenen Definition zur wahrscheinlichsten knöchernen Position zugeordnet. Konnte weder aus der Definition noch aus einer Abbildung oder der Benennung herausgelesen werden, an welcher Stelle auf dem Schädel die Weichgewebedickenmessung einer Studie stattgefunden hatte, wurde ein Bereich markiert, indem die Messung wahrscheinlich durchgeführt worden war. Dies musste besonders für Landmarks berücksichtigt werden, die ausschließlich anhand des Weichgewebes definiert wurden, wie beispielsweise „centered in fold of chin, below lips“ (Manhein et al., 2000).

Da nicht in jeder Studie Definition, Bild und/oder Namen für den jeweiligen Messpunkt zur Verdeutlichung der Position angegeben wurden und es immer wieder Diskrepanzen zwischen den einzelnen Angaben gab, kann immer nur von einem wahrscheinlich gleichen Ausgangspunkt für die Weichgewebedickenmessung verschiedener Studien gesprochen werden. Die Zuordnung zueinander wurde jedoch nach bestem Wissen und mehrfacher Überarbeitung durch die Autorin selbst durchgeführt.

Die Messpunkte der Studien wurden nun ausgehend von der knöchernen Lage der Landmarks sortiert und zusammengefasst. Den knöchernen Referenzpunkt und nicht

den Weichgewebepunkt als Ausgang für die Weichgewebedickenmessung zu wählen, war nur sinnvoll, da auch innerhalb der Analyse der CT-Datensätze der Universitätsmedizin innerhalb dieser Arbeit die Weichgewebedicke ausgehend von der Schädeloberfläche ermittelt wurde. Dies vereinfachte einen späteren Vergleich.

Die Landmarks wurden anschließend unterteilt in solche, die innerhalb der Medianebene lagen und diejenigen, die sich lateral hiervon auf einer oder beiden Schädelhälften befanden („bilateral gelegene Landmarks“).

Schlussendlich wurde die allen gemeinsame Definition des knöchernen Punktes zusammen mit den Autoren der Studien, die ihre Messung an eben diesen Positionen durchgeführt hatten, in einer Tabelle aufgelistet. Diese Tabelle bildete die Grundlage für die weitere Analyse der Weichgewebedickenwerte der Literatur innerhalb dieser Arbeit. Eine komprimierte Version der Tabelle der Definitionen der Landmarks und die jeweils zugeordneten Studien wurden für diese Arbeit angefertigt.

3.2.3. Grafische Darstellung der Landmarks

Anschließend wurden die Positionen der Messpunkte zur besseren Übersicht grafisch dargestellt. Die Grundlage für die Zeichnung der Schädel (frontal und seitlich) bildeten, wie auch zur Erstellung der Abbildungen der CT-Datensätze, der Anatomieatlas Prometheus (Schünke et al., 2006, pp. 2 and 4). Daraufhin wurden zuerst die eindeutig definierten Landmarks eingezeichnet, danach die Messpunkte, die zumindest in einer Ebene eindeutig definiert waren und zuletzt diejenigen, deren Erklärung einen ganzen Bereich als mögliche Messstelle zuließen. Deutlich definierte Landmarks wurden mit einem „x“ markiert, zum Teil definierte Landmarks sind farblich durch Linien gekennzeichnet, während Bereiche durch ein farblich hervorgehobenes Feld erkennbar sind. Zur besseren Orientierung wurden die Landmarks einmal in einen Frontalschnitt und einmal in eine Seitenansicht des Schädels eingezeichnet. Des Weiteren wurden die Landmarks getrennt nach ihrer Position (Medianebene oder bilateral gelegen) auf jeweils zwei Zeichnungen aufgeteilt.

3.2.4. Metaanalyse

Die Auswahl der Messpunkte an denen die nachfolgende Metaanalyse zur durchschnittlichen, gepoolten Weichgewebedicke durchgeführt wurde, entsprach denen, die zur Ermittlung der Weichgewebedicke der CT-Datensätze der

Universitätsmedizin Mainz verwendet wurden, um einen späteren Vergleich zu ermöglichen. Eine großflächig und einigermaßen gleichmäßig über den Schädel verteilte Anordnung war der entscheidende Faktor der zur Auswahl der Messstellen führte (siehe Abbildung 4, Abbildung 5 und Tabelle 1 in Abschnitt 3.1.3.) Dadurch konnte eine Aussage zur Weichgewebedicke an vielen unterschiedlichen Bereichen des Gesichts gemacht werden. Eine Ausnahme bildete der Punkt *Infracanine*. Innerhalb der Vermessung an den CT-Datensätzen wurde er wie folgt definiert: „Punkt auf der maximalen Prominenz der Jugalveolaris des Unterkiefercaninus“. Hierzu wurde kein entsprechender, eindeutig definierter Messpunkt innerhalb der untersuchten Studien der Literatur gefunden. Um eine spätere Analyse zwischen Literatur und CT-Datensätzen der Universitätsmedizin trotzdem zu ermöglichen, wurde der Bereich *Infracanine* (144) (Tabelle 12) für den Vergleich verwendet.

Für die Analyse der Literaturdaten und auch zum späteren Vergleich mit den Werten der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz wurden diejenigen Studien hinzugezogen, deren Weichgewebedickenmessungen an eben jenen Landmarks erfolgte. Alle anderen Landmarks und Weichgewebedicken der Literatur wurden innerhalb dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

Sofern es möglich war, wurde innerhalb der Studien die Weichgewebedicken von Probanden < 18 Jahre herausgefiltert und die übrigen Daten für diese Arbeit verwendet. Geschlechtliche Trennungen wurde nicht berücksichtigt, um möglichst viele Probanden in die Analyse mit einzubeziehen. Studien, die keine Standardabweichungen zu den Weichgewebedicken angegeben hatten, mussten ausgeschlossen werden. Wurden Daten sowohl für die rechte als auch für die linke Gesichtshälfte angegeben, wurde ein Mittelwert aus diesen Werten gebildet und dieser verwendet.

Die Weichgewebedicken, die an den oben genannten Landmarks innerhalb der Literatur angegeben waren, wurden mittels Microsoft Office Excel analysiert.

Sie wurden, sofern dies nicht schon in der Studie selbst geschehen war, zu einem einzigen Mittelwert („ \bar{x}_{gesamt} “) zusammengefasst. Angenommen es gab eine Aufteilung innerhalb der begutachteten Studie anhand des Alters, so wurden die angegebenen Mittelwerte („ \bar{x}_1 bis \bar{x}_n “) unter Berücksichtigung der jeweiligen Anzahl an Probanden („ p “), die jenem Mittelwert zugrunde lagen, gemittelt.

$$\bar{x}_{gesamt} = \frac{\bar{x}_1 \times p_1 + (...) + \bar{x}_n \times p_n}{p_1 + (...) + p_n}$$

Selbiges galt für die Standardabweichungen („SD“), die wie folgt zusammengefasst wurden:

$$SD_{gesamt} = \sqrt{\frac{((\bar{x}_{gesamt} - \bar{x}_1)^2 \times p_1 + ...) + ((\bar{x}_{gesamt} - \bar{x}_n)^2 \times p_n) + (SD_1^2 \times (p_1 - 1) + ...) + SD_n^2 \times (p_n - 1)}{p_{gesamt} - 1}}$$

Die Ergebnisse wurden der Übersichtlichkeit halber auf die zweite Nachkommastelle gerundet und tabellarisch dargestellt. Durch die Zusammenfassung von Subkategorien und dem Ausschluss von Weichgewebedickenwerten von Probanden < 18 Jahren ergaben sich zum Teil Mittelwerte, die sich natürlich von den innerhalb der Studien angegebenen Mittelwerten unterschieden.

Anschließend erfolgte die eigentliche Metaanalyse der Studien und ihre Darstellung als Forest Plots. Hierfür notwendig war zudem die Berechnung des Standardfehlers („SF“):

$$SF = \frac{SD}{\sqrt{p}}$$

Die Ober- bzw. Untergrenze des 95% Konfidenzintervalls einer jeden Studie berechnete sich wie folgt:

$$\text{Obergrenze} = \bar{x}_{gesamt} + 2 \times SF$$

$$\text{Untergrenze} = \bar{x}_{gesamt} - 2 \times SF$$

Danach wurde die Weichgewebedicke jeder berücksichtigten Studie mit dem Kehrwert des quadrierten Standardfehlers gewichtet (Methode der inversen Varianz). Es erfolgte die Darstellung der einzelnen Analysen getrennt für jede Landmark. Für eine übersichtlichere Darstellung innerhalb der Abbildung der einzelnen Forest Plots wurde das Ergebnis der Gewichtung radiziert, und somit die Kreisflächen, die der Gewichtung entsprechen, unter Beibehaltung des Verhältnisses zu den anderen Studien verringert.

Der gepoolte Schätzer ist der Mittelwert aus den gewichteten Mittelwerten der einzelnen Studien („ \bar{x}_A “ bis „ \bar{x}_Z “) und der gesuchte Mittelwert für die jeweilige Landmark der Literatursammlung („Gew“ = Gewichtung):

$$\text{gepoolter Schätzer} = \frac{\bar{x}_A \times \text{Gew}_A + (\dots) + \bar{x}_Z \times \text{Gew}_Z}{\text{Gew}_A + (\dots) + \text{Gew}_Z}$$

Zur besseren Lesbarkeit wurde das Skalenniveau der Achsen der einzelnen Forest Plots jeweils so angepasst, dass sich die Mittelwerte zentral und gut lesbar innerhalb der Abbildungen befinden.

3.3. Vergleich der Literaturdaten mit den CT-Datensätzen der Universitätsmedizin Mainz

Zum Vergleich der innerhalb des Abschnitts 3.2.4 gepoolten Mittelwerte der Metaanalyse mit den Mittelwerten der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz wurden zwei Punkte-Diagramme erstellt. Die Lage des jeweilig gepoolten Schätzers der Literatur wurde im Verhältnis zu der Standardabweichung und dem Mittelwert aus 3.1.4 an den 22 Landmarks gesetzt. Zur besseren Übersicht wurden die Abbildungen zum einen in die Landmarks in der Medianebene und zum anderen in die bilateral gelegenen Landmarks eingeteilt.

4. ERGEBNISSE

4.1. CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz

Aufgrund der Einschlusskriterien konnten 42 CT-Datensätze von Patienten der Universitätsmedizin Mainz in die Berechnung der Weichgewebedickenwerte einbezogen werden. Darunter befanden sich 16 weibliche und 26 männliche Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von $28,5 \pm 4,8$ Jahren (männlich: $28,8 \pm 5$ Jahre, weiblich: $27,9 \pm 4,7$ Jahre). Die CT-Datensätze wurden im Rahmen des „Kephalos“-Projekts zur Erstellung des statistischen Modells weiterverwendet.

Betrachtet man die mittleren Weichgewebedicken der männlichen Probanden fallen im Bereich der Wange und der Masseterregion die höchsten Weichgewebedickenwerte auf (mit Ausnahme der Landmarks *Mid-Mandibular-Border* (107)). Der niedrigste mittlere Wert der Medianebene wurde an *Rhinion* (9) (2,85mm) ermittelt, bilateral wurde am Punkt *Mid-Infraorbital* (63) (5,05mm) der geringste Wert gemessen. Der höchste mittlere Wert der Medianebene fand sich an *Mid-Philtrum* (14) (12,44mm), bilateral an *Above Ectomolare²* (87) (28,36mm) (Abbildung 6 und Abbildung 7, Tabelle 2).

Betrachtet man die mittleren Weichgewebedicken der weiblichen Probanden spiegeln sich hier die Erkenntnisse der männlichen Probanden wider. Auch hier befinden sich im Bereich der Wange und der Masseterregion die höchsten Weichgewebedickenwerte (mit Ausnahme der Landmarks *Mid-Mandibular-Border* (107)). Ebenfalls wurden die niedrigsten Werte an *Rhinion* (9) (2,12mm) und *Mid-Infraorbital* (63) (5,67mm) gemessen. Auch die Lage der höchsten Werte stimmt mit denen der männlichen Probanden überein und fanden sich an *Mid-Philtrum* (14) (11,51mm) und an *Above Ectomolare²* (87) (28,09mm) (Abbildung 8 und Abbildung 9, Tabelle 2).

Mit Ausnahme der Landmarks *Mid-Infraorbital* (63), *Zygion* (69) und *Lateral Orbit* (70) war die mittlere Weichgewebedicke der Männer höher als die der Frauen. Der Unterschied betrug hier maximal 2,43mm (*Mid-Ramus* (92)), in über 90% weniger als 2mm, in 45% weniger als 1mm.

Zusätzlich ist eine deutliche Überlappung der Messbereiche zwischen Männern und Frauen zu erkennen. Bei einer mittleren Messspanne von 9,30mm ergab sich die

größte Diskrepanz an der Messstelle *Gonion (103)* mit einer Messspanne von 19,06mm, die kleinste mit 4,12mm an *Nasion (6)*.

Gemessen wurden Weichgewebedickenwerte zwischen 0,45mm (*Rhinion (9)*, männlich) und 33,85mm (*Above Ectomolare² (87)*, männlich).

(Tabelle 2)

Tabelle 2: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima und Maxima der Weichgewebedicken der Probanden der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz

Landmark	Geschlecht ²	Mittelwert ¹ [mm]	Standard- abweichung ¹ [mm]	Minimum ¹ [mm]	Maximum ¹ [mm]
<i>Glabella (5)</i>	männlich	6,03	1,15	4,53	9,20
	weiblich	5,77	1,09	3,63	7,18
	gesamt	5,93	1,12	3,63	9,20
<i>Nasion (6)</i>	männlich	7,18	1,04	5,29	8,88
	weiblich	6,43	1,05	4,76	8,66
	gesamt	6,89	1,09	4,76	8,88
<i>Rhinion (9)</i>	männlich	2,85	0,97	0,45	4,74
	weiblich	2,12	0,48	1,44	3,35
	gesamt	2,58	0,89	0,45	4,74
<i>Mid-Philtrum (14)</i>	männlich	12,44	1,67	9,42	15,19
	weiblich	11,51	1,16	10,13	13,72
	gesamt	12,08	1,55	9,42	15,19
<i>Prosthion (16)</i>	männlich	11,41	1,90	6,77	15,30
	weiblich	9,47	1,57	6,39	13,21
	gesamt	10,67	2,00	6,39	15,30
<i>Infradentale (23)</i>	männlich	10,78	1,43	7,73	14,07
	weiblich	9,38	1,27	5,63	11,43
	gesamt	10,28	1,52	5,63	14,07
<i>Supramentale (25)</i>	männlich	11,73	1,57	9,23	15,74
	weiblich	10,54	1,36	7,81	12,57
	gesamt	11,28	1,59	7,81	15,74
<i>Pogonion (27)</i>	männlich	10,73	1,91	7,96	14,58
	weiblich	9,38	1,92	6,60	14,00
	gesamt	10,22	2,01	6,60	14,58
<i>Menton (30)</i>	männlich	8,03	1,92	4,31	11,84
	weiblich	6,14	1,75	2,31	9,55
	gesamt	7,31	2,06	2,31	11,84
<i>Mid-Supraorbital (49)</i>	männlich	7,89	1,11	5,04	9,96
	weiblich	7,23	1,11	5,45	9,19
	gesamt	7,64	1,14	5,04	9,96
<i>Mid-Infraorbital (63)</i>	männlich	5,05	1,17	2,64	8,17
	weiblich	5,67	1,92	3,18	9,98
	gesamt	5,28	1,51	2,64	9,98
<i>Zygion (69)</i>	männlich	8,33	1,99	4,79	12,69
	weiblich	9,62	2,02	6,42	13,96

ERGEBNISSE

	gesamt	8,82	2,07	4,79	13,96
<i>Lateral Orbit (70)</i>	männlich	6,85	1,48	3,42	9,76
	weiblich	7,84	1,72	4,73	10,82
	gesamt	7,23	1,63	3,42	10,82
<i>Inferior Malar (81)</i>	männlich	17,03	2,60	11,65	22,78
	weiblich	16,74	2,30	12,76	21,29
	gesamt	16,92	2,46	11,65	22,78
<i>Supracanine (82)</i>	männlich	10,83	0,94	9,25	12,57
	weiblich	9,56	0,98	7,74	11,91
	gesamt	10,34	1,13	7,74	12,57
<i>Above Ectomolare² (87)</i>	männlich	28,36	4,06	17,67	33,85
	weiblich	28,09	2,37	24,46	32,83
	gesamt	28,26	3,48	17,67	33,85
<i>Occlusal Line (89)</i>	männlich	24,02	3,74	15,81	30,56
	weiblich	22,51	2,62	16,82	27,52
	gesamt	23,44	3,41	15,81	30,56
<i>Mid-Ramus (92)</i>	männlich	23,37	3,59	16,66	30,69
	weiblich	20,94	3,08	16,42	27,39
	gesamt	22,44	3,57	16,42	30,69
<i>Below Ectomolare₂ (98)</i>	männlich	21,95	3,25	14,58	29,00
	weiblich	20,86	2,40	15,58	24,75
	gesamt	21,54	2,97	14,58	29,00
<i>Gonion (103)</i>	männlich	15,73	4,91	6,35	25,41
	weiblich	13,63	3,95	8,44	22,23
	gesamt	14,93	4,63	6,35	25,41
<i>Mid-Mandibular Border (107)</i>	männlich	11,15	3,31	5,97	18,78
	weiblich	9,68	2,38	4,96	13,58
	gesamt	10,59	3,04	4,96	18,78
<i>Infracanine (144)</i>	männlich	11,03	1,22	8,51	13,38
	weiblich	10,12	0,95	8,87	12,37
	gesamt	10,68	1,19	8,51	13,38

¹ Literaturstellen: gerundet auf die zweite Nachkommastelle

² Literaturstellen: männlich (N= 26), weiblich (N= 16), gesamt (N=42)

Für die Messungen der männlichen Probanden sind im Bereich der Wange die höchsten Standardabweichungen (bis zu 4,91mm) ermittelt worden. Hierzu zählen die Landmarks *Inferior Malar (81)*, *Above Ectomolare² (87)*, *Occlusal Line (89)*, *Mid-Ramus (92)*, *Below Ectomolare₂ (98)*, *Gonion (103)* und *Mid-Mandibular-Border (107)*. Die Standardabweichung beläuft sich an den Messstellen der Medianebene an allen Landmarks auf weniger als 2mm (Abbildung 6 und Abbildung 7).

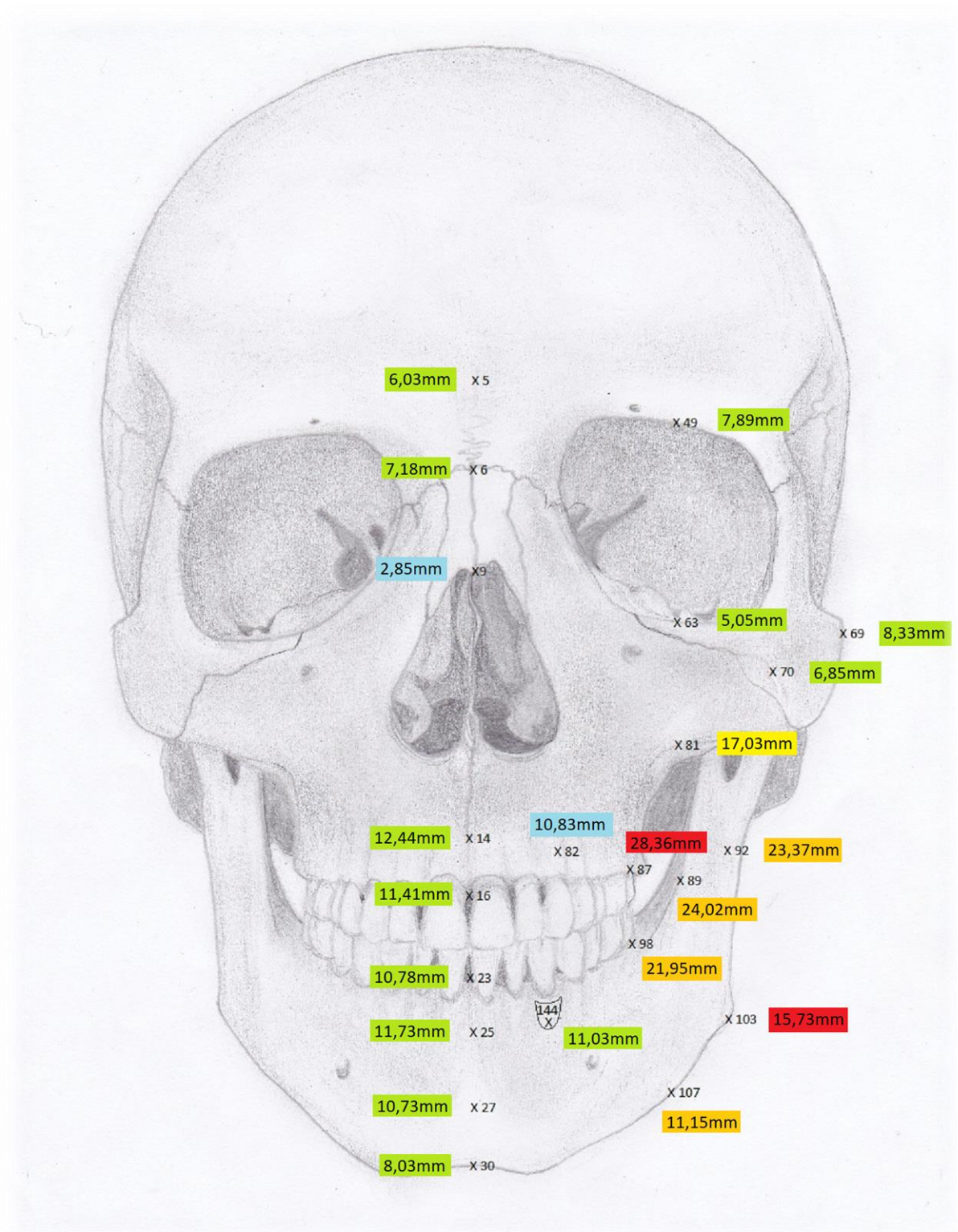


Abbildung 6: Frontalansicht der mittleren Weichgewebedicke der männlichen Probanden der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz an den markierten Landmarks (zur Definition siehe Tabelle 1); Standardabweichung farblich markiert: blau = SD: 0 - <1mm, grün = SD: 1 - <2mm, gelb = SD: 2 - <3mm, orange = SD: 3 - <4mm, rot = SD: 4 - <5mm (gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.4))

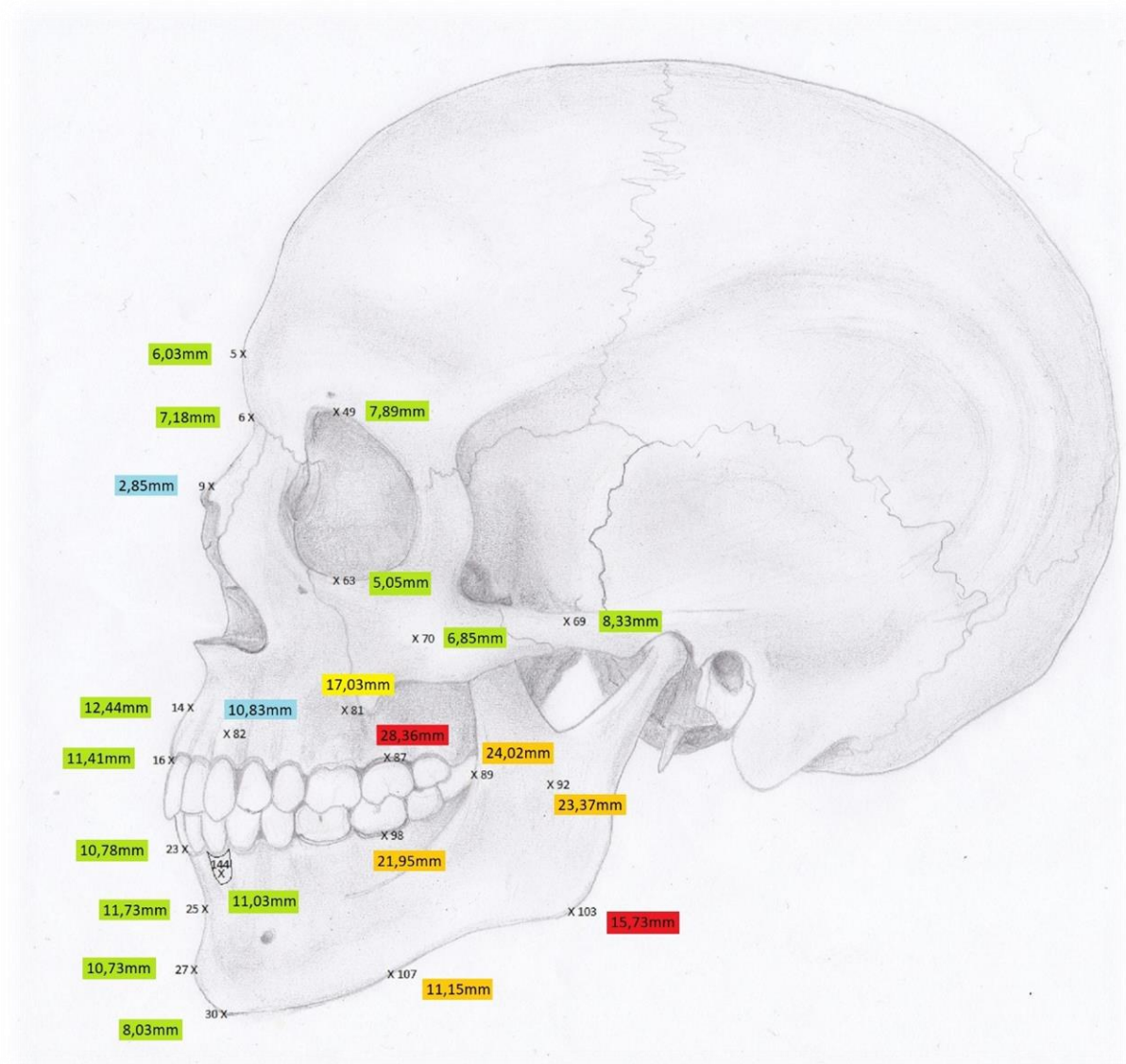


Abbildung 7: Seitenansicht der mittleren Weichgewebebedicke der männlichen Probanden der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz an den markierten Landmarks (Definition siehe Tabelle 1); Standardabweichung farblich markiert: blau = SD: 0 - <1mm, grün = SD: 1 - <2mm, gelb = SD: 2 - <3mm, orange = SD: 3 - <4mm, rot = SD: 4 - <5mm (gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.2))

Die Standardabweichungen der weiblichen Probanden betragen an den Landmarks der Medianebene weniger als 2mm, wobei im Bereich der Wange höhere Standardabweichungen (bis zu 3,95mm) gefunden wurden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der männlichen Probanden. Zusätzlich zu den Messpunkten *Inferior Malar (81)*, *Above Ectomolare² (87)*, *Occlusal Line (89)*, *Mid-Ramus (92)*, *Below Ectomolare₂ (98)*, *Gonion (103)* und *Mid-Mandibular-Border (107)* konnte bei den weiblichen Probanden auch an der Landmark *Zygion (69)* eine Standardabweichung von mehr als 2mm ermittelt werden (Abbildung 8 und Abbildung 9).

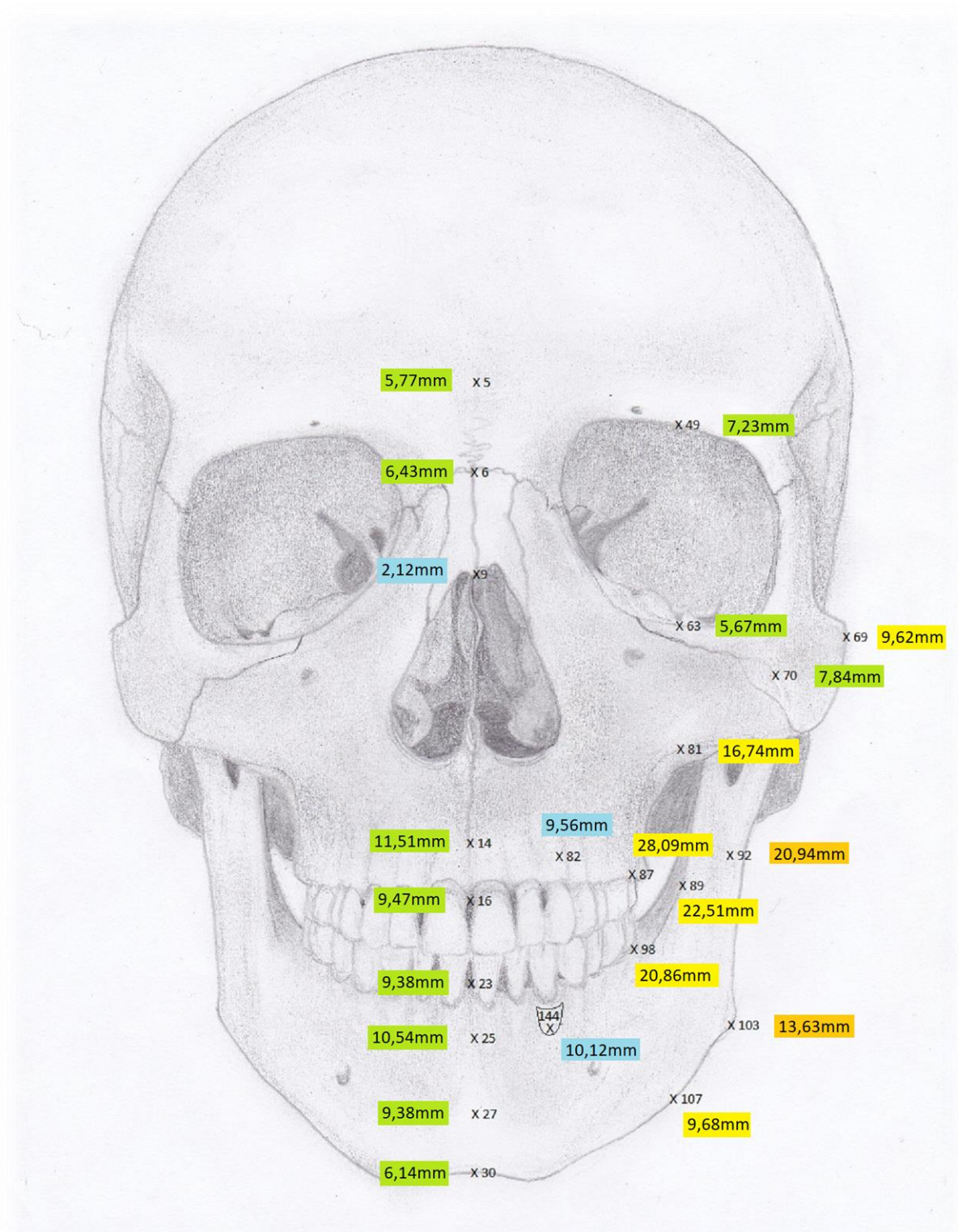


Abbildung 8: Frontalansicht der mittleren Weichgewebedicke der weiblichen Probanden der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz an den markierten Landmarks (zur Definition siehe Tabelle 1); Standardabweichung farblich markiert: blau = SD: 0 - <1mm, grün = SD: 1 - <2mm, gelb = SD: 2 - <3mm, orange = SD: 3 - <4mm, rot = SD: 4 - <5mm (gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.4))

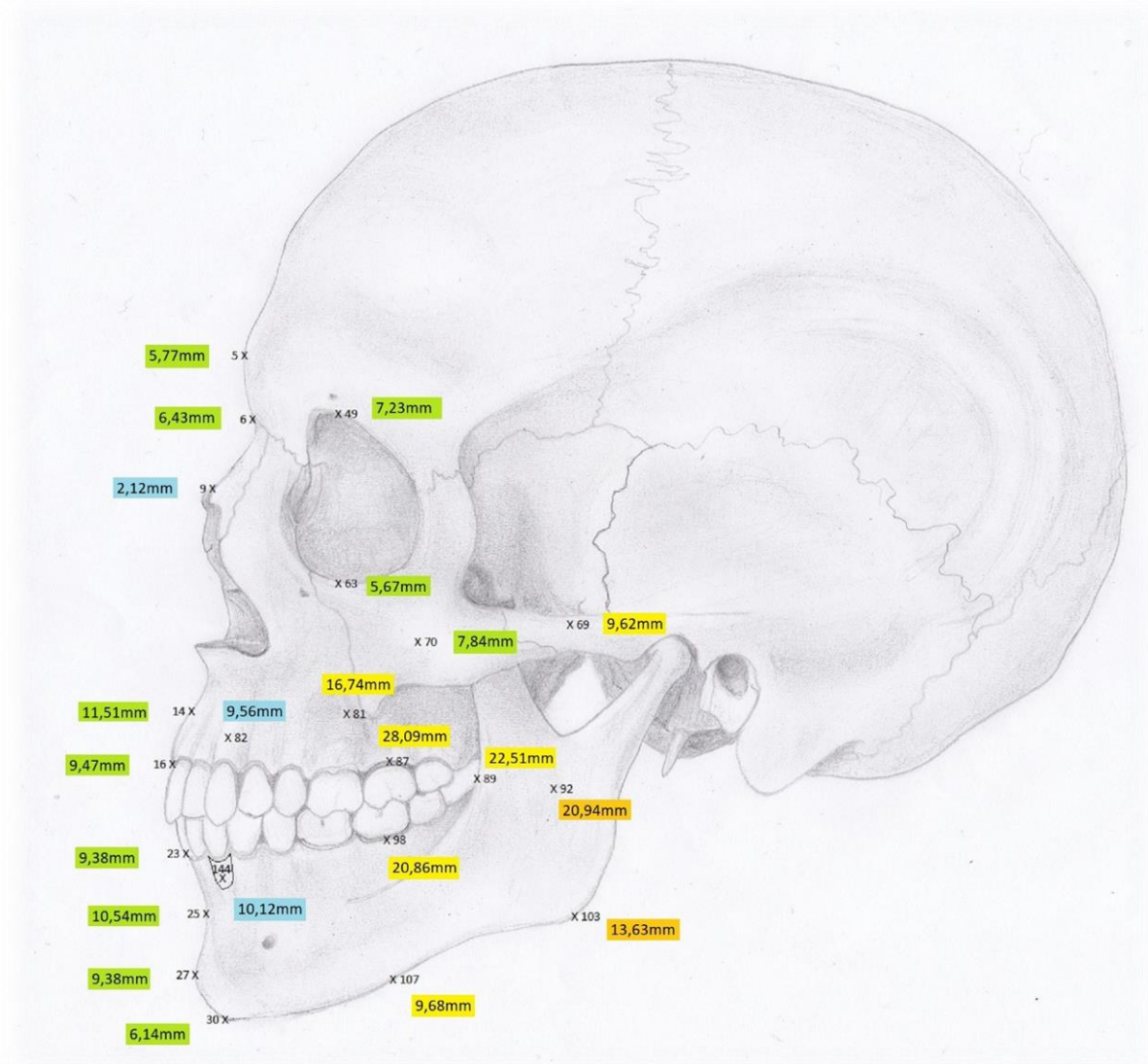


Abbildung 9: Seitenansicht der mittleren Weichgewebedicke der weiblichen Probanden der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz an den markierten Landmarks (Definition siehe Tabelle 1); Standardabweichung farblich markiert: blau = SD: 0 - <1mm, grün = SD: 1 - <2mm, gelb = SD: 2 - <3mm, orange = SD: 3 - <4mm, rot = SD: 4 - <5mm (gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.2))

4.2. Literatur

4.2.1. Studienprofile der Literatur

Das Ergebnis der Literaturrecherche ergab 39 meist englischsprachige Studien, die zwischen 1895 und 2016 publiziert wurden. Neben dem Studienziel die Weichgewebedicke eines bestimmten Probandenkollektivs zu ermitteln, untersuchten viele Studien zudem Faktoren, die die Weichgewebedicke des Gesichts beeinflussen könnten, wie z.B. das Geschlecht (26 Studien), das Alter (14 Studien), die Körperkonstitution/BMI (zwölf Studien), die Ethnie (20 Studien), die Probandenlagerung (zwei Studien) und weitere. Die Herkunft der Studienobjekte ist multiethnisch, wobei 72% der Untersuchungen an vitalen Probanden durchgeführt wurden und 28% an Leichen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Studienziel und Materialien der eingeschlossenen Studien der Literaturrecherche

Autor, Jahr	Studienziel (primär/ sekundär)	Probanden
His, 1895	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke und Längenmaße des Profils für unterschiedliche Geschlechter	Leichen
Sutton, 1969	Erörterung der fazialen Weichgewebedicken für Landmark: „Zygion“ und Größe des bizygomatischen Durchmessers Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Ernährungsstatus, Gesichtshälfte und der Weichgewebedicke	Leichen ("appeared to be of European stock")
Sarnäs und Solow, 1980	Erörterung der fazialen Hart- und Weichgewebeveränderungen Erörterung des Zusammenhangs zwischen Alter / Zeitpunkt der Beobachtung und der Weichgewebedicke / Lage anatomischer Strukturen	Vitale erwachsene Schweden
Robetti et al., 1982	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke	Leichen
Michelow und Guyuron, 1995	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke und skelettalen Verhältnissen des Kinns und deren Auswirkungen Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Alter und der Weichgewebedicke / skelettale Verhältnisse	Vitale Kaukasier
Aulsebrook et al., 1996	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke	Vitale männliche erwachsene Zulu
Phillips und Smuts, 1996	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Ethnie/Population und der Weichgewebedicke	Vitale Südafrikaner einer gemischten Population
Kasai, 1998	Erörterung des Zusammenhangs zwischen fazialen Hart- und Weichgewebestrukturen	Vitale Japanerinnen

	Erörterung des Zusammenhangs von durch orthodontische Behandlung bedingte fazialen Hart- und Weichgewebeveränderungen	
Manhein et al., 2000	Erörterung der fazialen Weichgewebebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Alter, Ethnie/Population, Positionierung und der Weichgewebebedicke	Vitale amerikanische Erwachsene und Kinder
El-Mehallawi und Soliman, 2001	Erörterung der fazialen Weichgewebebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Ethnie/Population und der Weichgewebebedicke	Vitale erwachsene Ägypter
Simpson und Henneberg, 2002	Erörterung des Zusammenhangs zwischen fazialer Weichgewebebedicke und kranio-metrischen Dimensionen Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Gesichtsseite, Konservierungszustand und der Weichgewebebedicke	Erwachsene australische Leichen
Domaracki und Stephan, 2006	Erörterung der fazialen Weichgewebebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Gesichtsseite und der Weichgewebebedicke	Erwachsene australische Leichen (europäischer Herkunft)
Smith und Throckmorton, 2006	Erörterung der Vergleichbarkeit der Methoden der fazialen Weichgewebebedickenmessung (Sonografie und Fernröntgenseitenaufnahme)	Vitale erwachsene Texaner
De Greef et al., 2006	Erörterung der fazialen Weichgewebebedicke für unterschiedliche Geschlechter-, Alters- und BMI-Kategorien Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Alter, BMI, Ethnie/Population, Gesichtsseite und der Weichgewebebedicke	Vitale erwachsene Kaukasier
Niinimäki und Karttunen, 2007	Erörterung der kraniofazialen Weichgewebebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, BMI, Ethnie/Population, Gesichtsseite, kranio-metrischen Dimensionen und der Weichgewebebedicke	Vitale erwachsene Finnen
Bellmann et al., 2007	Entwicklung eines computergestützten Messverfahrens mit senkrecht zur knöchernen Oberfläche durchgeführter Messung zur Ermittlung fazialer Weichgewebebedicke	Kaukasische Leichen
Sahni et al., 2008	Erörterung der kraniofazialen Weichgewebebedicke für unterschiedliche Geschlechter und Ethnien/Populationen Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Alter, Ethnie/Population, Gesichtsseite, Körperparametern und der Weichgewebebedicke	Vitale erwachsene Inder
Suazo Galdames et al., 2008	Erörterung des Zusammenhangs zwischen unterschiedliche Konservierungszuständen und der fazialen Weichgewebebedicke	Männliche spanische Leichen
Codinha, 2009	Erörterung der fazialen Weichgewebebedicke für unterschiedliche BMI-Kategorien Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, BMI, Ethnie/Population und der Weichgewebebedicke	Erwachsene portugiesische Leichen
Shimofusa et al., 2009	Erörterung der Anwendbarkeit der 3D rekonstruierten Multidetektor-Computertomografie als Grundlage für faziale Weichgewebebedickenmessungen Erörterung des Zusammenhangs zwischen Messmethode und der Weichgewebebedicke	Erwachsene japanische Leichen
Tedeschi-Oliveira et al., 2009	Erörterung der fazialen Weichgewebebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Alter, Ernährungsstatus, Ethnie/Population, Gesichtsseite und der Weichgewebebedicke	Brasilianische Leichen
Utsuno et al., 2010	Erörterung der fazialen Weichgewebebedicke für unterschiedliche skelettale Klassen Erörterung des Zusammenhangs zwischen skelettaler Klasse und der Weichgewebebedicke	Vitale Japanerinnen

Cavanagh und Steyn, 2011	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Ethnie/Population und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene schwarze Südafrikanerinnen
Chan et al., 2011	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Alter, BMI, Ethnie/Population und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene Sino-amerikaner
Kurkcuoglu et al., 2011	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke für unterschiedliche skelettale Klassen und Geschlechter Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht Ethnie/Population, skelettaler Klasse und der Weichgewebedicke	Vitale Türken
Chen et al., 2011	Erörterung der kraniofazialen Weichgewebedicke und des nasalen Profils für unterschiedliche Geschlechter und Altersgruppen Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Alter, Ethnie/Population, Gesichtsseite und der Weichgewebedicke	Vitale Chinesen der Han Population
Sipahioğlu et al., 2012	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Alter, BMI, Ethnie/Population und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene Türken
Panenková et al., 2012	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke für unterschiedliche Geschlechter Erörterung der Zusammenhänge zwischen Geschlecht, Alter und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene Slowaken
Negi et al., 2012	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke und der Größe kephalometrischer Normen Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Ethnie/Population und der Weichgewebedicke sowie der Größe kephalometrischer Normen	Vitale erwachsene nordindische Mongoloiden
Dong et al., 2012	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke für unterschiedliche Geschlechter und BMI-Kategorien Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, BMI und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene Chinesen
Hwang et al., 2012	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Gesichtsseite und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene Koreaner
Perlaza Ruiz, 2013	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke für unterschiedliche Geschlechter und BMI-Kategorien Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, BMI, Ethnie/Population, Gesichtsseite und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene Kolumbianer
Guyomarc'h et al., 2013	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke und der kranialen Parameter Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Alter, Ethnie/Population, Gesichtsseite, BMI und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene Franzosen
de Almeida et al., 2013	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Ethnie/Population und der Weichgewebedicke	Erwachsenen brasilianischen Leichen
Peckmann et al., 2015	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Alter, Geschlecht, Ethnie/Population und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene Mi'kmaq Kanadier
Gungor et al., 2015	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke für unterschiedliche skelettale Klassen und Geschlechter Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Ethnie/Population, skelettaler Klasse und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene Türken (Zentral-Anatolier)
Jeelani et al., 2015	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke für unterschiedliche vertikale Gesichtsmuster	Vitale erwachsene Pakistaner

ERGEBNISSE

	Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, vertikalem Gesichtsmuster und der Weichgewebedicke	
Baillie et al., 2016	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke für unterschiedliche Positionierungen Erörterung des Zusammenhangs zwischen Alter, BMI, Gesichtsseite, Positionierung und der Weichgewebedicke	Vitale erwachsene Neuseeländerinnen
Lodha et al., 2016	Erörterung der fazialen Weichgewebedicke Erörterung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht, Alter, BMI, Ethnie/Population und der Weichgewebedicke	Vitale indische Gujarati

Die Anzahl der innerhalb der jeweiligen Studien gewählten Landmarks schwankte je Autor von einer bis 37, wobei 16 die Höchstanzahl der in der Medianebene analysierten Messpunkte und 25 die Höchstanzahl der bilateral analysierten Messpunkte war. Es sind zwei Studien vertreten, die keine Landmarks in der Medianebene untersucht haben und insgesamt zehn Studien, die die Weichgewebedicke bilateral nicht vermessen haben.

Des Weiteren variierten auch die zugrunde liegenden Untersuchungsmethoden, neben der Messung der Weichgewebedicke mittels Nadelmethode an Leichen (neun Studien), fanden sich auch Arbeiten deren Grundlage radiologische Aufnahmen wie das CT (acht Studien), DVT (zwei Studien), Fernröntgenseitenaufnahmen (neun Studien) oder das Xerogram (eine Studie) waren, sowie Autoren, die MRT-Aufnahmen (vier Studien) oder auch Sonografie-Untersuchungen (acht Studien) nutzten (Tabelle 4).

Tabelle 4: Datenverarbeitung der eingeschlossenen Studien der Literaturrecherche

Autor	Anzahl Landmarks		Messmethode	Deskription/Analyse (primär/sekundär)
	Median ebene	bilateral		
His	9	6	Nadeltechnik	Angabe von Einzelwerten, sowie Mittelwerten getrennt nach Geschlecht, Alterskategorie und Ernährungsstatus
Sutton	0	1	Nadeltechnik	Angabe von Mittelwerten getrennt nach Geschlecht und Ernährungsstatus Test auf Signifikanz
Sarnäs und Solow	3	0	Radiologische Untersuchung (2D)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen und Differenzen getrennt nach Geschlecht, Zeitpunkt und Analysemethode Test auf Signifikanz
Robetti et al.	5	7	Nadeltechnik	Angabe von Mittelwerten getrennt nach Geschlecht, Alterskategorie und Ernährungsstatus
Michelow und Guyuron	4	0	Xeroradiografische Untersuchung	Angabe von Mittelwerten und Standardabweichungen getrennt nach Geschlecht und Alterskategorie
Aulsebrook et al.¹	16	0	Radiologische Untersuchung (2D)	zweiseitige Varianzanalyse Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten
	0	18	Sonografie	

ERGEBNISSE

Phillips und Smuts	10	11	Radiologische Untersuchung (CT)	Angabe von Mittelwerten und Standardabweichungen getrennt nach Geschlecht Angabe der Differenz
Kasai	3	0	Radiologische Untersuchung (2D)	Angabe von Mittelwerten und Standardabweichungen für kephalometrische Variablen; kanonische Korrelationsanalyse Angabe von Differenzen, multiplen Regression
Manhein et al.	7	12	Sonografie	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht, Alterskategorie Angabe von Differenzen, Pearson Korrelation, Varianzanalyse, gepaarter t-Test
El-Mehallawi und Soliman	0	17	Sonografie	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht unabhängiger t-Test
Simpson und Henneberg	11	9	Nadeltechnik	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten, Variationskoeffizient und Reliabilitätsschätzung, Multiple Regressionsgleichungen, Angabe von korrigierten Korrelationskoeffizienten gepaarter t-Test, Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht (Mittelwerte ebenfalls getrennt nach Konservierungszustand, t-Test
Domaracki und Stephan	7	3	Nadeltechnik	Angabe von Mittelwerten, Medianen, Modi, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht, Angabe gepoolter und gewichteter Mittelwerte zweiseitiger Zweistichproben t-Test, Test auf Signifikanz
Smith und Throckmorton	3	0	Radiologische (2D) Untersuchung	Angabe von Einzelwerten (je Proband), Differenzen, Standardabweichungen und Korrelationskoeffizienten getrennt nach Messmethode
	3	0	Sonografie	
De Greef et al.	10	21	Sonografie	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht, Alters- und BMI-Kategorie Multiple lineare Regression,

ERGEBNISSE

				Angabe von Differenzen, gepaarter t-Test, t-Test, Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test
Niinimäki und Karttunen	13	18	MRT-Untersuchung	Angabe von Mittelwerten Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten, getrennt nach Geschlecht und Gesichtsseite (Mittelwerte ebenfalls getrennt nach BMI-Kategorie)
				Angabe der Korrelationskoeffizienten, gepaarter t-Test
Bellmann et al.	10	8	Radiologische Untersuchung (CT)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht, BMI-Kategorie und Gesichtsseite
Sahni et al.	13	8	MRT-Untersuchung	Angabe der Mittelwerte und Standardabweichungen getrennt nach Geschlecht, Alterskategorie und Gesichtsseite
				unabhängiger t-Test, Diskriminanzanalyse, Angabe des partiellen Korrelationskoeffizienten
Suazo Galdames et al.	8	6	Nadeltechnik	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen getrennt nach Konservierungszustand und Gesichtsseite, Test auf Signifikanz
Codinha	8	12	Nadeltechnik	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt Geschlecht und BMI-Kategorie
				unabhängiger t-Test, Post Hoc Gabriel Mehrfachvergleichstest
Shimofusa et al.	8	2	Radiologische Untersuchung (CT)	Angabe von Mittelwerten und Standardabweichungen getrennt nach Geschlecht
				t-Test
Tedeschi-Oliveira et al.	10	11	Nadeltechnik	Angabe von Mittelwerten getrennt nach Geschlecht
				Angabe der Differenzen, gepaarter t-Test, t-Test, univariate Varianzanalyse, Turkey's Test
Utsuno et al.	10	0	Radiologische Untersuchung (2D)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen und Spannweiten getrennt nach skelettaler Klasse
				t-Test

ERGEBNISSE

Cavanagh und Steyn	10	18	Radiologische Untersuchung (CT)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Modi, Minimal- und Maximalwerten t-Test, Angabe von 95% Konfidenzintervallen und Differenzen
Chan et al.	7	12	Sonografie	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen sowie Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht und Alterskategorie Pearson Korrelation, univariante Varianzanalyse, t-Test, Angabe von Differenzen
Kurkcuoglu et al.	10	0	Radiologische Untersuchung (2D)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Medianwerten und Interquartilsabständen getrennt nach Geschlecht und skelettaler Klasse Mann-Whitney U Test, einfache Varianzanalyse (Kruskal-Wallis), Dunn Test
Chen et al.	16	15	MRT-Untersuchung	Angabe von Mittelwerten und Standardabweichungen getrennt nach Alterskategorie und Geschlecht zweiseitiger Zweistichproben t-Test, zweifaktorielle Varianzanalyse, Test auf Signifikanz
Sipahioğlu et al.	9	0	MRT-Untersuchung	Angaben von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht, Alters- und BMI-Kategorie unabhängiger t-Test, einfache Varianzanalyse, Angabe von Differenzen
Panenková et al.	6	8	Radiologische Untersuchung (CT)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Medianwerten, Minimal- und Maximalwerten und Interquartilsabständen getrennt nach Geschlecht und Alterskategorie Kolmogov-Smirnov Test, Kruskal-Wallis Test
Negi et al.	3	0	Radiologische Untersuchung (2D)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen und 95% Intervallen unabhängiger t-Test
Dong et al.	10	10	Radiologische Untersuchung (CT)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht und BMI-Kategorie

				t-Test, einfache Varianzanalyse, Fischers LSD-Test, Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, Kruskal-Wallis H-test
Hwang et al.	10	21	Radiologische Untersuchung (DVT)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht und Gesichtsseite
Perlaza Ruiz	7	10	Radiologische Untersuchung (DVT)	Students t-Test, gepaarter t-Test, Angabe von Differenzen Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht, BMI-Kategorie und Gesichtsseite Mann-Whitney U-Test, Varianzanalyse, unabhängiger t-Test, gepaarter t-Test, Angabe von Differenzen
Guyomarc'h et al.	12	25	Radiologische Untersuchung (CT)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten multifaktorielle Varianzanalyse, Angabe von Differenzen, Pearson Korrelationskoeffizienten, Mann-Whitney U-Test, Spearman Korrelation, gepaarter t-Test, Wilcoxon-Vorzeichen-Rank-Test, Angabe von Regressionsgleichungen
de Almeida et al.	13	18	Nadeltechnik	Angabe der Mittelwerte getrennt nach Geschlecht und Gesichtsseite Angabe der Differenzen, zweiseitiger t-Test
Peckmann et al.	7	12	Sonografie	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht und Alterskategorie Pearson Korrelation, unabhängiger Zweistichproben t- Test, einfache Varianzanalyse, Angabe von Differenzen
Gungor et al.	10	0	Radiologische Untersuchung (2D)	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Geschlecht und skelettaler Klasse unabhängiger Einstichproben t-Test, zweifache Varianzanalyse, einfache Varianzanalyse, LSD-Test

ERGEBNISSE

Jeelani et al.	11	0	Radiologische Untersuchung (2D)	Angabe von Mittelwerten und Standardabweichungen getrennt nach Geschlecht und vertikalem Gesichtsmuster Mann-Whitney U-Test, Kruskal-Wallis test, Post hoc Test (Dunnet T3)
Baillie et al.	3	7	Sonografie	Angabe von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten getrennt nach Alterskategorie, BMI-Kategorie, Gesichtsseite und Positionierung Varianzanalyse, multivariate Varianzanalyse, Pearson Korrelation (zweiseitig)
Lodha et al.	11	7	Radiologische Untersuchung (CT)	Angabe von Mittelwerten und Standardabweichungen getrennt nach Geschlecht und Gesichtsseite t-Test, einfache Varianzanalyse, Diskriminanzanalyse, Angabe des z-Scores

¹ Literaturstellen: Aulsebrook et al. untersuchten zusätzlich schräge Röntgenbilder. Diese wurden innerhalb der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt.

Insgesamt wurden zwischen neun und 964 Probanden untersucht, wobei die Spanne bei den Männern von null bis 457 und bei den Frauen von null bis 510 Probanden stark schwankte. Innerhalb vieler Publikationen variierte die Probandenanzahl zusätzlich an den verschiedenen, einzelnen Messpunkten, angegeben ist immer die maximal untersuchte Probandenanzahl (Tabelle 5).

Innerhalb der einzelnen Literaturquellen fand häufig eine Gruppierung in Unterkategorien statt. Die häufigste Aufteilung erfolgte anhand des Geschlechts, aber auch eine Gruppierung nach Körperbau bzw. BMI (zwölf Studien), oder dem Alter (13 Studien) wurde des Öfteren vorgenommen. Während alle Studien einen Altersbereich oder den Altersmittelwert angaben, wurde in 23 der 39 Studien eine Aussage zur Körperkonstitution der Probanden getroffen (Tabelle 5 und Tabelle 6).

Tabelle 5: Erste Ergebnisse der eingeschlossenen Studien der Literaturrecherche (Teil 1)

Autor	Anzahl eingeschlossener Probanden		Alter		
	männlich	weiblich	Mittelwert ² [Jahre]	Standardabweichung [Jahre]	Bereich [Jahre] oder Beschreibung
His	33	4	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	17 - 72 ^g
Sutton	69	35	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	"well past middle age"
Sarnäs und Solow	101	50	20,9	0,8 (n=50) 1,0 (n=101)	19 - 22
Robetti et al.	65	35	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<11 - 55+ ^c
Michelow und Guyuron	18	82	30,3	<i>Keine Angabe möglich</i>	14 - 62 ^{e,f}
Aulsebrook et al.	55	0	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	20 - 35
Phillips und Smuts	16	16	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	12 - 71
Kasai	0	297	21,1	<i>Keine Angabe möglich</i>	„adult“
Manhein et al.	70	126	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	19 - 55 ^c
El-Mehallawi und Soliman	120	84	28,5	3,8	20 - 35
Simpson und Henneberg	17	23	78	11	52 - 101
Domaracki und Stephan	19	14	77,9	9 (n=19) 13 (n=14)	46 - 92

ERGEBNISSE

Smith und Throckmorton	3	6	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	22 - 37
De Greef et al.	457	510	38,6	<i>Keine Angabe möglich</i>	18 - 60+ ^d
Niinimäki und Karttunen	40	39	34,0	9,1 (n=26) 9,56 (n=26) Angabe nur für einen Teil	18 - 49
Bellmann et al.	77	58	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	16 - 89
Sahni et al.	173	127	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	18 - 70 ^d
Suazo Galdames et al.	30	0	38,5	8,37 (n=15) 7,67 (n=15)	"adult"
Codinha	103	48	62,6	<i>Keine Angabe möglich</i>	20 - 99
Shimofusa et al.	33	17	61,0	<i>Keine Angabe möglich</i>	29 - 86
Tedeschi-Oliveira et al.	26	14	59	16,76	17 - 90
Utsuno et al.	0	45	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	17 - 33
Cavanagh und Steyn	0	154	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	18 - 35
Chan et al.	29	38	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	18 - 87 ^c
Kurkcuoglu et al.	100	100	29,7	1,3 (n=34) 1,4 (n=32) 1,6 (n=34) 1,9 (n=34) 2,6 (n=36) 5,4 (n=30)	"adults"
Chen et al.	233	192	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	17 - 60+ ^d
Sipahioğlu et al.	79	82	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	18 - 78 ^c
Panenkova et al.	80	80	47,9	17,1 (n=80) 17,5 (n=80)	18 - 87 ^b
Negi et al.	30	30	22,6	<i>Keine Angabe möglich</i>	18 - 25
Dong et al.	75	125	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	18 - 32
Hwang et al.	50	50	28,3	3,7 (n=50) 4,2 (n=50)	20 - 36
Perlaza Ruiz	26	4	27,7	6 (n=26) 8 (n=4)	18 - 35
Guyomarc'h et al.	265	235	52	20 (n=500)	18 - 96 ^a
de Almeida et al.	74	26	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	"majority [...] 41 - 60"

ERGEBNISSE

Peckmann et al.	56	96	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	18 - 75 ^c
Gungor et al.	75	92	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	18 - 35
Jeelani et al.	126	150	21,7	4,71	18 - 30
Baillie et al.	0	30	34,6	12,6	18 - 55 ^a
Lodha et al.	324	165	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	17 - 65 ^d

¹ Literaturstellen: Manhein et al. untersuchten zusätzlich Kinder. Diese wurden innerhalb dieser Studie nicht berücksichtigt.

² Literaturstellen: gerundet auf maximal eine Nachkommastelle

^a Literaturstellen: eingeteilt in zwei Gruppen

^b Literaturstellen: eingeteilt in drei Gruppen

^c Literaturstellen: eingeteilt in vier Gruppen

^d Literaturstellen: eingeteilt in fünf Gruppen

^e Literaturstellen: eingeteilt in sechs Gruppen

^f Literaturstellen: Gruppierung für einen Teil der Landmarks

^g Literaturstellen: Alter je Proband angegeben

Tabelle 6: Erste Ergebnisse der eingeschlossenen Studien der Literaturrecherche (Teil 2)

Autor	Body-Mass-Index		
	Mittelwertangabe ² [kg/m ²]	Standardabweichung ² [kg/m ²]	Bereich [kg/m ²] oder Beschreibung
His	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	„sehr mager“; „mager“; „massig“; „kräftig“; „sehr muskulös“; „muskulös“; „fettarm“; „mittelstark“; „gut genährt“; „mittlere Ernährung“; „sehr wohl genährt“
Sutton	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	„thin“; „medium“; „fat“
Sarnäs und Solow	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich
Robetti et al.	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	„mager“, „normal“, „dick“
Michelow und Guyuron	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich
Aulsebrook et al.	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	“normal weight-high ratio“, „[...]only those people differing by less than 10 percent on either side of the stipulated average ratio were selected [...]”
Phillips und Smuts	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich
Kasai	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich
Manhein et al.	Keine Angabe möglich	Keine Angabe möglich	„For this report, we have used a subset [...] of “normal” weight. Subjects were placed into a normal weight category if the visual assessment

			concluded that they were not severely under or overweight“
El-Mehallawi und Soliman	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	„As the optimal BMI of the selected age group (20± 35 years) varies between 19 and 25. Selection of subjects was limited to those people differing by less than 10% on either side of the stipulated average ratio“
Simpson und Henneberg	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	„ No subject with extreme obesity“
Domaracki und Stephan	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Smith und Throckmorton	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
De Greef et al.	24,33	<i>Keine Angabe möglich</i>	<20; 20 - 25; 25+
Niinimäki und Karttunen	24,81	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Bellmann et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	16 - 46
Sahni et al.	23,09	2,63	<i>Keine Angabe möglich</i>
Suazo Galdames et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	„normal body mass index (19.2 - 24.8 kg/m ²)“
Codinha	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<20; 20 - 25; >25
Shimofusa et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Tedeschi-Oliveira et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<20; 20 < BMI < 0,9; 25 < BMI < 29,9; >30
Utsuno et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Cavanagh und Steyn	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Chan et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<19; 19 - 25; 26 - 29; > 29
Kurkcuoglu et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	„Individuals with obesity were excluded from the study“
Chen et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Sipahioğlu et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<20; 21 - 25; >26
Panenková et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Negi et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Dong et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<20; 20 - 25; >25
Hwang et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	„In addition, the subjects who did not fall into normal body mass index range were excluded.“
Perlaza Ruiz	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<18,5; 18,6 - 24,9; 25,0 - 29,9; ≥30
Guyomarc’h et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<25; >25

ERGEBNISSE

de Almeida et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Peckmann et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	„As a result, facial tissue depths that fell within the normal and overweight/obese BMI-for-age, as defined by the CDC, were used to construct the facial tissue depth tables.“
Gungor et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Jeelani et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>
Baillie et al.	23,4	3,3	19,3 - 32,1 <20; 20 ≤ BMI < 25; 25 ≤ BMI < 30; > 30
Lodha et al.	<i>Keine Angabe möglich</i>	<i>Keine Angabe möglich</i>	≤15 - 18.5; 18 - 25; 25 - ≥40

¹ Literaturstellen: Manhein et al. untersuchten zusätzlich Kinder. Diese wurden innerhalb dieser Studie nicht berücksichtigt.

² Literaturstellen: gerundet auf maximal eine Nachkommastelle
Landmarks

Innerhalb der analysierten Studien der Literaturrecherche konnten 148 verschiedene Landmarks bzw. Bereiche ausgemacht werden, an/in denen Weichgewebedickenmessungen vorgenommen wurden. Davon befanden sich 42 innerhalb der Medianebene. 33 Punkte ließen sich genau definieren (Nr. 1 - 33), neun konnten innerhalb einer Ebene eindeutig beschrieben werden (Nr. 34 - 42) (Abbildung 34 und Abbildung 35, sowie Tabelle 11 im Anhang).

106 Landmarks befanden sich bilateral. 67 Messpunkte ließen sich genau definieren (Nr. 43 - 109), 17 konnten in einer Ebene klar definiert werden (Nr. 110 - 126) und für 22 wurde ein Bereich festgelegt in dem die Messung wahrscheinlich vorgenommen wurde (Nummer 127 - 148) (Abbildung 36 und Abbildung 37, sowie Tabelle 12 im Anhang).

4.2.2. Messergebnisse zur Weichgewebedicke der Literatur

Die Mittelwerte der Landmarks der Medianebene aus der Literatur nahmen Werte zwischen 1,76mm *Rhinion* (9) (Chan et al., 2011) und 18,12mm *Infradentale* (23) (Jeelani et al., 2015) an. Von den 39 Studien wurde die Weichgewebedicke am häufigsten an der Landmark *Pogonion* (27) gemessen (23 Studien) (Tabelle 7).

Tabelle 7: Gewichtete Mittelwerte der einzelnen Studien der Literaturrecherche an den Landmarks in der Medianebene

	Gewichteter Mittelwert [mm] ¹								
	<i>Glabella</i> (5)	<i>Nasion</i> (6)	<i>Rhinion</i> (9)	<i>Mid-Philtrum</i> (14)	<i>Prosthion</i> (16)	<i>Infradentale</i> (23)	<i>Supramentale</i> (25)	<i>Pogonion</i> (27)	<i>Menton</i> (30)
His	-	-	-	-	-	-	-	-	5,68
Sutton	<i>Es wurden keine Landmarks in der Medianebene vermessen</i>								
Sarnäs und Solow	-	-	-	-	-	-	-	10,68	-
Robetti et al.	3,98	4,12	-	-	-	-	8,64	7,73	-
Michelow und Guyuron	-	-	-	-	-	-	12,53	11,74	-
Aulsebrook et al.	5,76	7,03	3,08	-	-	-	12,87	11,66	7,26
Phillips und Smuts	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>								
Kasai	-	-	-	-	12,8	-	-	11,0	-
Manhein et al.	-	5,85	1,83	9,72	-	-	11,17	10,49	-
El-Mehallawi und Soliman	<i>Es wurden keine Landmarks in der Medianebene vermessen</i>								
Simpson und Henneberg	6,19 ^a	5,91 ^a	2,79 ^a	9,08 ^a	7,53 ^a	8,44 ^a	-	8,53 ^a	-
Domaracki und Stephan	6,43	6,49	3,17	-	-	-	10,94	12,24	-
Smith und Throckmorton	-	6,36	-	-	-	-	12,04	-	-
De Greef et al.	5,22	6,39	2,80	9,91	9,98	11,48	10,27	10,32	6,41
Niinimäki und Karttunen	5,49 ^b	7,33 ^b	2,48 ^b	13,17 ^b	13,15 ^b	14,55 ^b	10,60 ^b	11,82 ^b	8,51 ^b
Bellmann et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>								
Sahni et al.	5,21	5,82	2,05	11,35	-	-	8,74	-	7,13
Suazo Galdames et al.	5,00	5,59	-	-	-	-	10,40	10,49	-
Codinha	6,27	5,99	3,10	11,03	-	-	10,36	11,48	7,67
Shimofusa et al.	3,83	4,38	2,42	-	-	-	9,81	7,68	-
Tedeschi-Oliveira et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>								
Utsuno et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>								
Cavanagh und Steyn	6,3	6,0	2,7	-	-	-	12,2	10,6	6,7
Chan et al.	-	3,49	1,76	6,92	-	-	9,39	7,88	-
Kurkuoglu et al.	5,90	5,12	2,29	-	14,56	15,82	11,77	9,11	9,75
Chen et al.	5,41	-	2,58	9,51	-	-	-	9,41	-
Sipahioğlu et al.	6,69	7,72	4,10	12,26	-	-	-	12,13	7,12
Panenková et al.	5,70	7,45	2,30	-	-	-	-	-	-
Negi et al.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dong et al.	4,62	-	2,52	-	11,93	-	9,77	9,54	6,61
Hwang et al.	5,45	5,90	2,25	11,6	10,8	12,3	10,9	12,15	7,45
Perlaza Ruiz	-	6,87	2,46	-	11,8	11,81	12,57	12,17	-
Guyomarc'h et al.	6,50	8,20	3,00	12,90	14,10	16,80	12,70	11,80	9,50
de Almeida et al.	4,44	4,88	5,27	7,41	-	-	9,46	10,30	-
Peckmann et al.	-	8,08	5,65	9,87	-	-	11,09	14,94	-
Gungor et al.	5,50	6,03	2,20	-	14,90	15,96	10,84	10,13	7,44
Jeelani et al.	5,61	4,77	3,43	-	16,07	18,12	12,83	11,33	7,60
Baillie et al.	5,3	-	-	-	10,35	-	-	-	8,10

ERGEBNISSE

Lodha et al.

Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich

¹ Literaturstellen: gerundet auf die zweite Nachkommastelle

^a Literaturstellen: Mittelwert für Teilgruppe „fully embalmed“, der für Metaanalyse verwendet wurde

^b Literaturstellen: Mittelwert für Teilgruppe „normal-weight“, der für die Metaanalyse verwendet wurde

Bilateral betrug die Weichgewebedicke innerhalb der Studien zwischen 4,49mm an *Mid – Infraorbital* (63) (Sahni et al., 2008) und 27,7mm an *Below Ectomolare₂* (98) (Guyomarc'h et al., 2013). Die Messpunkte *Inferior Malar* (81) und *Mid-Mandibular-Border* (107) fanden sich nur jeweils in einer Studie (Tabelle 8).

Tabelle 8: Gewichtete Mittelwerte der einzelnen Studien der Literaturrecherche an den bilateral gelegenen Landmarks

	Gewichteter Mittelwert [mm] ¹													
	<i>Mid-Supraorbitale</i> (49)	<i>Mid-Infraorbital</i> (63)	<i>Zygion</i> (69)	<i>Lateral Orbit</i> (70)	<i>Inferior Malar</i> (81)	<i>Supracanine</i> (82)	<i>Above Ectomolare²</i> (87)	<i>Occlusal Line</i> (89)	<i>Mid-Ramus</i> (92)	<i>Below Ectomolare₂</i> (98)	<i>Gonion</i> (103)	<i>Mid-Mandibular Border</i> (107)	<i>Infracanine</i> (144)	
His	-	4,67	-	-	-	-	-	-	16,4 1	-	-	-	-	
Sutton	-	-	13,9 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sarnäs und Solow	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>													
Robetti et al.	-	5,92	6,75	7,45	-	-	-	-	-	-	9,90	-	-	
Michelow und Guyuron	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>													
Aulsebrook et al.	-	-	7,02	-	-	9,52	-	-	-	-	-	-	-	
Phillips und Smuts	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>													
Kasai	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>													
Manhein et al.	-	-	-	-	-	9,94	-	-	-	23,0 8	17,7 5	-	10,7 1	
Ei-Mehallawi und Soliman	-	-	6,61	-	-	6,18	-	-	-	-	-	-	-	
Simpson und Henneberg	-	-	-	-	-	8,08 ^b	-	-	18,9 8 ^b	-	15,7 1 ^b	-	-	
Domaracki und Stephan	8,7 2	10,7 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Smith und Throckmorton	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>													
De Greef et al.	-	-	6,96	-	-	9,35	-	-	-	-	15,5 0	-	-	
Niinimäki und Karttunen	8,9 6 ^c	-	8,31 c	8,89 c	-	11,0 2 ^c	-	21,6 4 ^c	20,4 1 ^c	-	-	-	9,99 c	
Bellmann et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>													

ERGEBNISSE

Sahni et al.	6,7 8	4,49	-	-	-	-	-	-	-	-	15,3 7	-	-
Suazo Galdames et al.	6,1 4	5,21	7,28		-	-	-	-	-	-	8,78	-	-
Codinha	-	8,75	9,39	11,4 9	-	-	24,8 4	21,6 3	-	13,9 3	15,9 7	-	-
Shimofusa et al.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tedeschi-Oliveira et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>												
Utsuno et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>												
Cavanagh und Steyn	-	-	8,40		-	10,2 0	-	21,6 0	-	-	-	-	-
Chan et al.	-	-	-	-	-	7,72	-	-	-	20,6 8	11,4 0	-	8,53
Kurkcuoglu et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>												
Chen et al.	6,0 2	5,40	7,57		-	-	-	-	-	-	15,0 4	-	-
Sipahioğlu et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>												
Panenková et al.	-	-	-	-	-	-	-	24,7 2	-	-	-	-	-
Negi et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>												
Dong et al.	6,5 5	6,54	5,39	9,85	-	-	25,3 9	17,9 7	-	-	12,7 8	-	-
Hwang et al.	-	-	8,40		-	10,6 5	-	-	-	-	13,6 0	-	-
Perlaza Ruiz	6,4 5	5,25	8,22	8,27	16,0 3	-	-	22,6 6	-	-	-	-	-
Guyomarc'h et al.	-	-	10,0 0	-	-	-	34,5	-	22,7 0	27,7	18,5 0	14,6 0	-
de Almeida et al.	6,0 4	6,09	12,9 5	-	12,8 8	-	-	14,2 1	-	-	12,1 8	-	11,6 8
Peckmann et al.	-	-	-	-	-	13,2 0	-	-	-	20,3 8	8,59	-	14,4 5
Gungor et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>												
Jeelani et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>												
Baillie et al.	-	-	8,48	-	-	-	-	-	-	-	7,65	-	-
Lodha et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>												

¹ Literaturstellen: gerundet auf die zweite Nachkommastelle

^a Literaturstellen: Mittelwert der gesamten Studienteilnehmer

^b Literaturstellen: Mittelwert für Teilgruppe „fully embalmed“, der für die Metaanalyse verwendet wurde

^c Literaturstellen: Mittelwert für Teilgruppe „normal-weight“, der für die Metaanalyse verwendet wurde

Die Standardabweichung innerhalb der Medianebene variierte innerhalb der Literatur zwischen 0,11mm an *Rhinion* (9) (Sahni et al., 2008) und 7,89mm an *Prosthion* (16) (Niinimäki and Karttunen, 2007) (Tabelle 9).

Tabelle 9: Gewichtete Standardabweichungen der einzelnen Studien der Literaturrecherche an den Landmarks der Medianebene

	Gewichtete Standardabweichung [mm] ¹								
	Glabella (5)	Nasion (6)	Rhinion (9)	Mid-Philtrum (14)	Prosthion (16)	Infradentale (23)	Supramentale (25)	Pogonion (27)	Menton (30)
His	-	-	-	-	-	-	-	-	1,39
Sutton	<i>Es wurden keine Landmarks in der Medianebene vermessen</i>								
Sarnäs und Solow	-	-	-	-	-	-	-	1,84	-
Robetti et al.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Michelow und Guyuron	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aulsebrook et al.	0,88	1,11	0,58	-	-	-	1,65	1,79	1,98
Phillips und Smuts	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>								
Kasai	-	-	-	-	1,40	-	-	2,30	-
Manhein et al.	-	1,24	0,59	2,50	-	-	2,08	2,66	-
Ei-Mehallawi und Soliman	<i>Es wurden keine Landmarks in der Medianebene vermessen</i>								
Simpson und Henneberg	1,58	1,44	1,02	2,97	2,39	2,33	-	2,70	-
Domaracki und Stephan	2,14	1,91	1,25	-	-	-	2,79	3,94	-
Smith und Throckmorton	-	1,66	-	-	-	-	0,78	-	-
De Greef et al.	0,92	1,37	0,76	1,91	2,03	2,23	1,44	2,04	1,69
Niinimäki und Karttunen	2,90	4,29	1,17	7,72	7,89	7,44	6,14	7,35	4,46
Bellmann et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>								
Sahni et al.	0,70	0,70	0,11	1,48	-	-	1,07	-	1,21
Suazo Galdames et al.	0,78	0,85	-	-	-	-	1,56	1,46	-
Codinha	1,97	1,51	1,28	2,89	-	-	2,15	2,63	2,75
Shimofusa et al.	1,28	1,44	1,31	-	-	-	2,16	2,24	-
Tedeschi-Oliveira et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>								
Utsuno et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>								
Cavanagh und Steyn	1,29	1,55	0,98	-	-	-	1,99	1,91	1,46
Chan et al.	-	1,14	0,57	1,55	-	-	1,57	1,68	-
Kurkcuoglu et al.	1,17	1,59	0,54	-	2,40	2,39	2,10	2,02	2,02
Chen et al.	0,71	-	0,59	1,18	-	-	-	1,62	-
Sipahioğlu et al.	1,42	1,66	1,05	2,75	-	-	-	2,37	2,44
Panenková et al.	1,17	1,46	0,68	-	-	-	-	-	-
Negi et al.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dong et al.	0,92	-	0,70	-	2,34	-	1,66	2,24	1,72
Hwang et al.	0,67	1,03	0,76	1,55	2,06	1,88	1,30	1,61	1,59
Perlaza Ruiz	-	1,13	0,46	-	1,75	1,28	1,47	1,65	-
Guyomarc'h et al.	1,20	1,60	0,90	2,80	2,50	3,10	2,30	2,10	3,30
de Almeida et al.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peckmann et al.	-	1,34	1,60	2,17	-	-	1,96	3,00	-
Gungor et al.	0,87	1,12	0,54	-	2,06	1,57	1,26	1,70	1,47
Jeelani et al.	0,87	1,18	0,69	-	3,21	3,64	2,07	1,98	1,84
Baillie et al.	0,74	-	-	-	1,19	-	-	-	1,50
Lodha et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>								

¹ Literaturstellen: gerundet auf die zweite Nachkommastelle

² Literaturstellen: es wurden nur Standardabweichungen für einen Teil der Probanden angegeben

Bilateral fanden sich Standardabweichungen zwischen mm 0,44mm *Mid-Infraorbital* (63) (Sahni et al., 2008) und 8,19mm an *Gonion* (103) (Simpson and Henneberg, 2002) (Tabelle 10)

Tabelle 10: Gewichtete Standardabweichungen der einzelnen Studien der Literaturrecherche an den bilateral gelegenen Landmarks

	Gewichtete Standardabweichung [mm] ¹												
	<i>Mid-Supraorbitale</i> (49)	<i>Mid-Infraorbital</i> (63)	<i>Zygion</i> (69)	<i>Lateral Orbit</i> (70)	<i>Inferior Malar</i> (81)	<i>Supracanine</i> (82)	<i>Above Ectomolare²</i> (87)	<i>Occlusal Line</i> (89)	<i>Mid-Ramus</i> (92)	<i>Below Ectomolare₂</i> (98)	<i>Gonion</i> (103)	<i>Mid-Mandibular Border</i> (107)	<i>Infra Canine</i> (144)
His	-	1,00	-	-	-	-	-	-	3,08	-	-	-	-
Sutton	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sarnäs und Solow	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>												
Robetti et al.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Michelow und Guyuron	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>												
Aulsebrook et al.	-	-	1,05	-	-	1,44	-	-	-	-	-	-	-
Phillips und Smuts	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>												
Kasai	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>												
Manhein et al.	-	-	-	-	-	2,52	-	-	-	4,82	4,38	-	2,65
El-Mehallawi und Soliman	-	-	0,71	-	-	0,76	-	-	-	-	-	-	-
Simpson und Henneberg	-	-	-	-	-	2,51	-	-	4,42	-	8,19	-	-
Domaracki und Stephan	2,79	4,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Smith und Throckmorton	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>												
De Greef et al.	-	-	1,95	-	-	2,34	-	-	-	-	3,36	-	-
Niinimäki und Karttunen	5,09	-	3,82	4,13	-	5,95	-	7,65	9,34	-	-	-	6,14

ERGEBNISSE

Bellmann et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>													
Sahni et al.	0,77	0,44	-	-	-	-	-	-	-	-	2,13	-	-	
Suazo Galdamas et al.	1,56	1,47	2,50	-	-	-	-	-	-	-	2,96	-	-	
Codinha	-	3,13	3,98	2,81	-	-	5,89	4,87	-	4,72	6,12	-	-	
Shimofusa et al.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tedeschi-Oliveira et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>													
Utsuno et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>													
Cavanagh und Steyn	-	-	2,77	-	-	1,67	-	3,93	-	-	-	-	-	
Chan et al.	-	-	-	-	-	1,91	-	-	-	3,87	3,09	-	2,09	
Kurkcuglu et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>													
Chen et al.	0,99	1,09	1,84	-	-	-	-	-	-	-	3,73	-	-	
Sipahioğlu et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>													
Panenková et al.	-	-	-	-	-	-	-	4,08	-	-	-	-	-	
Negi et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>													
Dong et al.	1,32	1,87	1,72	2,33	-	-	4,95	4,09	-	-	3,84	-	-	
Hwang et al.	-	-	1,58	-	-	1,32	-	-	-	-	3,32	-	-	
Perlaza Ruiz	1,19	1,11	1,59	1,40	1,97	-	-	2,50	-	-	-	-	-	
Guyomarc'h et al.	-	-	2,80	-	-	-	5,0	-	4,80	5,3	6,9	4,30	-	
de Almeida et al.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Peckmann et al.	-	-	-	-	-	4,10	-	-	-	7,69	4,13	-	2,66	
Gungor et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>													
Jeelani et al.	<i>Es wurden keine bilateralen Landmarks vermessen</i>													
Baillie et al.	-	-	1,48	-	-	-	-	-	-	-	1,96	-	-	
Lodha et al.	<i>Kein Ausschluss von Probanden < 18 Jahren möglich</i>													

¹ Literaturstellen: gerundet auf die zweite Nachkommastelle

4.2.3. Metaanalyse

Bei der Betrachtung aller Forest Plots lag der Punktschätzer der Gesamtschätzung mindestens innerhalb von weniger als 50% der 95% - Konfidenzintervalle der analysierten Studien. Die Lage ihrer Mittelwerte und die Größe ihrer Intervalle variierten untereinander deutlich. (Abbildung 10 bis Abbildung 31).

An der Landmark *Glabella* (5) beträgt der gepoolte Mittelwert 5,48mm.

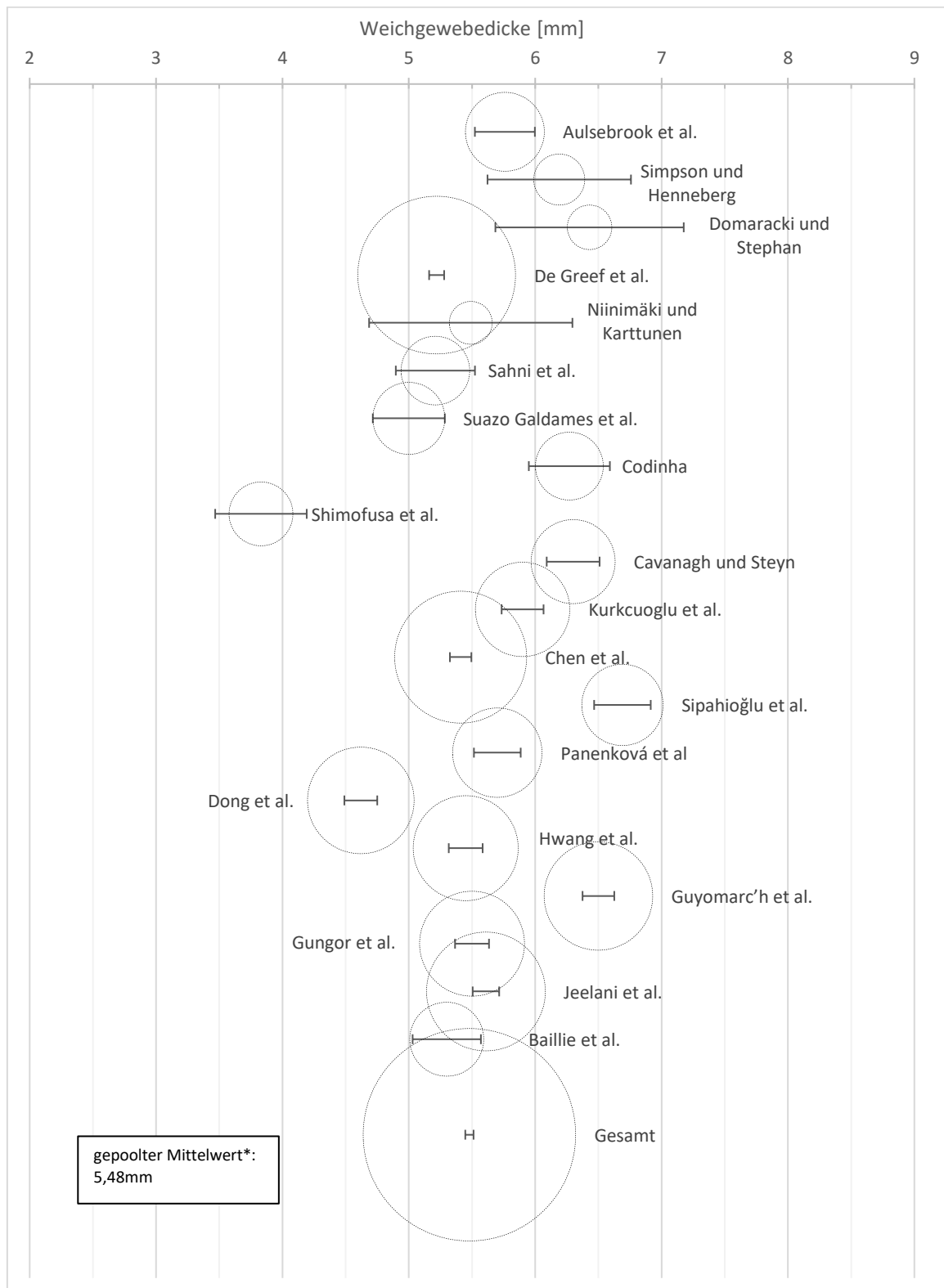


Abbildung 10: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 5 „Glabella“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 7).
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Nasion* (6) beträgt der gepoolte Mittelwert 6,17mm.

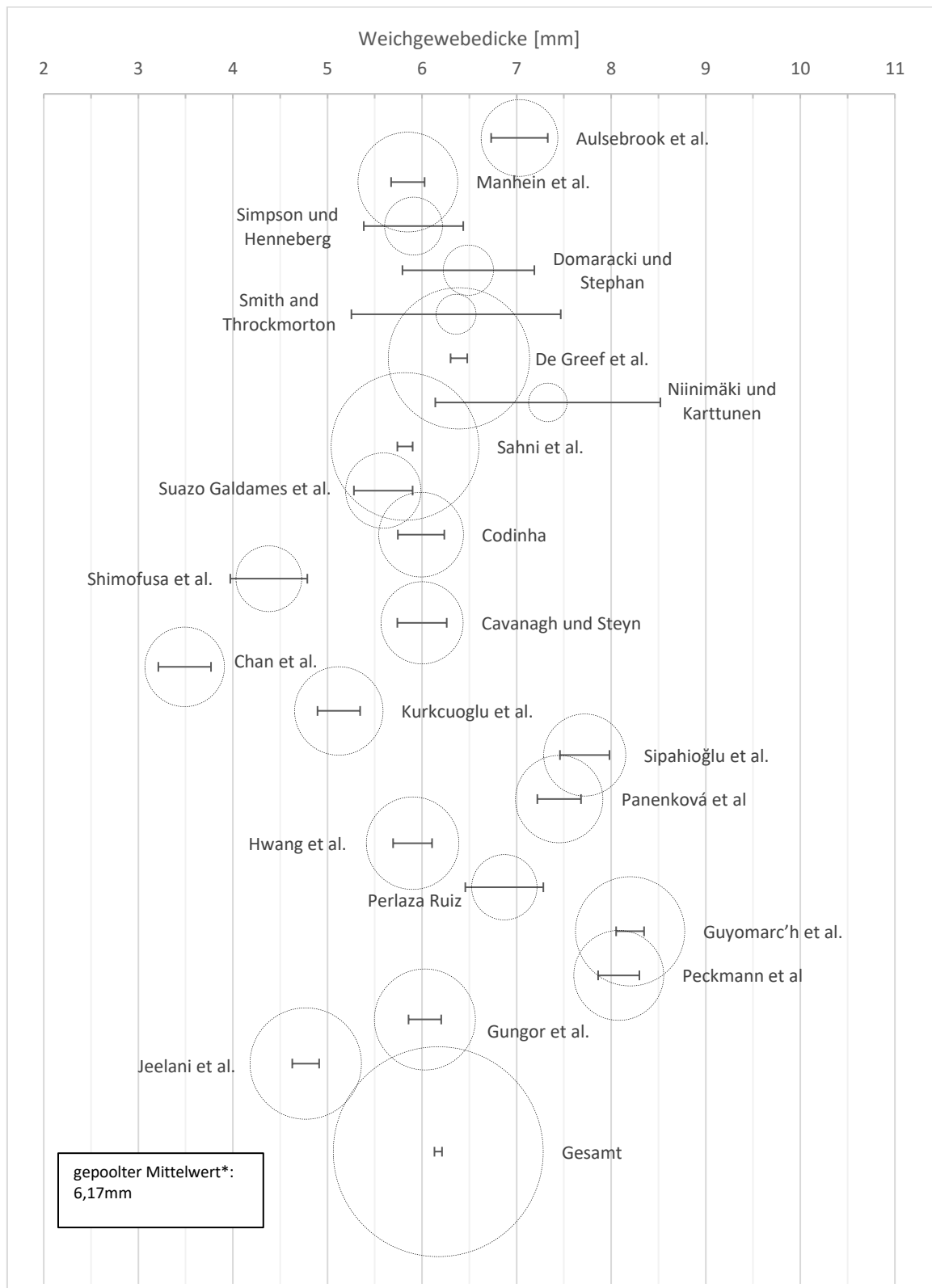


Abbildung 11: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 6 „Nasion“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 7)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Rhinion* (9) beträgt der gepoolte Mittelwert 2,19mm.

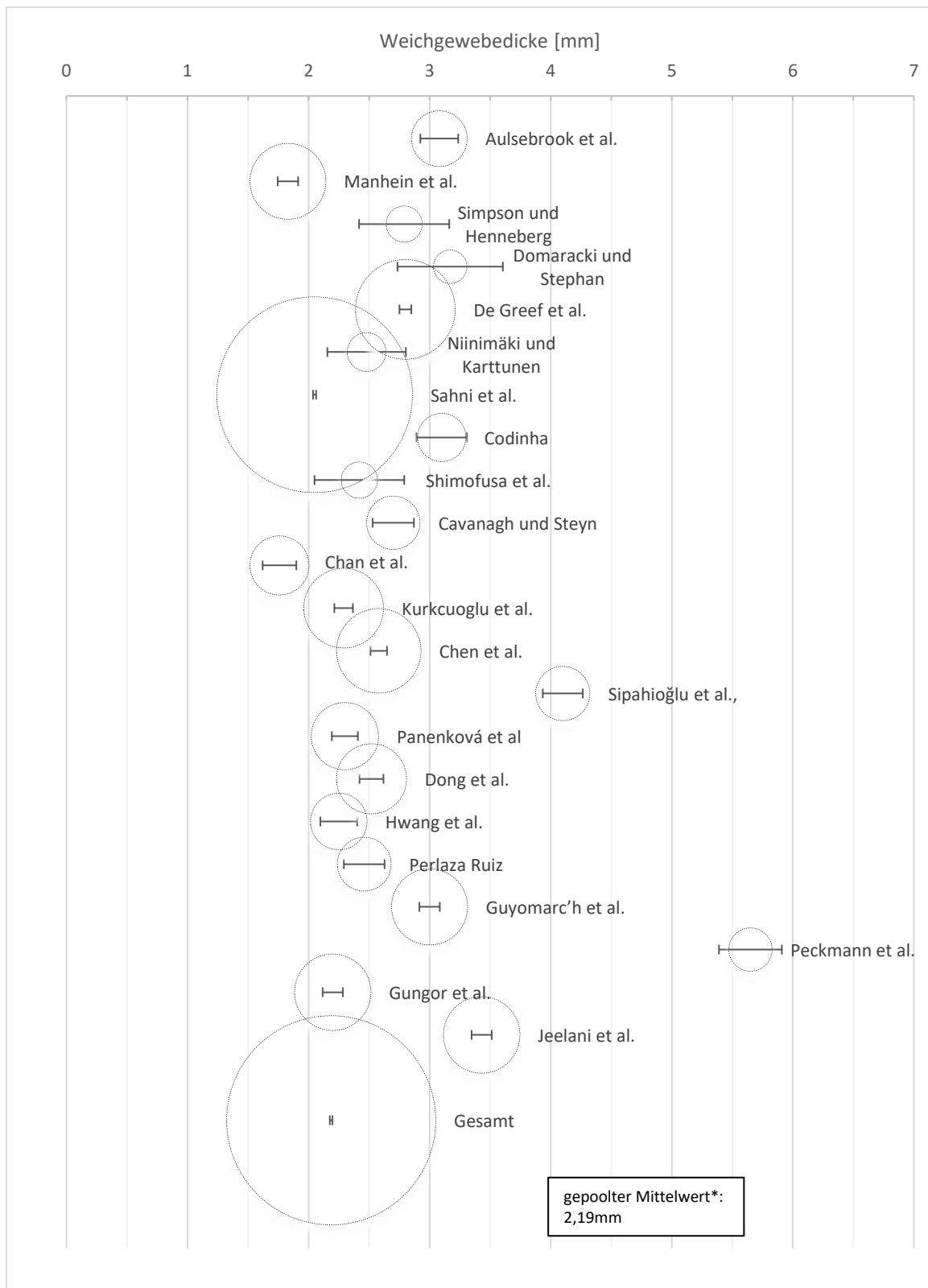


Abbildung 12: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 9 „Rhinion“ Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95% Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 7) Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Mid-Philtrum* (14) beträgt der gepoolte Mittelwert 10,26mm.

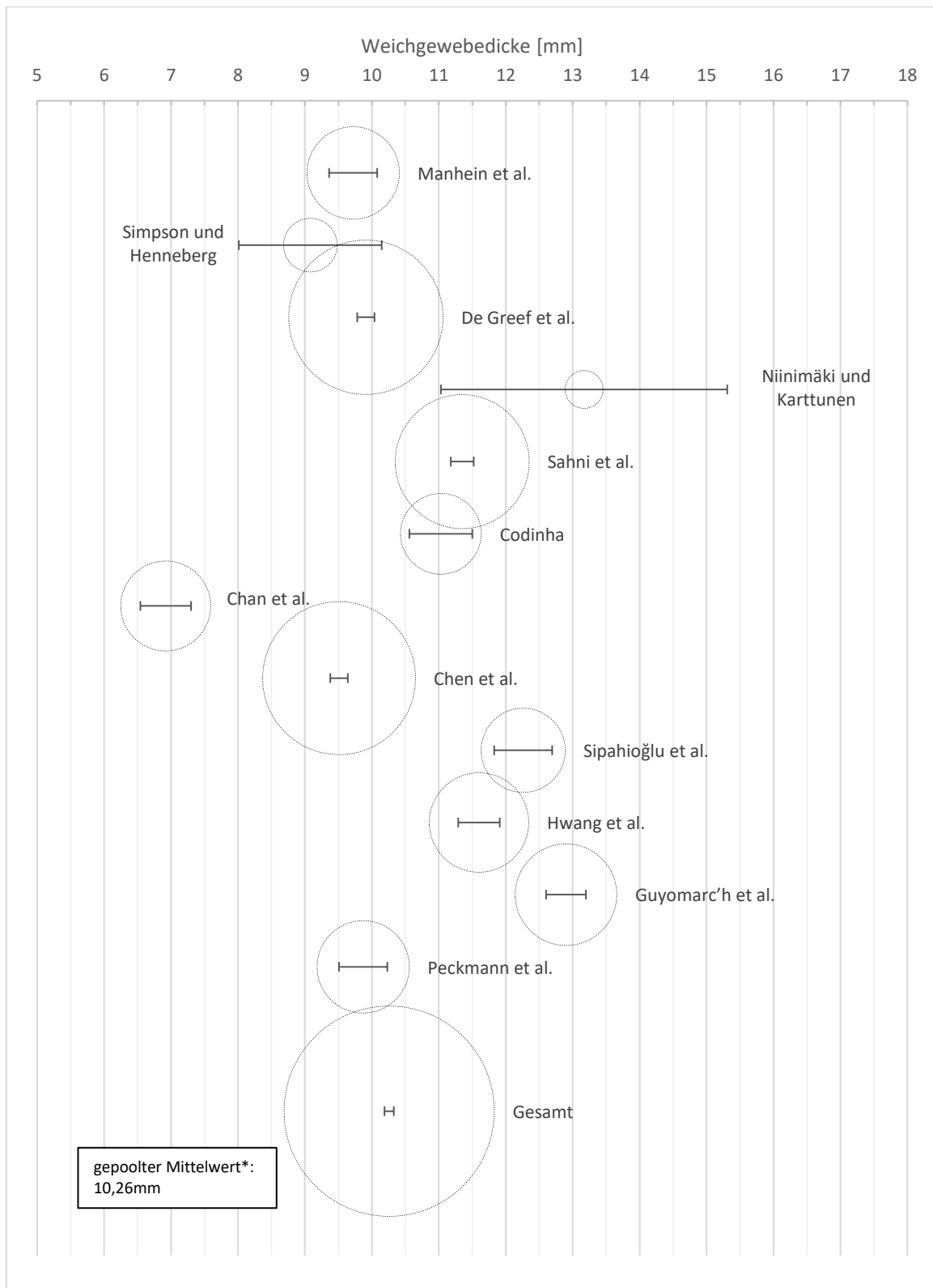


Abbildung 13: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 14 „Mid-Philtrum“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 7)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Prosthion* (16) beträgt der gepoolte Mittelwert 11,60mm.

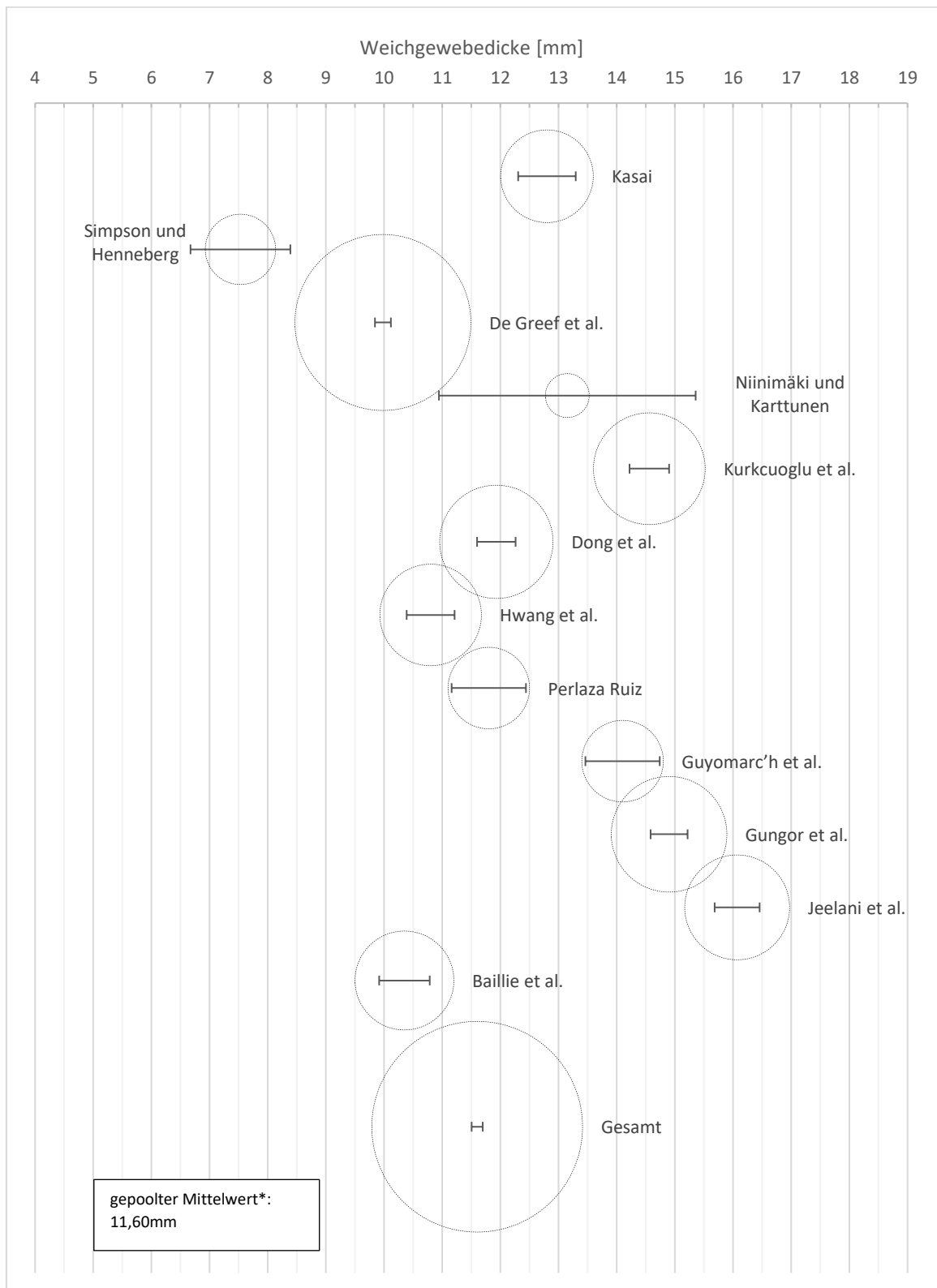


Abbildung 14: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 16 „Prosthion“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 7)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Infradentale* (23) beträgt der gepoolte Mittelwert 13,44mm.

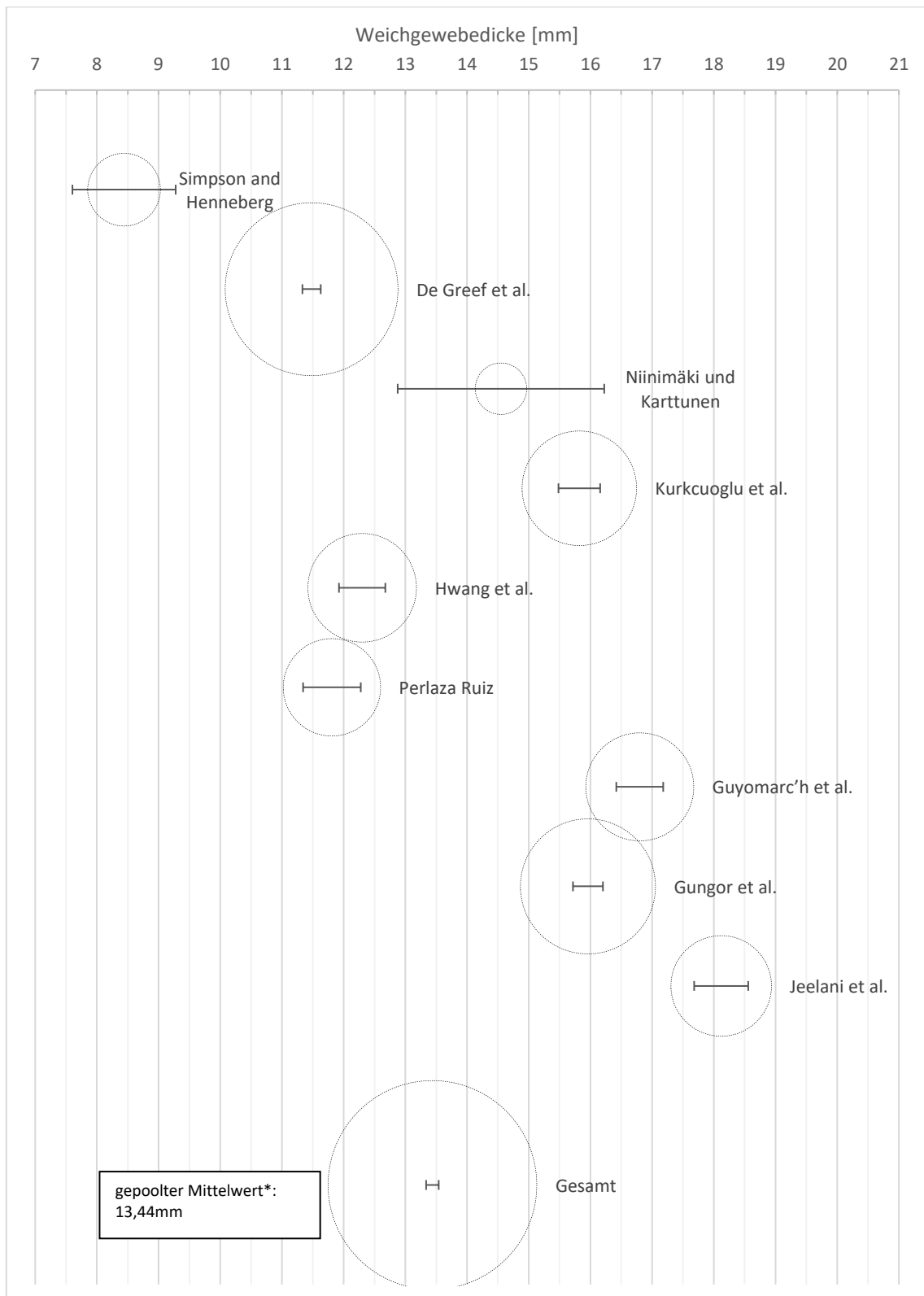


Abbildung 15: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 23 „Infradentale“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 7)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Supramentale* (25) beträgt der gepoolte Mittelwert 10,13mm.

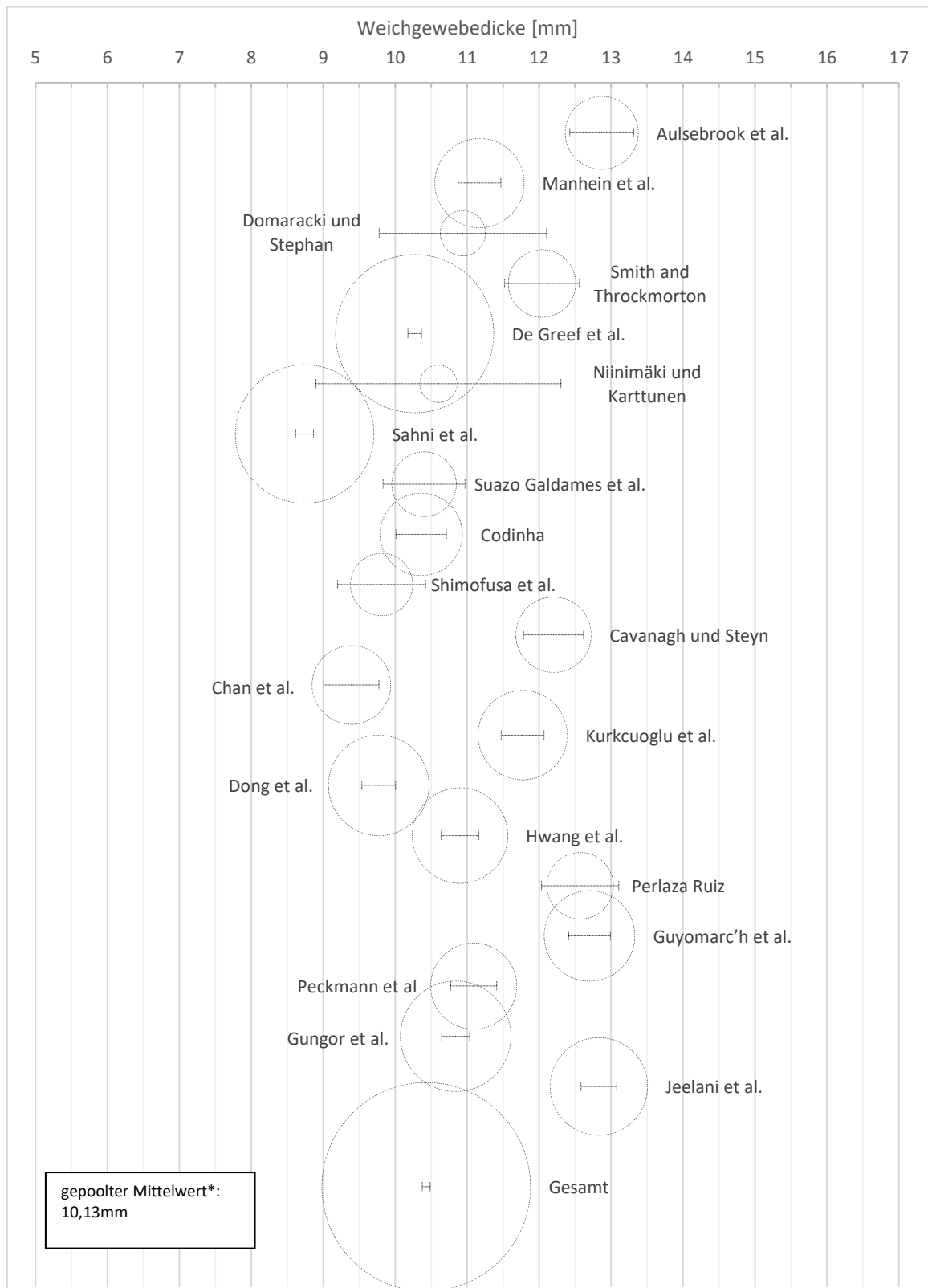


Abbildung 16: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 25 „Supramentale“ Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95% Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 7) Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Pogonion* (27) beträgt der gepoolte Mittelwert 10,50mm.

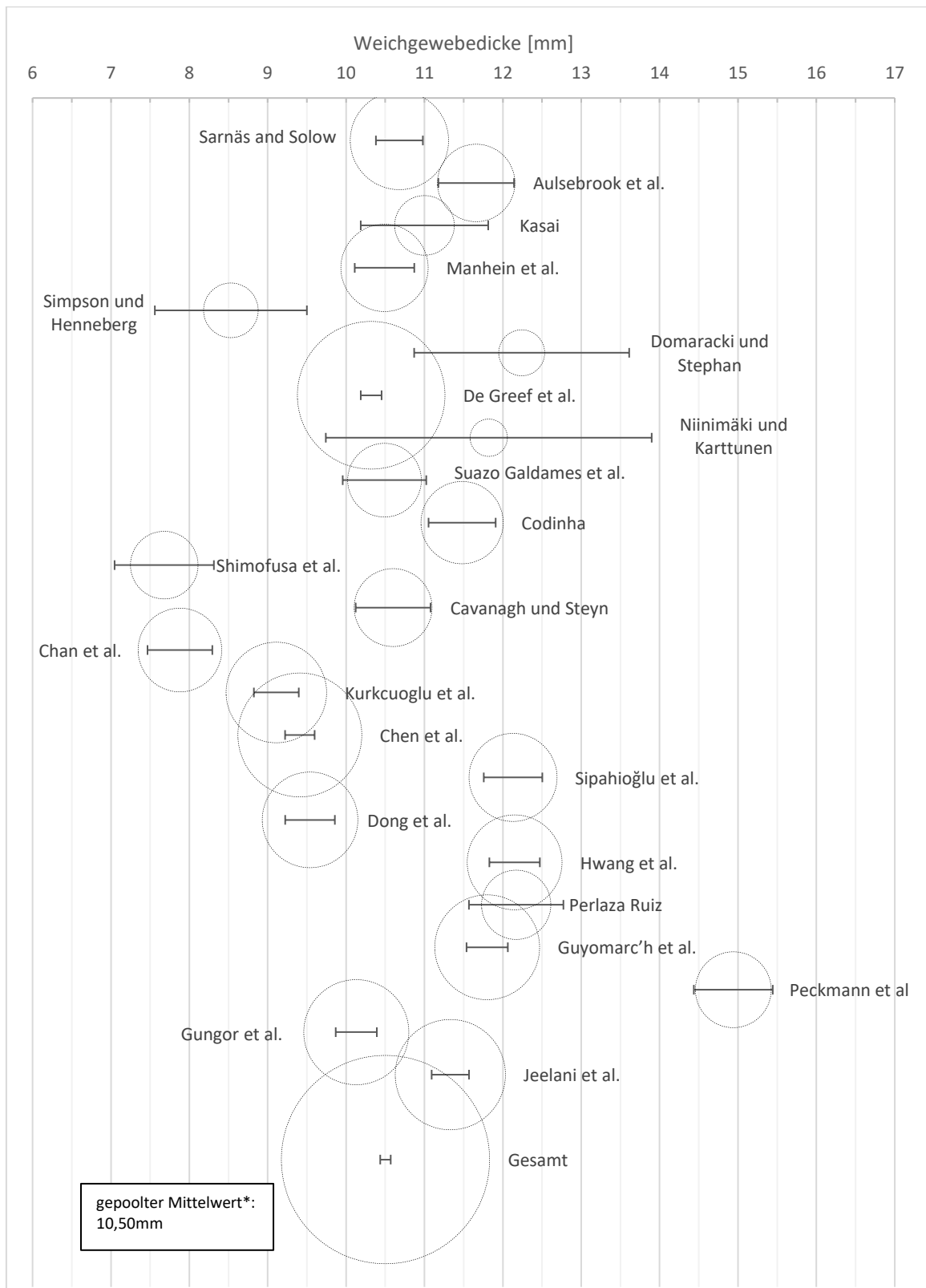


Abbildung 17: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 27 „Pogonion“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 7)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Menton* (30) beträgt der gepoolte Mittelwert 7,10mm.

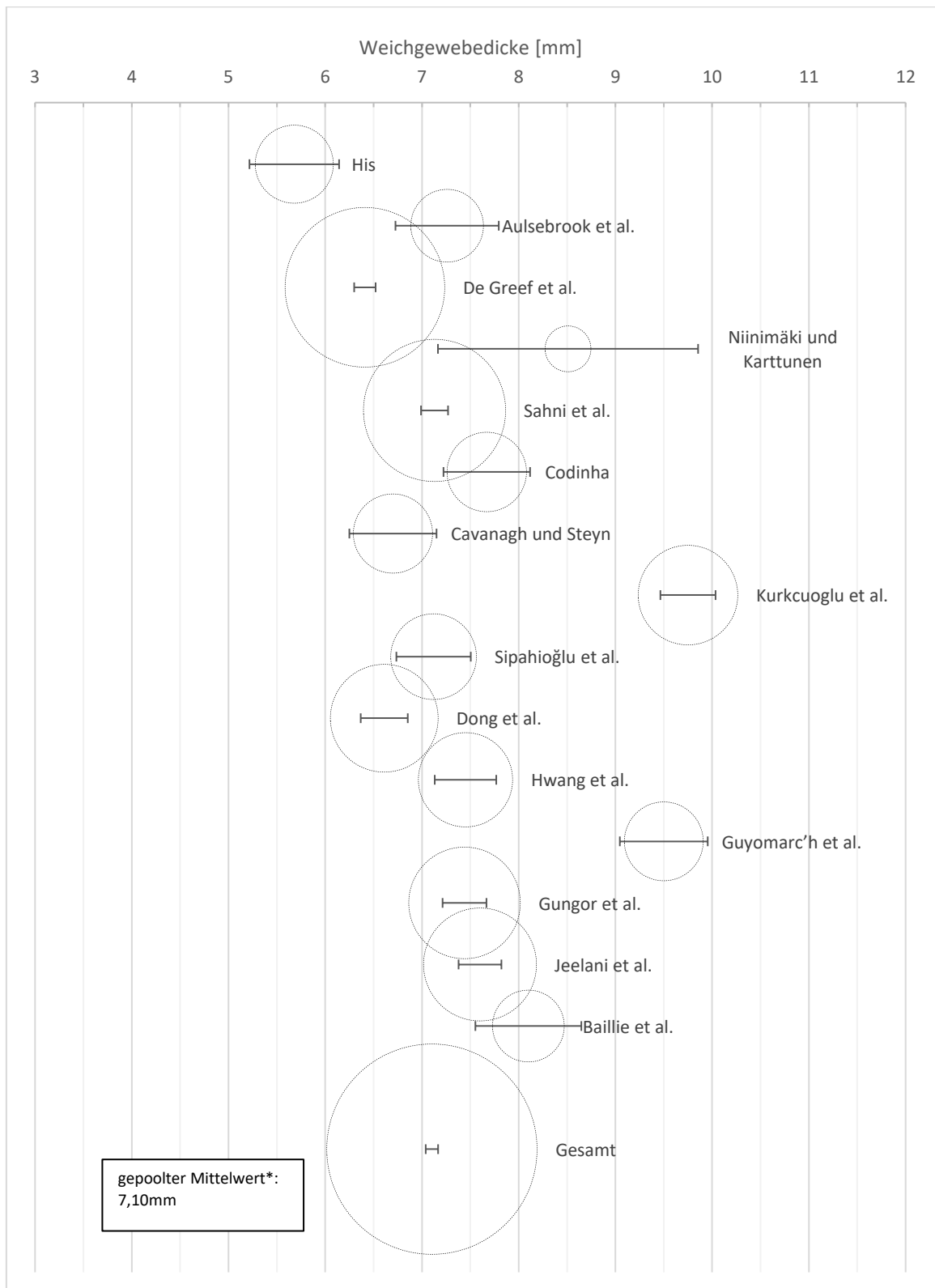


Abbildung 18: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 30 „Menton“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahre; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 7)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Mid-Supraorbital* (49) beträgt der gepoolte Mittelwert 6,50mm.

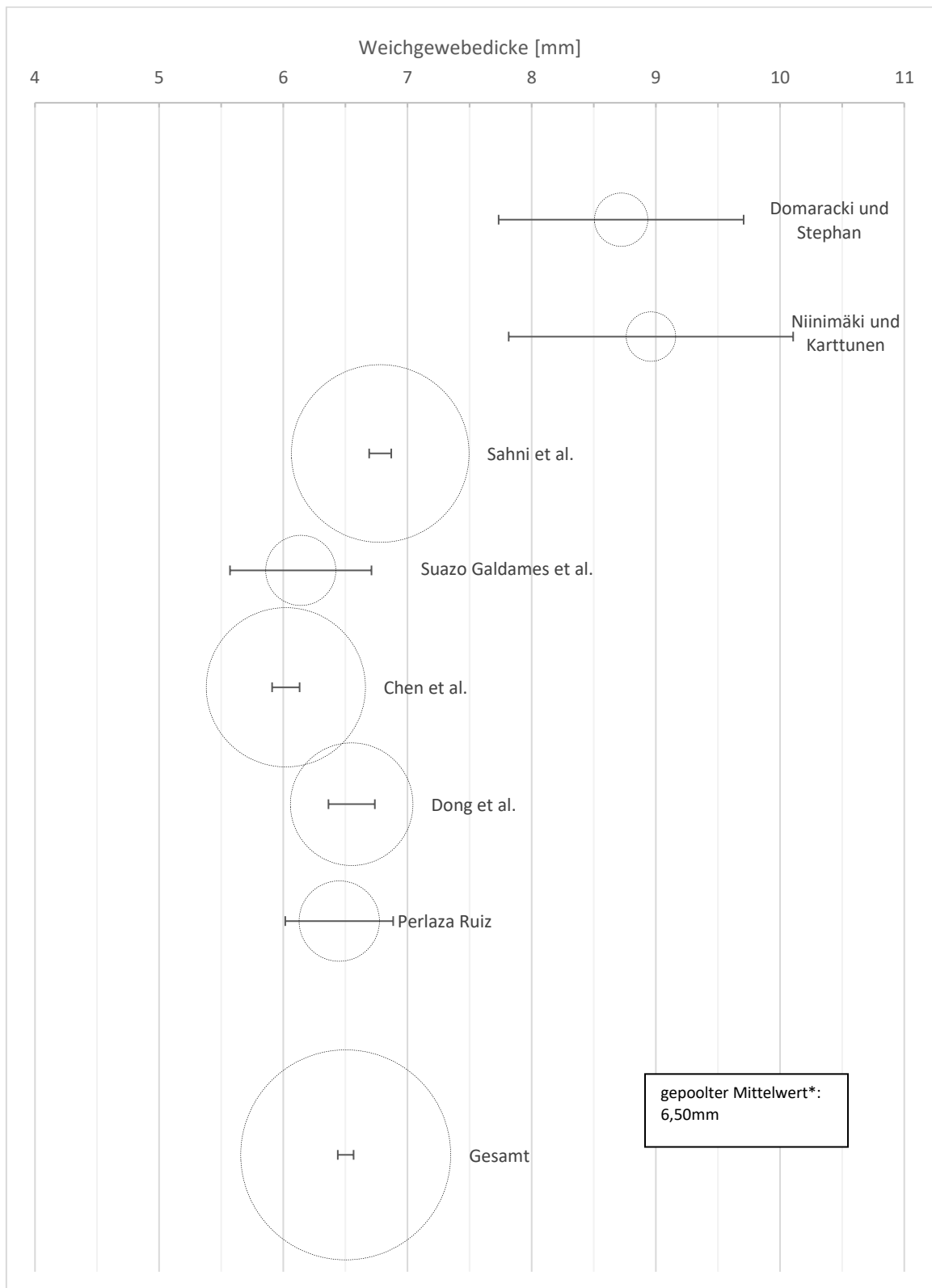


Abbildung 19: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 49 „Mid-Supraorbitale“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Mid-Infraorbitale* (63) beträgt der gepoolte Mittelwert 4,73mm.

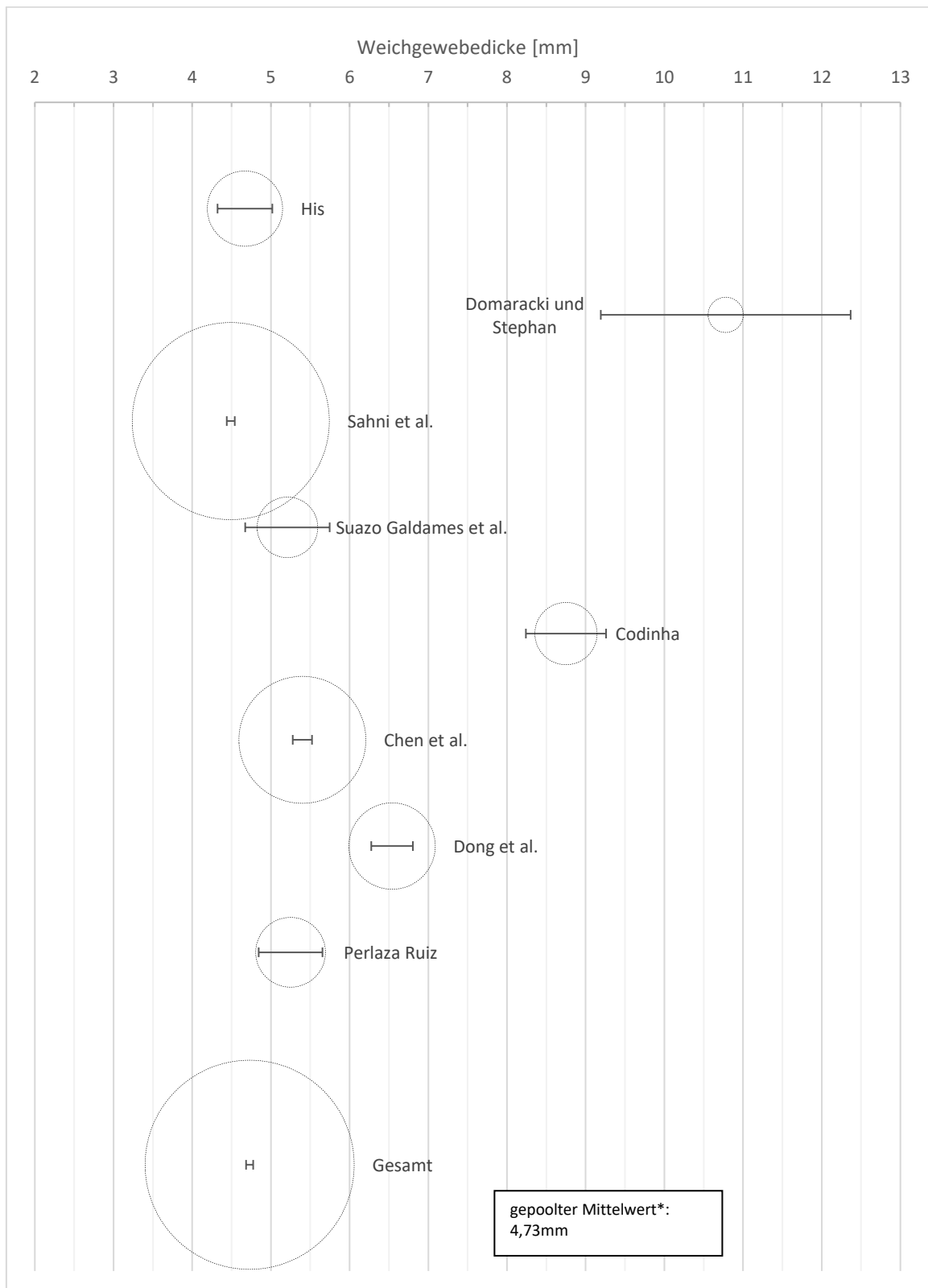


Abbildung 20: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 63 „Mid-Infraorbitale“ Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95% Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8) Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Zygion* (69) beträgt der gepoolte Mittelwert 7,05mm.

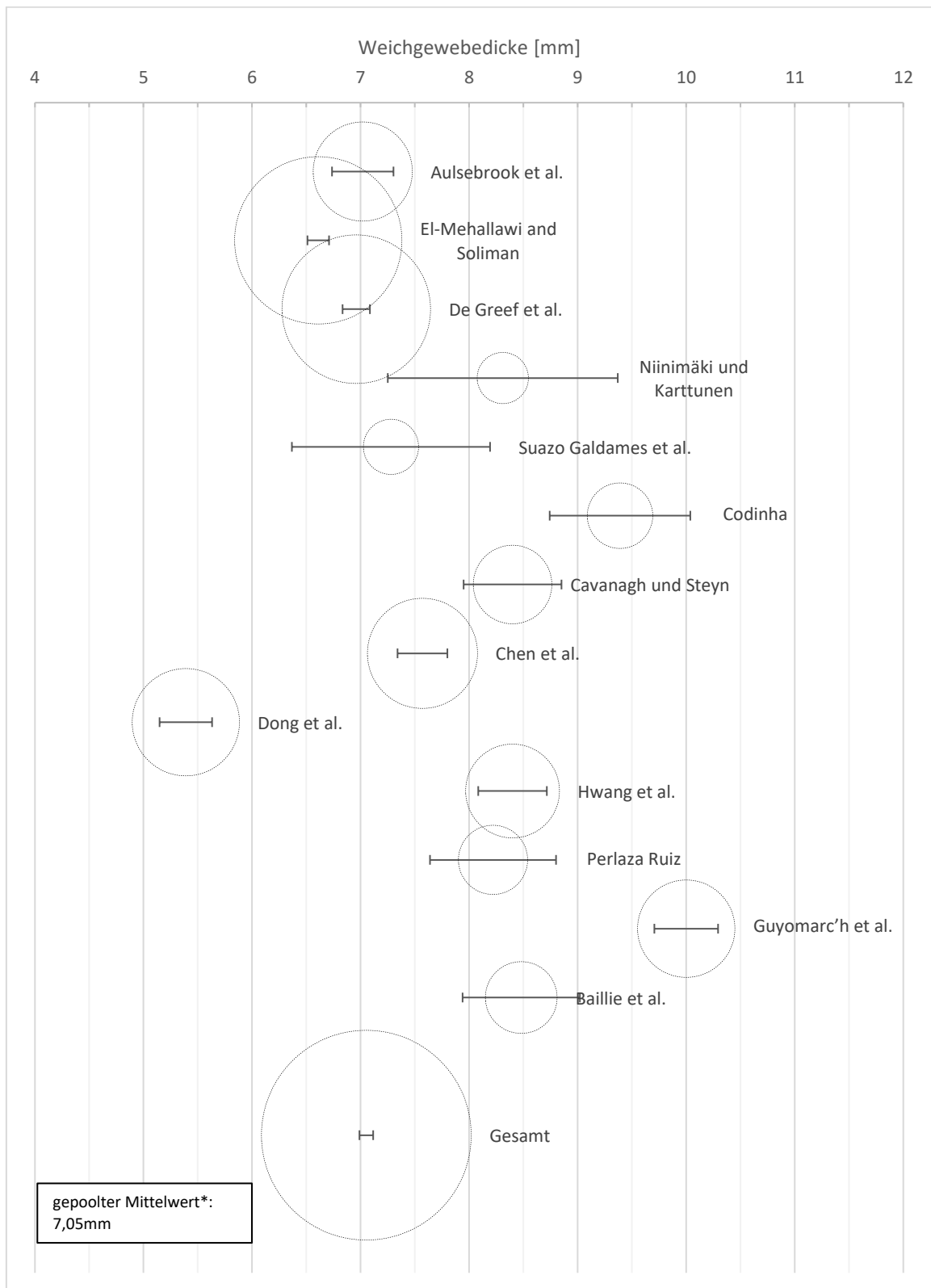


Abbildung 21: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 69 „Zygion“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Lateral Orbit* (70) beträgt der gepoolte Mittelwert 9,89mm.

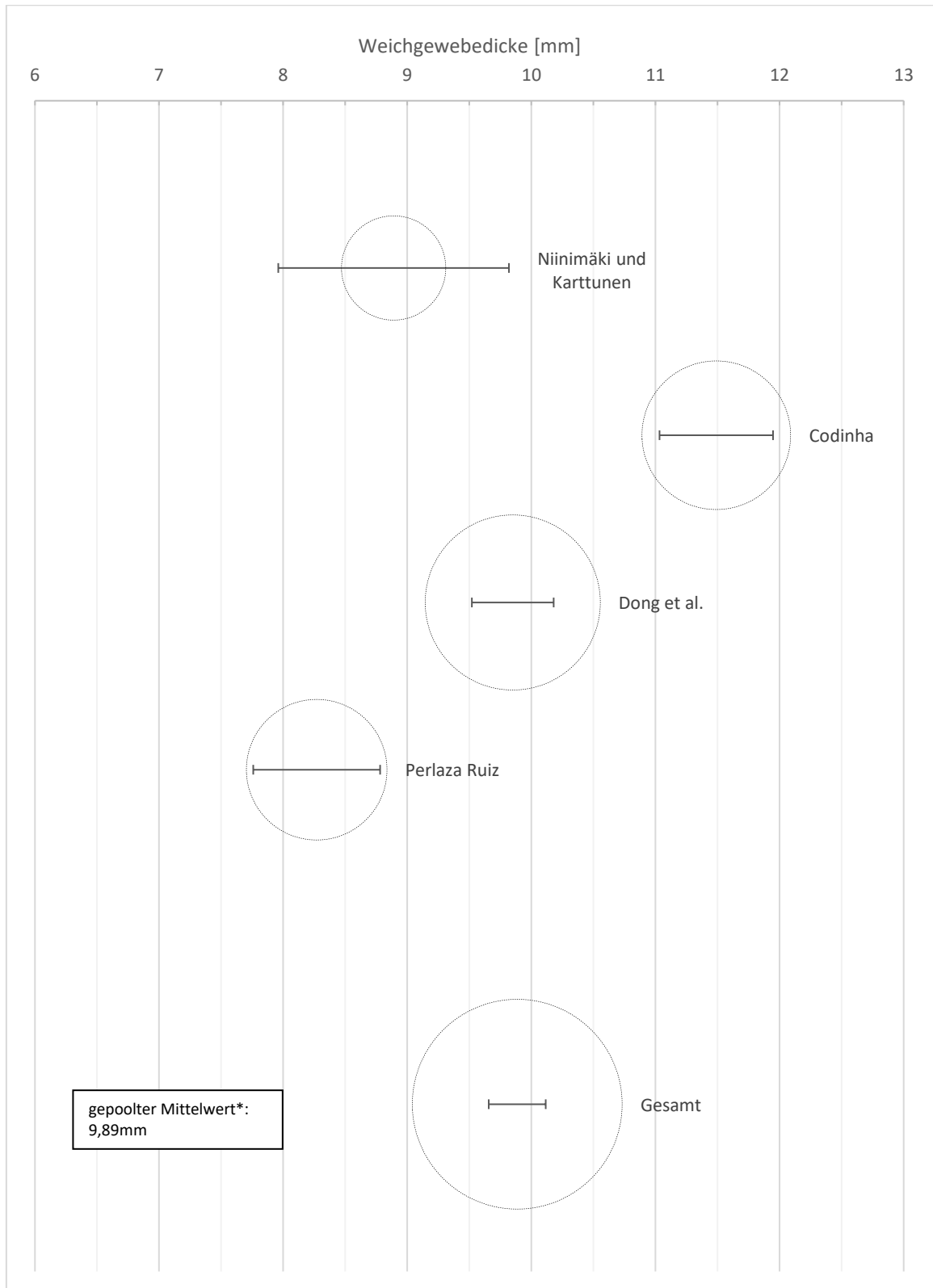


Abbildung 22: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 70 „Lateral Orbit“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

Die Weichgewebedicke an der Landmark *Inferior Malar (81)* wurde nur in einer Studie ermittelt und hat daher entsprechend den Wert, 16,03mm.

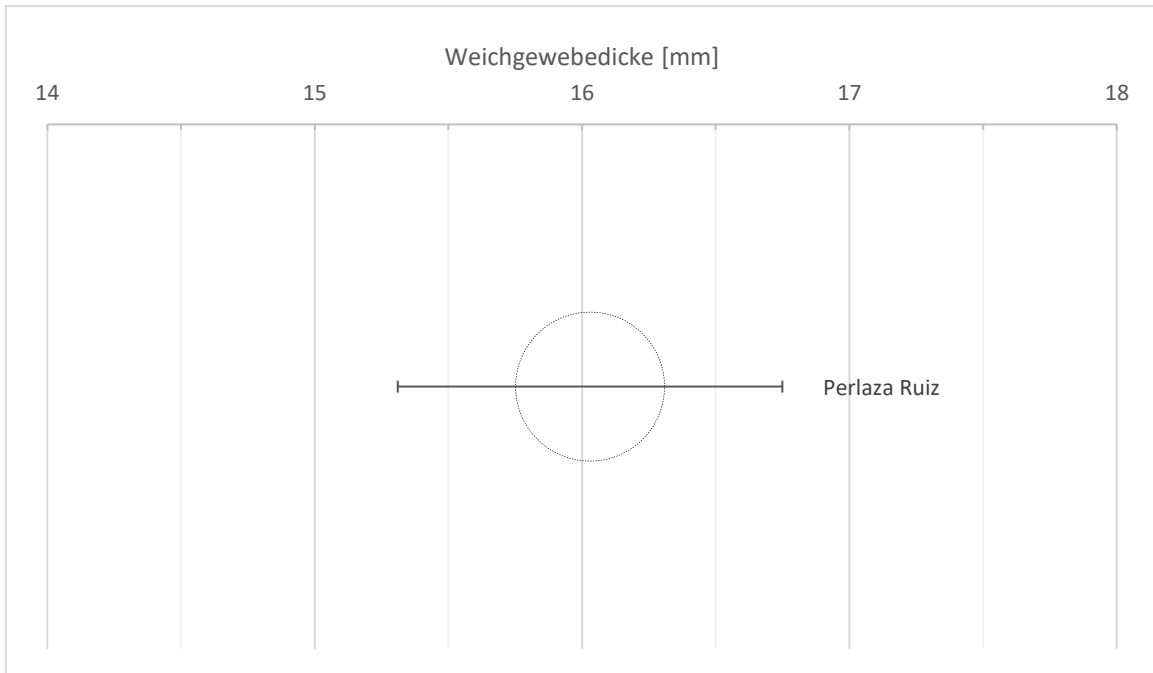


Abbildung 23: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 81 „Inferior Malar“ Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95% Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
*gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Supracanine* (82) beträgt der gepoolte Mittelwert 7,87mm.

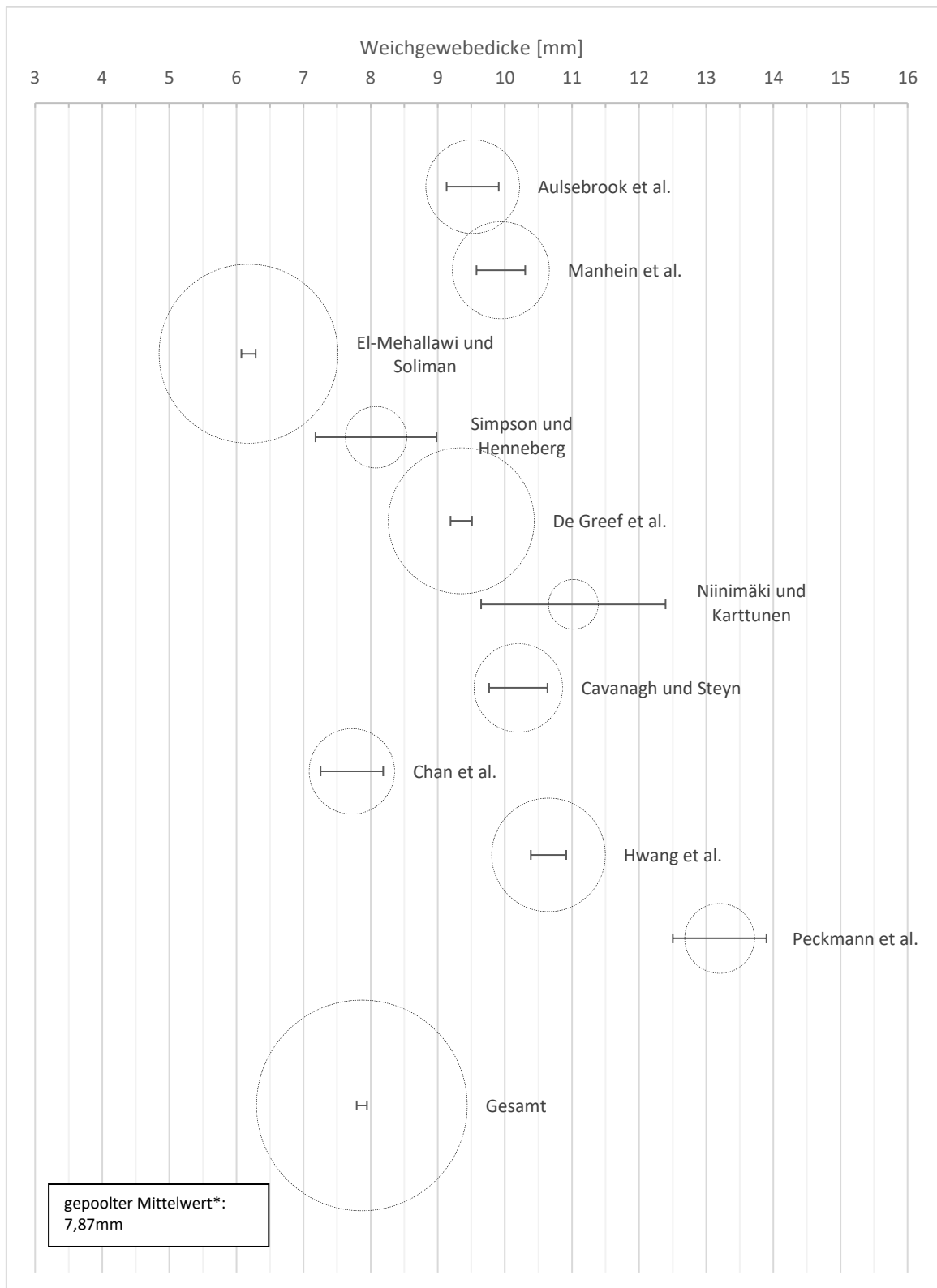


Abbildung 24: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 82 „Supracanine“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Above Ectomolare²* (87) beträgt der gepoolte Mittelwert 29,75mm.

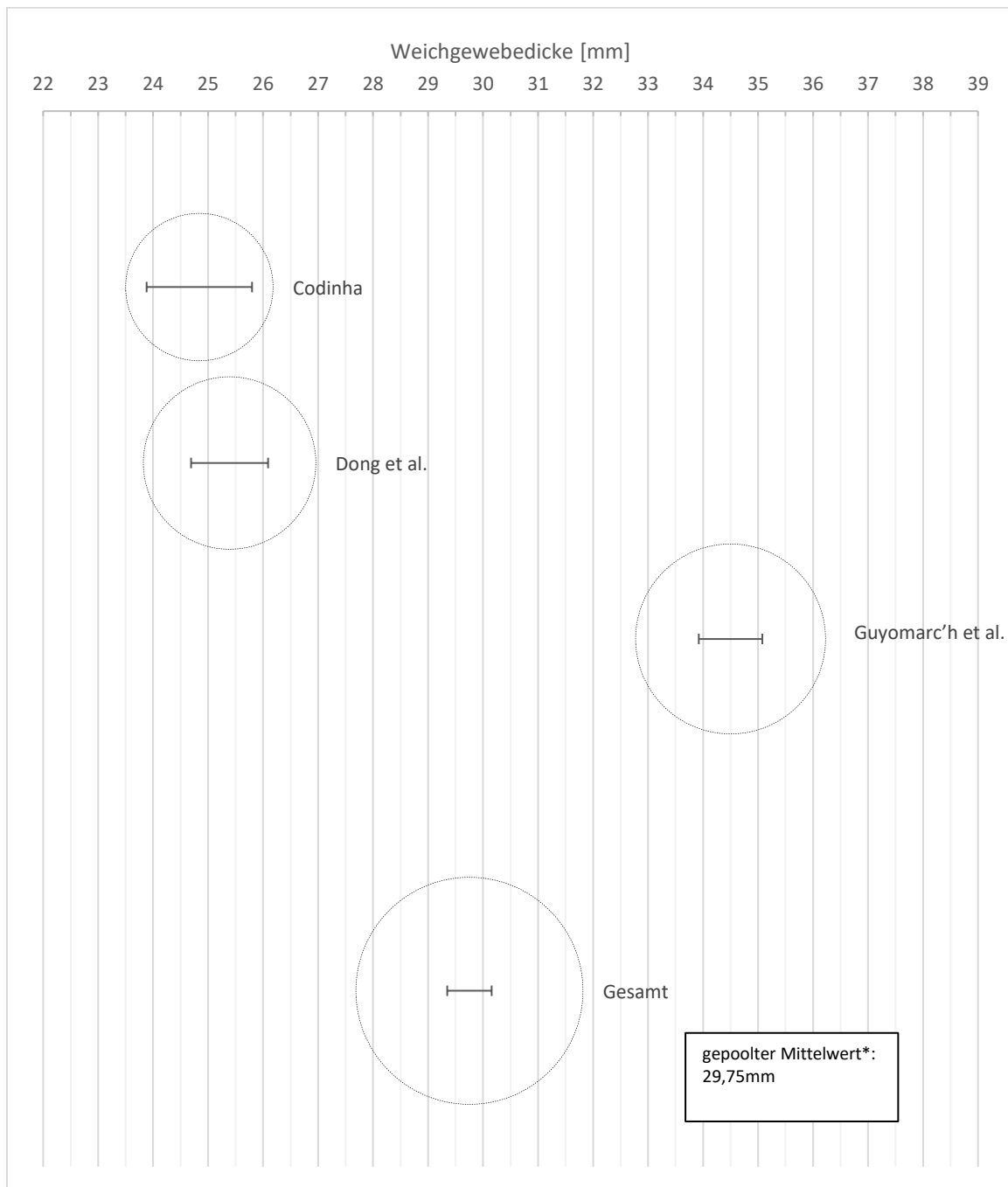


Abbildung 25: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 87 „Above Ectomolare²“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Occlusal Line* (89) beträgt der gepoolte Mittelwert 21,18mm.

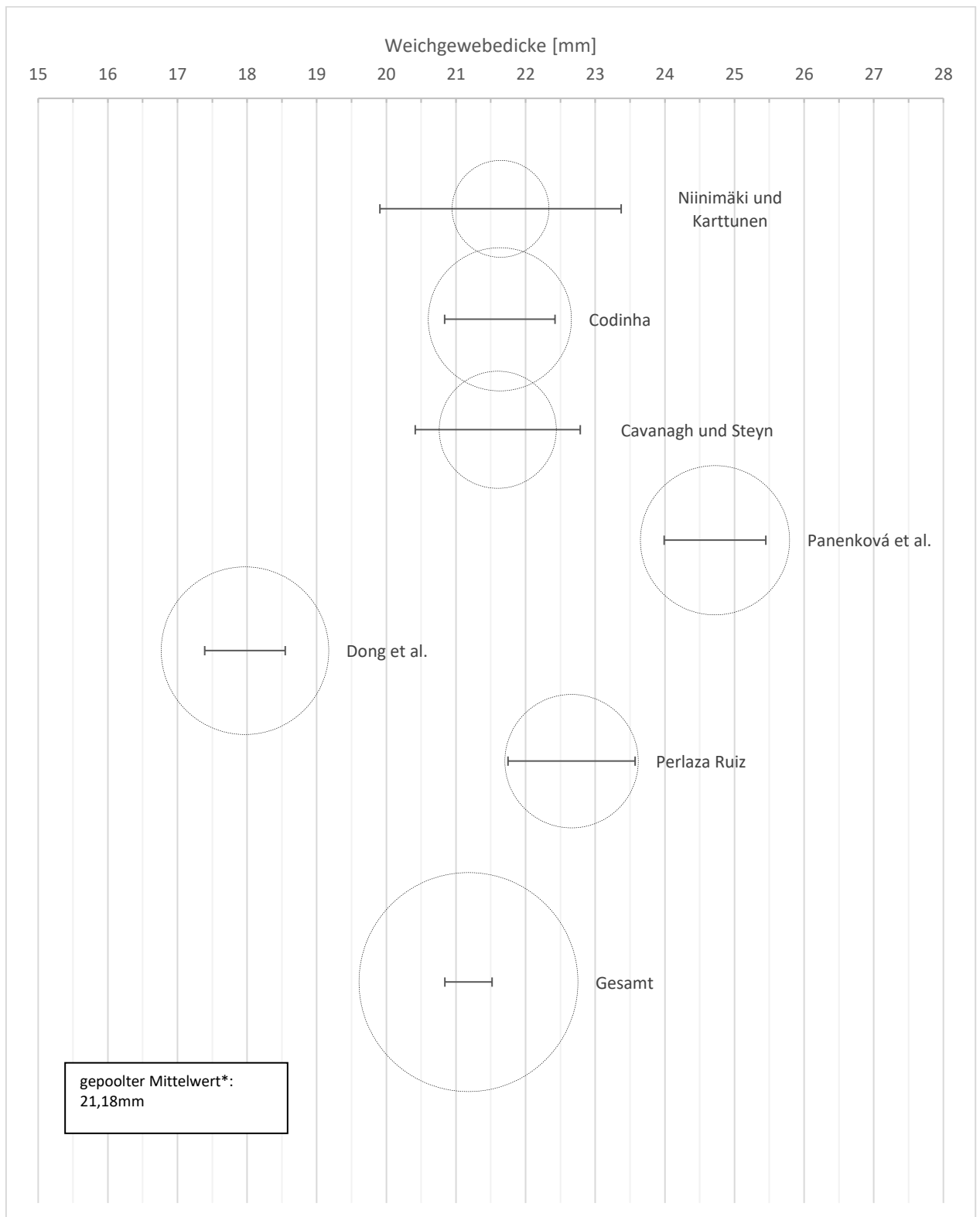


Abbildung 26: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 89 „Occlusal Line“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Mid-Ramus* (92) beträgt der gepoolte Mittelwert 21,32mm.

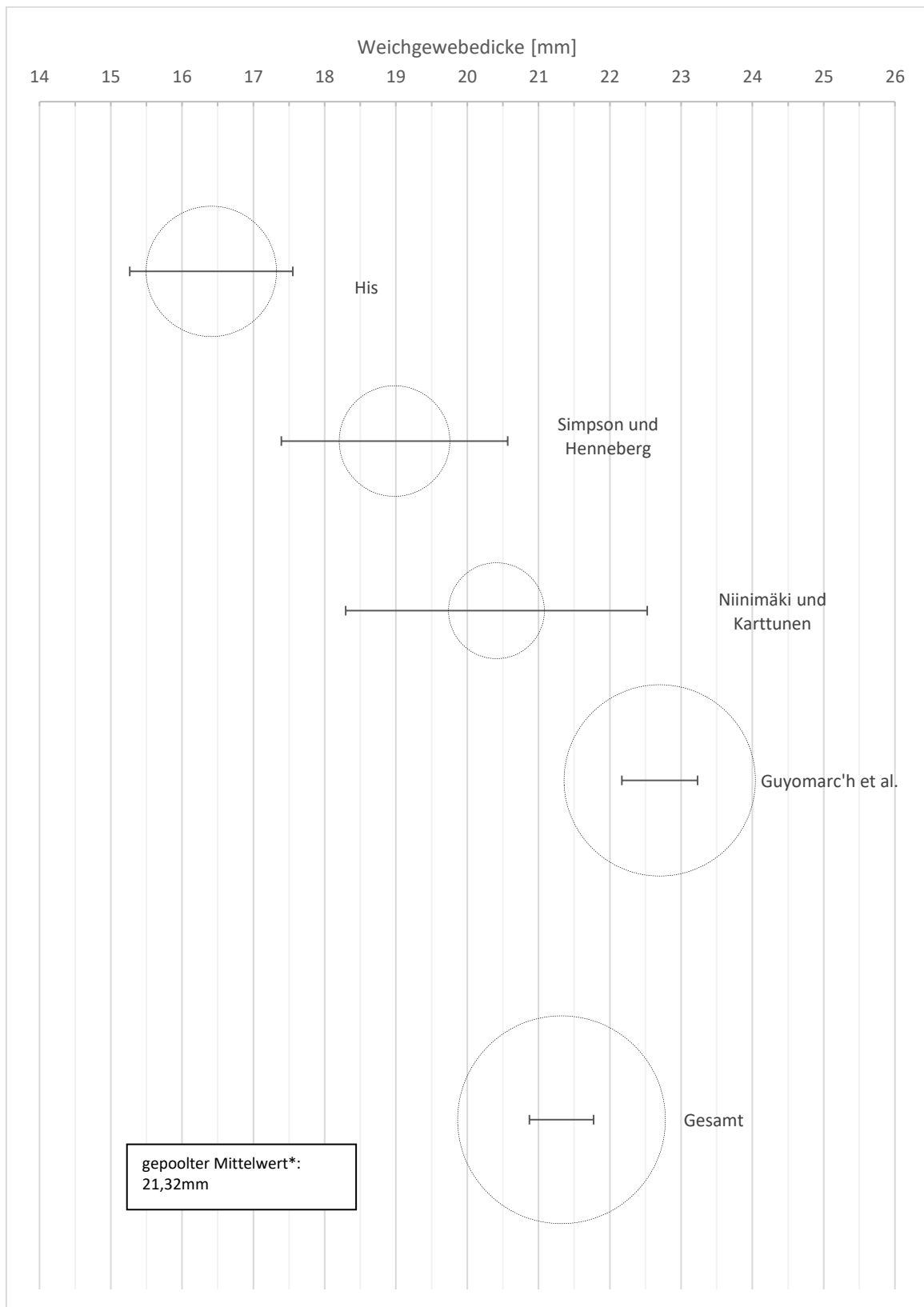


Abbildung 27: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 92 „Mid-Ramus“ Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95% Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8) Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Below Ectomolare₂* (98) beträgt der gepoolte Mittelwert 21,82mm.

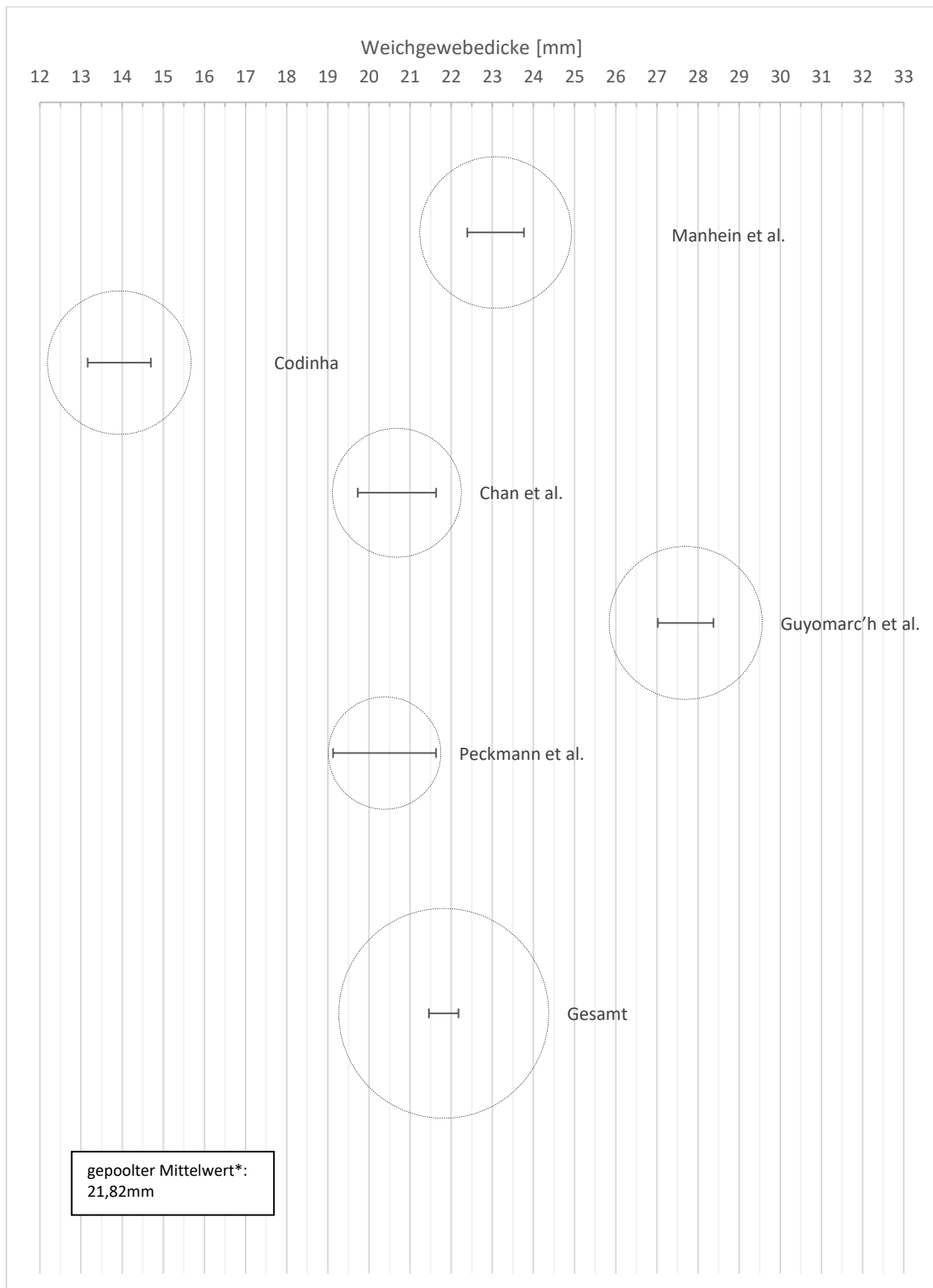


Abbildung 28: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 98 „Below Ectomolare₂“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Gonion* (103) beträgt der gepoolte Mittelwert 14,63mm.

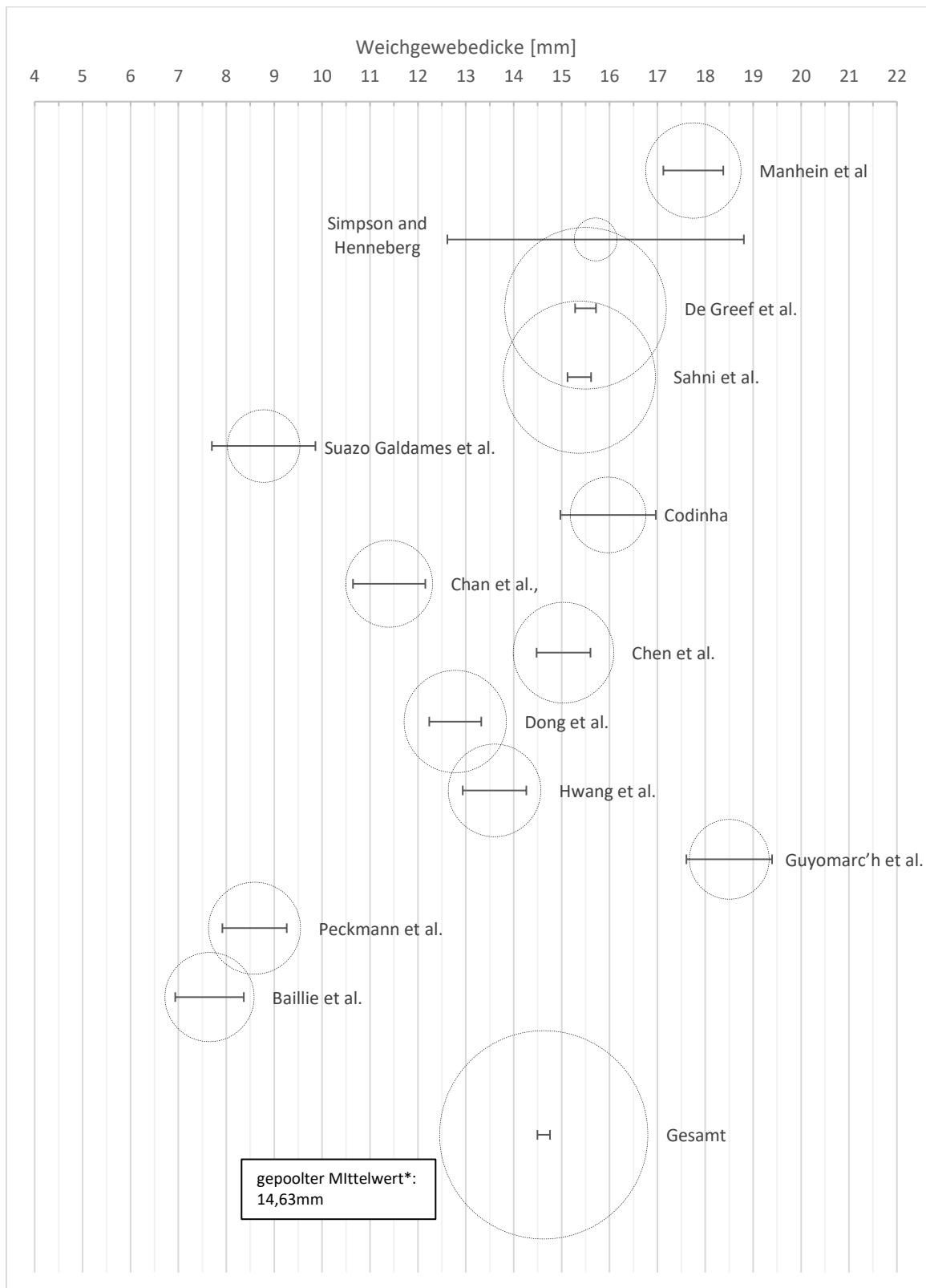


Abbildung 29: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 103 „Gonion“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95% Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

Die Weichgewebedicke an der Landmark *Mid-Mandibular Border* (107) wurde nur in einer Studie ermittelt und hat daher entsprechend den Wert, 14,60mm.

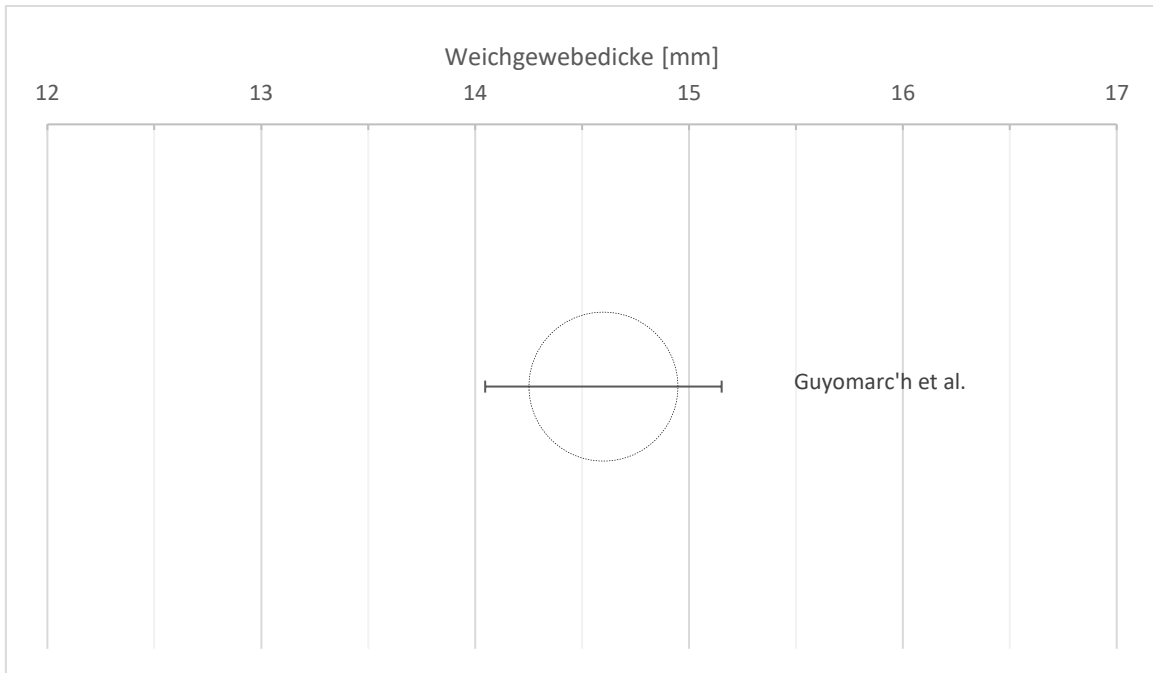


Abbildung 30: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 107 „Mid-Mandibular Border“ Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95% Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
*gerundet auf die zweite Nachkommastelle

An der Landmark *Infracanine* (144) beträgt der gepoolte Mittelwert 11,38mm.

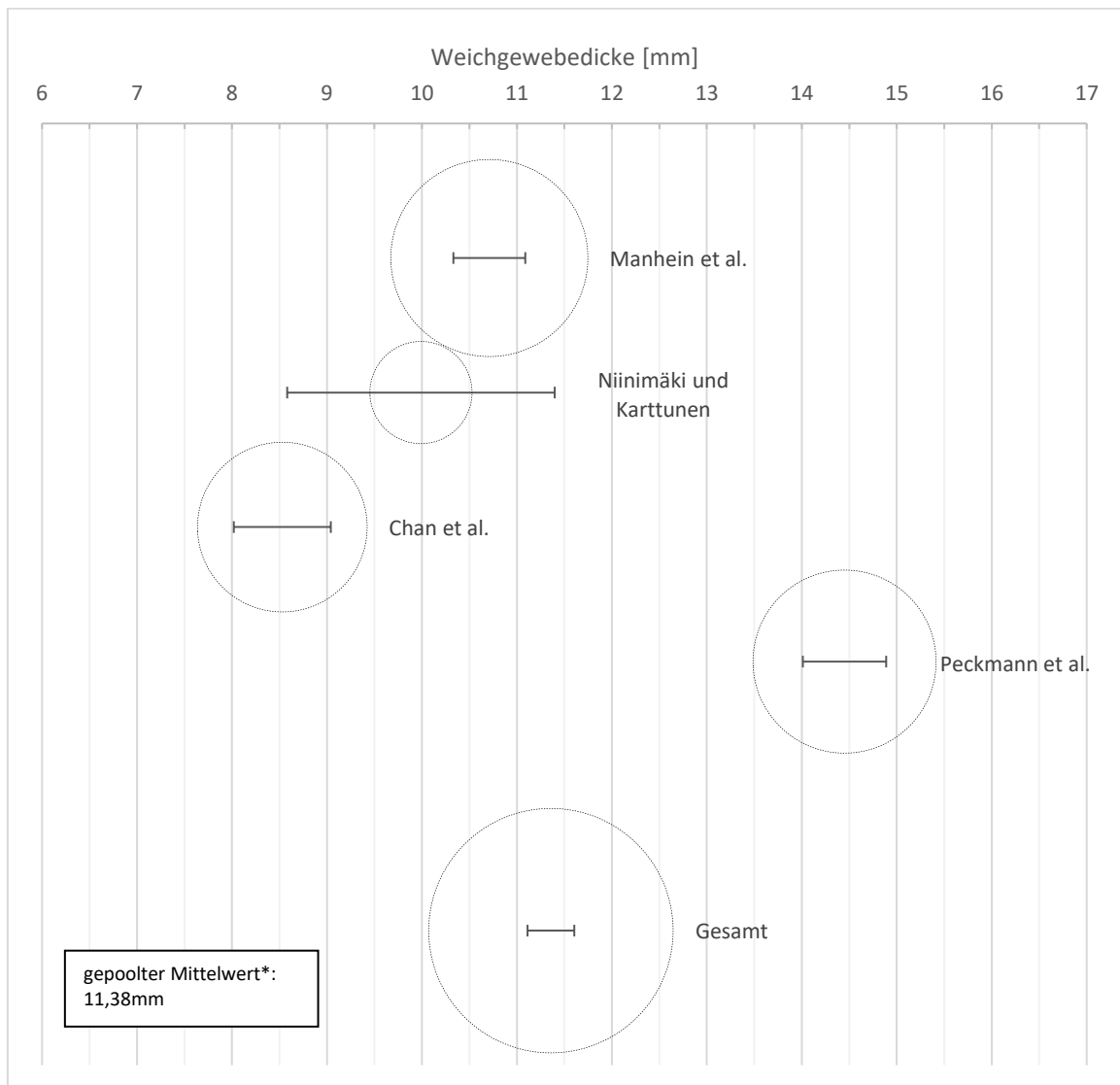


Abbildung 31: Forest Plot zur Weichgewebedicke der Landmark 144 „Infracanine“
 Studien mit Probanden ab 18 Jahren; Kreisfläche = Gewichtung; horizontale Linie = 95%
 Konfidenzintervall; Mittelpunkt des Kreises = gewichteter Mittelwert (Tabelle 8)
 Studien mit großer Probandenzahl und kleiner Standardabweichung fallen zur Berechnung des
 gepoolten Schätzers stärker ins Gewicht und sind durch eine größere Kreisfläche dargestellt
 *gerundet auf die zweite Nachkommastelle

4.3. Vergleich Literatur und CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz

Bei dem Vergleich der gepoolten Schätzer der Literaturrecherche mit den Weichgewebedickenwerten der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz lagen an 17 von 22 Landmarks die Werte der Literatur innerhalb des Bereichs des Mittelwertes \pm einer Standardabweichung der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz. An fünf Messstellen befand sich der gepoolte Schätzer der Literatur außerhalb dieses Bereichs, zweimal in der Medianebene an *Mid-Philtrum* (14) und *Infradentale* (23) und dreimal an den bilateral gelegenen Landmarks an *Lateral Orbit* (70), *Supracanine* (82) und *Mid-Mandibular Border* (107). Der Abstand betrug hierbei maximal 1,64mm (*Infradentale* (23)) (Abbildung 32 und Abbildung 33).

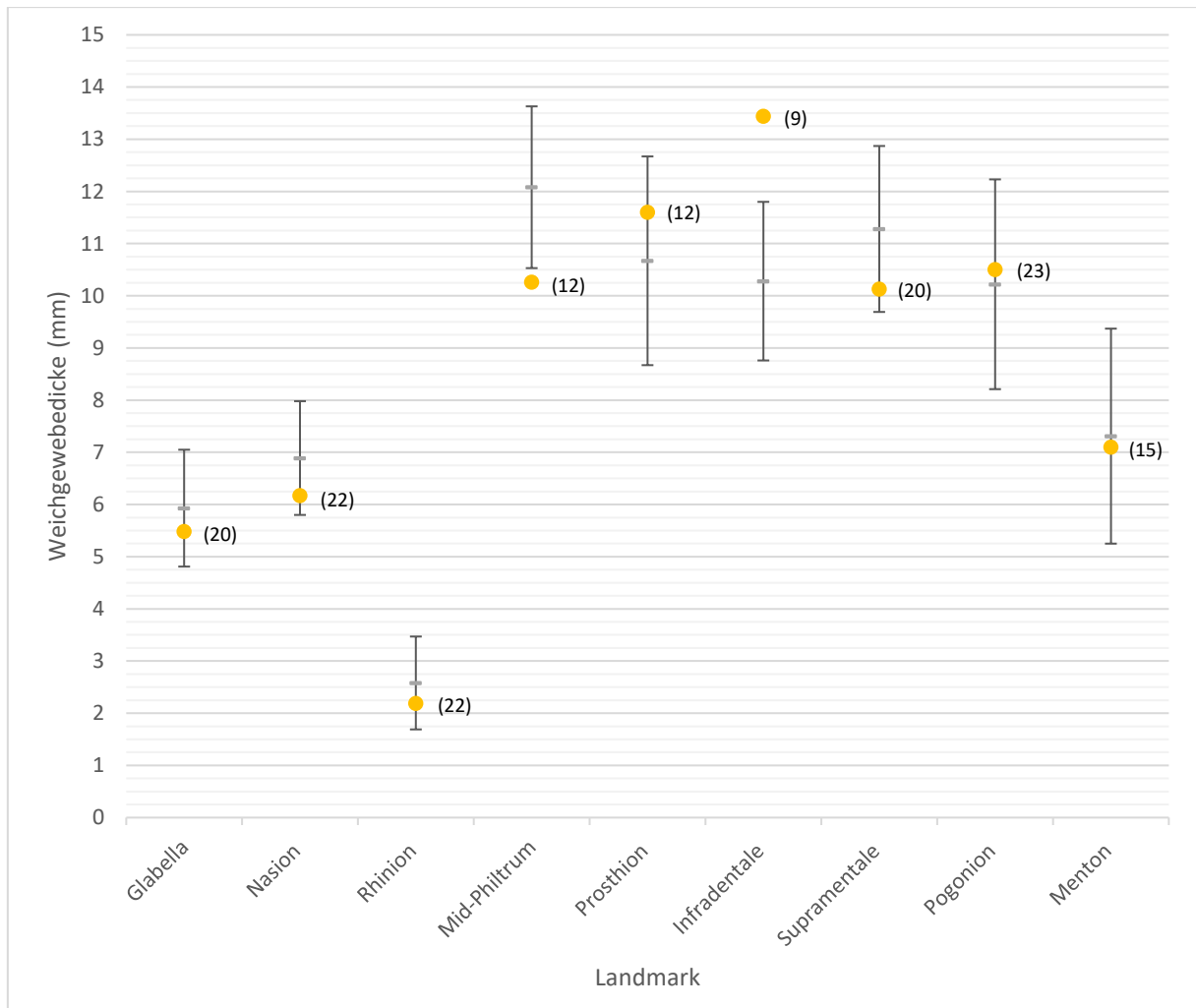


Abbildung 32: Vergleich zwischen der Literatur und den CT-Datensätzen der Universitätsmedizin Mainz: Weichgewebedicken der Landmarks der Medianebene
 Balken zeigen die Ergebnisse der Messungen der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz (Mittelwert \pm Standardabweichung), gepoolter Schätzer der Literatur als orangefarbene Markierung, Anzahl der zum Vergleich einbezogenen Studien in Klammern

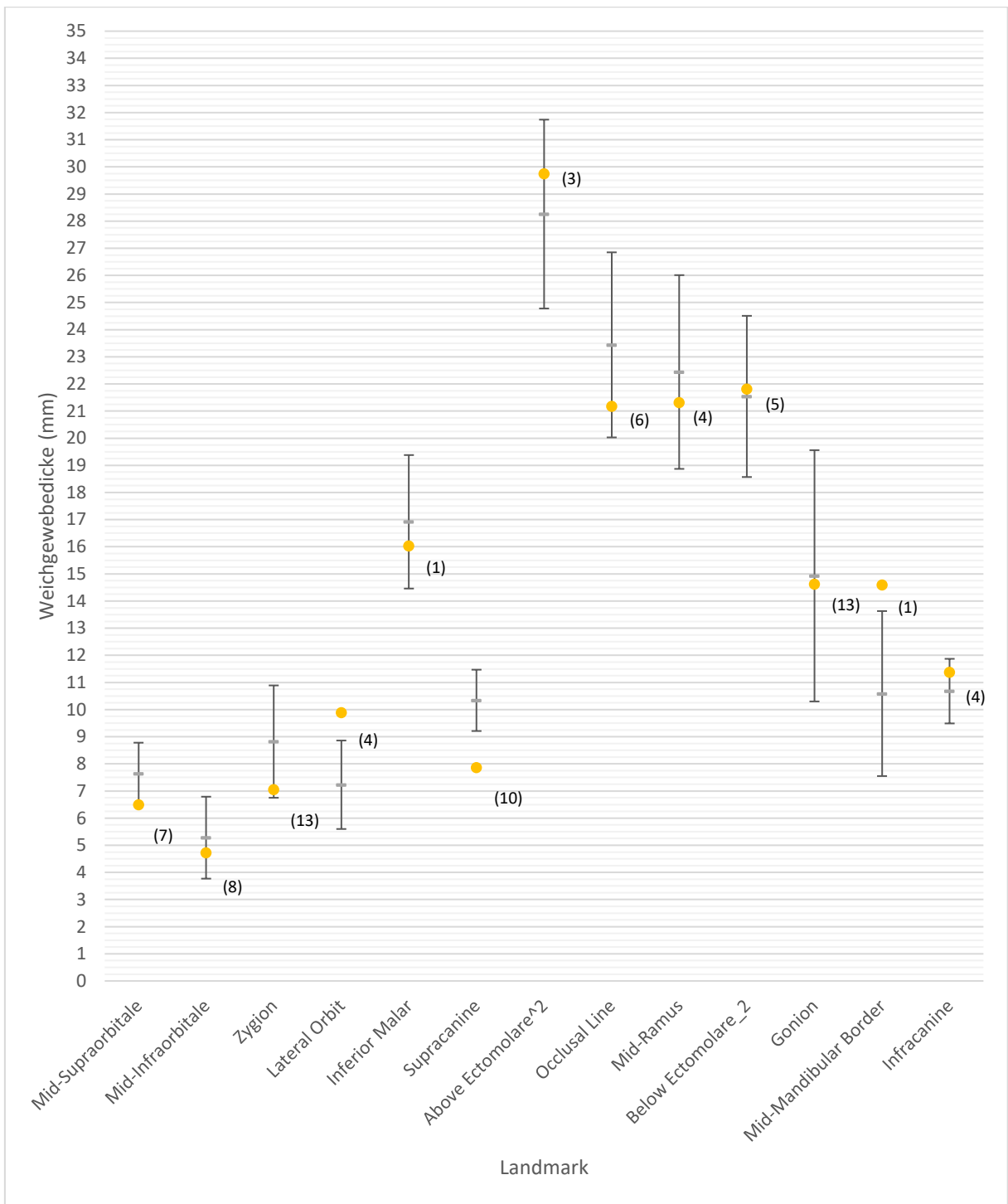


Abbildung 33: Vergleich zwischen der Literatur und den CT-Datensätzen der Universitätsmedizin Mainz: Weichgewebedicken der bilateral gelegenen Landmarks
 Balken zeigen die Ergebnisse der Messungen der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz (Mittelwert ± Standardabweichung), gepoolter Schätzer der Literatur als orangefarbene Markierung, Anzahl der zum Vergleich einbezogenen Studien in Klammern

5. DISKUSSION

5.1. Die CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz

Die Untersuchung der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz lieferte Weichgewebedickenwerte für 18 bis 35-jährige Patienten an 22 Landmarks.

Die Weichteilstärken der CT-Datensätze ließen sich dabei in der Medianebene, im Bereich der Orbita sowie den Regionen oberhalb der oberen und unterhalb der unteren Eckzähne relativ genau bestimmen (Standardabweichungen von weniger als 2mm).

Diese Erkenntnisse lassen vermuten, dass eine Verwendung der Weichgewebedickenwerte der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz in den besagten Gebieten auf Grund der geringen Standardabweichungen solide Ergebnisse bei der Rekonstruktion des Schädels liefern könnten.

Diese Vermutung bestätigte sich bereits zum Teil innerhalb der „Kephalos“-Projektarbeit. Das Weichgewebe im Bereich der Medianebene ließ sich durch das aus den CT-Datensätzen gewonnene statistische Modell (publiziert in Gietzen et al. (2019)) sehr gut nachbilden. Es zeigte sich außerdem, dass eine Fernröntgenseitenaufnahme bei der geringen Variation der Weichteilstärken innerhalb der Medianebene keinen besonderen Mehrwert für die Rekonstruktion lieferte. Tatsächlich ermöglichten die relativ konstanten Weichgewebedickenwerte der Medianebene bereits stabile Rekonstruktionen aus einem Oberflächenscan auch ohne die zusätzliche Verwendung einer Fernröntgenseitenaufnahme, was unlängst andernorts publiziert wurde (Achenbach et al., 2018).

Bei Betrachtung der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz an den Messpunkten in der Wangenregion (*Inferior Malar (81)*, *Above Ectomolare² (87)*, *Occlusal Line (89)*, *Mid-Ramus (92)*, *Below Ectomolare₂ (98)*, *Gonion (103)*, *Mid-Mandibular-Border (107)*) wurde deutlich, dass die Dicke des Weichgewebes hier für beide Geschlechter erkennbar stärker variierte, als in der Medianebene. Dies spiegelte sich in Standardabweichungen von 2,3mm bis 4,91mm wider. Sowohl bei den männlichen als auch weiblichen Probanden war die höchste Standardabweichung an der Messstelle *Gonion (103)* zu finden.

Bei der Betrachtung der Standardabweichungen für die seitlichen Weichgewebedicken des Gesichts innerhalb der Literatur fiel auf, dass die Anzahl der bilateral untersuchten Landmarks stark schwankte (zwischen null für Studien, die nur Landmarks in der

Medianebene betrachteten und 25 für Studien, die ebenfalls die bilateralen Bereiche betrachteten (Guyomarc'h et al., 2013)). Daher wurden zum Vergleich zwischen den Ergebnissen der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz und der Literatur nur ebensolche Studien betrachtet, die mindestens zehn Landmarks bilateral untersuchten. Das garantierte die Abdeckung verschiedenster Bereiche bei der Weichgewebedickenmessung durch die Studien und ermöglichte so überhaupt eine Bestimmung von Gemeinsamkeiten oder Unterschieden. Des Weiteren muss festgehalten werden, dass die genauen Messpositionen, der hier analysierten Studien nicht immer exakt übereinstimmten. Verglichen wurde daher, ob eine generelle Tendenz bezüglich stärker variierender Bereiche erkennbar ist. Deshalb wird im Folgenden von *Messbereichen* anstatt von *Messpunkten* gesprochen.

Insgesamt konnte bei der Auswertung der Literatur festgestellt werden, dass gerade im Bereich der Wangenregion besonders große Standardabweichungen ermittelt wurden (Phillips and Smuts, 1996; Manhein et al., 2000; Simpson and Henneberg, 2002; De Greef et al., 2006; Niinimäki and Karttunen, 2007; Codinha, 2009; Cavanagh and Steyn, 2011; Chan et al., 2011; Dong et al., 2012; Hwang et al., 2012; Guyomarc'h et al., 2013; Perlaza Ruiz, 2013; Peckmann et al., 2015).

Die jeweils größten Standardabweichungen wurden am häufigsten im Bereich des Kieferwinkels (Simpson and Henneberg, 2002; Niinimäki and Karttunen, 2007; Hwang et al., 2012; Guyomarc'h et al., 2013) und im Bereich des 2. Oberkiefermolaren (Manhein et al., 2000; Codinha, 2009; Chan et al., 2011; Cavanagh and Steyn, 2011; Dong et al., 2012; Hwang et al., 2012; Peckmann et al., 2015) gemessen.

Für einige Studien zeigten sich jedoch keine allgemeine Tendenz bei der Betrachtung der einzelnen Standardabweichungen (El-Mehallawi and Soliman, 2001). Im Gegensatz zu den Ergebnissen der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz ermittelten Hwang et al. (2012) und Codinha (2009) beispielsweise keine erhöhten Standardabweichungen am Unterkieferrand, während Peckmann et al. (2015) keine erhöhte Standardabweichung am Kieferwinkel feststellen konnten. Aulsebrook et al. (1996) erhielten nur für Punkte am Unterkieferrand vor und hinter der Insertion des Musculus masseter, sowie im Bereich der Wurzel des ersten Oberkieferprämolaren erhöhte Standardabweichungen. Teilweise ermittelten Studien auch in anderen Bereichen gesteigerte Standardabweichungen, wie beispielsweise im Bereich des Oberkieferreckzahnes (Codinha, 2009; Peckmann et al., 2015), des Wangenknochens (Codinha, 2009; Peckmann et al., 2015; Perlaza Ruiz, 2013), im Infraorbitalbereich (Chan et al., 2011; Phillips and Smuts, 1996), im Bereich zwischen dem

Unterkiefereckzahn und ersten Prämolare (Chen et al., 2011) oder auch auf dem Jochbein (Peckmann et al., 2015). Diese heterogenen Ergebnisse könnten entweder auf die Unterschiede zwischen den Probanden der Universitätsmedizin Mainz und der genannten Studien zurückgeführt werden oder in dem vergleichsweise kleinen Probandenkollektiv der CT-Datensätze innerhalb dieser Arbeit begründet liegen. Es sollte in Betracht gezogen werden, dass die Weichgewebedicke im Bereich der Eckzähne, auf dem Jochbein und infraorbital nicht so konstant sind, wie die Ergebnisse der Auswertung der CT-Datensätze dieser Studie erwarten lassen. Eine Analyse weiterer CT-Datensätze innerhalb des „Kephalos“-Projekts kann hier zur Auflösung beitragen.

Die große Standardabweichung und die insgesamt starke Varianz im Bereich der Wange spiegelte sich in beiden Geschlechtern gleichermaßen wider. Ein Zusammenhang mit dem Geschlecht lässt sich somit erstmal nicht erkennen. Denkbar wäre eine Beteiligung des Körpergewichts an der Weichgewebedicke, im Besonderen die Vergrößerung des Fettgewebes in den Fettkompartimenten des Wangenbereichs (Kruglikov et al., 2016; Cotofana and Lachman, 2019). Diese Vermutung bestätigte sich innerhalb der Literatur. So fanden De Greef et al. (2009) in ihrer Studie einen starken Einfluss des BMI im Bereich der Mandibula und Wangenregion an den Landmarks „[...]gonion (30), mid mandibular angle (31), sub M2 (29), mid masseter muscle (27) [...] supra M2 (26), occlusal line (28), inferior malar (15)[...]“. Die Position dieser Landmarks entspricht eben jenen Bereichen in denen innerhalb der Analyse der CT-Datensätze der vorliegenden Arbeit die höchsten Standardabweichungen unabhängig vom Geschlecht ermittelt wurden. De Greef et al. (2009) stellten fest, dass mit einer Veränderung der Weichgewebedicke um 4 - 5mm bei einer Steigerung des BMI um 10 kg/m² zu rechnen ist. Auch Dong et al. (2012) konnten signifikante Unterschiede der Weichgewebedicke in verschiedenen BMI-Kategorien für alle beobachteten Landmarks im Wangenbereich feststellen. Dabei zeigte die Weichteilstärke am Punkt *Zygion* (69) ebenfalls Veränderungen. An diesem Punkt wurde innerhalb der vorliegenden Arbeit eine erhöhte Standardabweichung bei den weiblichen Probanden gefunden. Daher könnte auch hier die Körperkonstitution einen Einfluss auf die höhere Varianz haben.

Der BMI ist allgemein einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Weichgewebedicke (De Greef et al., 2009; Guyomarc'h et al., 2013), denn ein Zusammenhang ist in vielen Studien, die diese Fragestellung untersuchten, für mindestens einen Teil der Landmarks nachgewiesen worden (Sutton, 1969; Niinimäki

and Karttunen, 2007; Codinha, 2009; Tedeschi-Oliveira et al., 2009; Chan et al., 2011; Sipahioğlu et al., 2012; Perlaza Ruiz, 2013; Baillie et al., 2016; Lodha et al., 2016).

Unter der Berücksichtigung, dass 2017 der Anteil an übergewichtigen Menschen (definiert ab einem BMI 25kg/m^2 (World Health Organization, 2020)) in Deutschland im Alter zwischen 18 und 35 Jahren kontinuierlich anstieg, mit 18,8% bis 43% stark variierte (Statistisches Bundesamt, 2020) und der BMI in der Literatur bestätigt einen Einfluss auf die Weichgewebedicke des Gesichts hat (De Greef et al., 2009), erscheint die Einbeziehung dieses Faktors äußerst zweckdienlich. Der Einfluss des BMI auf die Weichteilstärke sollte daher innerhalb des „Kephalos“-Projekts bei der Schädelrekonstruktion berücksichtigt werden. Die Beurteilung des Ausmaßes ist hierbei noch ausstehend.

Des Weiteren könnte die liegende Positionierung, die zwangsläufig mit der Verwendung von CT-Datensätzen einhergeht, ebenfalls zu stärkeren Schwankungen der Weichgewebedicken führen. Baillie et al. konnten feststellen, dass es zu Veränderungen der Weichteilstärke durch die Gravitation bei der Umlagerung von liegender in die sitzende Position kommt. Die individuellen Veränderungen je Landmark präsentierten sich dabei allerdings unterschiedlich und führten mal zu höheren, mal zu niedrigeren Weichgewebedicken. Für die Punkte *Zygion* (69) und *Gonion* (103) war jedoch eine Tendenz zu höheren Werten in liegender Position erkennbar (Baillie et al., 2016). Zusätzlich nahm in der genannten Studie der Unterschied der Mittelwerte von liegender und aufrechter Kopfhaltung am Punkt *Gonion* (103) mit steigendem BMI zu. Die Analyse von Baillie et al. stützt sich auf 30 Probanden und stellt einen Zusammenhang zwischen der Kopfpositionierung, dem BMI und der Weichgewebedicke am Punkt *Gonion* (103) fest. Dieser Einfluss könnte, die bei der Analyse der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz ermittelte große Messspanne und die hohen Standardabweichungen am Messpunkt *Gonion* (103) zum Teil erklären. Daher sollte ein möglicher Einfluss der Schwerkraft auf liegende Probanden innerhalb der Rekonstruktion der Schädel weiter untersucht und entsprechend berücksichtigt werden.

Innerhalb der Forschungsarbeit des Projekts „Kephalos“ zeigten die bisher erfolgten Rekonstruktionen der Schädeloberfläche im Vergleich zu den Originalschädeln einen mittleren Rekonstruktionsfehler von weniger als 2mm. Die Unterschiede betragen in einigen Bereichen des Schädels allerdings mehr als 3mm (Achenbach et al., 2018). Da für die Ermittlung des Rekonstruktionsfehlers nur fünf CT-Datensätze genutzt wurden, lässt sich kaum eine Aussage über einen Zusammenhang zwischen dem

Schädelbereich und der größeren Varianzen zwischen Nachbildung und Original treffen. Allerdings konnten in mindestens zwei der fünf Rekonstruktionen im Bereich der Wange höhere Ungenauigkeiten festgestellt werden. Sollte sich der Verdacht bestätigen und der Rekonstruktionserfolg in diesen Schädelbereichen schwächer ausfallen, kann diese Arbeit Hinweise auf wahrscheinliche (den BMI) und mögliche (die Positionierung) Ursachen liefern.

Die mittleren Weichgewebedicken der Männer präsentierten sich innerhalb der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz an 19 von 22 Landmarks stärker als die der Frauen, jedoch betrug der Unterschied an über 90% der Landmarks weniger als 2mm. Es war eine deutliche Überlappung der Messspannen zwischen Männern und Frauen erkennbar, ein Hinweis darauf, dass weitere Faktoren neben dem Geschlecht die Weichgewebedicke des Gesichts beeinflussen. Auch das ähnliche Muster der Verteilung bei Männern und bei Frauen (geringe Streuung in der Medianebene, stärkere Streuung in der Wange) weist auf selbiges hin.

Obgleich die Anzahl der untersuchten Probanden der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz in dieser Arbeit vergleichsweise klein und die Ergebnisse nur deskriptiv-statistisch beurteilt wurden, zeigte sich auch hier eine Kongruenz zu den Erkenntnissen innerhalb der Literatur. Für den Großteil der Landmarks sind in der Literatur ebenfalls größere Werte für Männer als für Frauen ermittelt worden (His, 1895; Sutton, 1969; Michelow and Guyuron, 1995; Simpson and Henneberg, 2002; Chen et al., 2011; Panenková et al., 2012; Dong et al., 2012; Lodha et al., 2016). Allerdings gibt es mindestens eine Ausnahme, die gegenteilige Resultate publizierte (El-Mehallawi and Soliman, 2001).

Überlappungen der Messspannen sowie geringe Abstände zwischen den Mittelwerten der Geschlechter wurden häufig beobachtet, beispielsweise in den Studien von Simpson und Henneberg (2002) und Domaracki und Stephan (2006). Fünf Studien mit großen Studienteilnehmerzahlen (200 bis 957 Probanden) stellten unabhängig voneinander signifikante Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Probanden für einen Teil der beobachteten Landmarks fest. Bei einem direktem Vergleich der Mittelwerte innerhalb der eben genannten Publikationen zeigte sich jedoch deutlich, dass in fast allen Untersuchungen absolute Abstände von weniger als 2mm ermittelt wurden (De Greef et al., 2006; Sahni et al., 2008; Chen et al., 2011; Dong et al., 2012; Lodha et al., 2016). Studien, die nur die Weichgewebedicke der

Medianebene untersuchten, konnten ebenfalls zum Teil signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern beobachten (Kurkcuoglu et al., 2011; Jeelani et al., 2015). Bei genauerer Ansicht der Landmarks mit mehr als 2mm absoluter zwischen-geschlechtlicher Differenz, konnte festgestellt werden, dass es sich dabei in verschiedenen Studien selten um dieselben Landmarks handelte. Beispielsweise fanden De Greef et al. Unterschiede > 2mm nur im Bereich des Jochbeins, Lodha et al. u.a im Bereich der Wange, Dong et al. zwischen Lippe und Nase in der Medianebene, Kurkcuoglu et al. in der Medianebene im Bereich zwischen den Oberkieferfrontzähnen, den Unterkieferfrontzähne und unterhalb der Nase und Jeelani et al. ebenfalls unter der Nase und im Bereich der Oberlippe (De Greef et al., 2006; Kurkcuoglu et al., 2011; Dong et al., 2012; Jeelani et al., 2015; Lodha et al., 2016). Folglich scheint sich der Einfluss des Geschlechts auf die Weichgewebedicke nicht an bestimmten Landmarks zu manifestieren.

Bei der Auswertung ihres Reviews, einer groß angelegten Analyse bereits publizierter Daten, konnten Stephan et al. (2005) zum Thema des Einfluss des Geschlechts auf die Weichgewebedicke ebenfalls zeigen, dass es zwar einen zum Teil signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten beider Geschlechter gab, die Kongruenz der individuellen Werte für die Weichgewebedicke männlicher und weiblicher Probanden jedoch stark war. Trotz der geringen absoluten Unterschiede von weniger als 2mm für signifikant markierte Landmarks, waren Sahni et al. (2008) andererseits mittels Diskriminanzfunktionsgleichung in der Lage mit 83%iger Genauigkeit anhand von neun Landmarks das Geschlecht zu bestimmen. Guyomarc'h et al. (2013) und Stephan et al. (2005) schlossen aus ihren Ergebnissen, dass die geschlechtlich bedingten Unterschiede vernachlässigbar sind und sprachen die Empfehlung aus, Daten für männliche und weibliche Probanden zusammenzufassen, wodurch die Studien an Größe gewinnen. Sie resümierten, dass eine Geschlechtertrennung aus Sicht der forensischen Identifikation nicht sinnvoll erscheint, da die Mittelwerte der einen Gruppe ebenfalls die Weichgewebedicke vieler Individuen der anderen Gruppe vertrete (Stephan et al., 2005; Guyomarc'h et al., 2013). Innerhalb der Forensik, bei der häufig wenig zusätzliche Informationen zum knöchernen Schädel verfügbar sind, ist das Ziel eine Annäherung an die wahre Gesichtssituation, da für die Wiedererkennung neben den Gesichtsproportionen ebenfalls Haare, Bart, Hautfarbe und Kleidung eine entscheidende Rolle spielen (Kreutz and Verhoff, 2007). Hier besteht die Möglichkeit, dass ein Unterschied von weniger als 2mm keinen entscheidenden Einfluss auf die Wiedererkennung hat. Ob dies auch für das Projekt

„Kephalos“ gelten kann, dessen Ziel die Rekonstruktion der Schädeloberfläche, mit der möglichen Konsequenz einer fehlerhaften Operationsplanung, ist, wurde bisher nicht geklärt. Da der Einfluss des Geschlechts auf die Weichgewebedicke nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, sollte innerhalb des „Kephalos“-Projekts anhand eines Vergleichs separater Schädelrekonstruktionen weiblicher und männlicher Probanden das Ausmaß überprüft werden.

5.2. Literaturanalyse

Bei der Betrachtung der innerhalb dieser Arbeit analysierten Publikationen für die Metaanalyse zeigten sich bei dem Vergleich der Mittelwerte der einzelnen Studien häufig starke Unterschiede untereinander und eine teilweise breite Streuung um den gepoolten Mittelwert.

An allen beobachteten Landmarks lag der Punktschätzer der Gesamtschätzung innerhalb von weniger als 50% der 95% - Konfidenzintervalle der analysierten Studien. Daher ist es folglich unwahrscheinlich anzunehmen, dass die Unterschiede der Weichgewebedickenmessungen zwischen den Studien rein zufällig bedingt sind. Dies lässt sich für alle analysierten Landmarks festhalten (mit Ausnahmen von *Mid-Mandibular Border* (107) und *Inferior Malar* (81), da hier nur in einer Studie eine Messung durchgeführt wurde und somit keine Gesamtschätzung erfolgen konnte). Die Variation in der Weichgewebedicke des Gesichts lässt sich somit nicht nur durch unterschiedliche Messpositionen erklären.

An den Messpositionen *Mid-Philtrum* (14), *Prosthion* (16), *Infradentale* (23), *Pogonion* (27), *Mid-Infraorbitale* (63), *Supracanine* (82), *Above Ectomolare²* (87), *Occlusal Line* (89), *Mid-Ramus* (92), *Below Ectomolare₂* (98), *Gonion* (103) und *Infracanine* (144) streuten die Mittelwerte der innerhalb der Metaanalyse betrachteten Studien dabei besonders stark um den gepoolten Schätzer. Die Aspekte, die die Diversität der einzelnen Studien ausmachen, scheinen an diesen Landmarks einen größeren Einfluss auf die gemessene Weichgewebedicke zu haben. Diese Information sollte bei der Rekonstruktion des Gesichtsschädels innerhalb des Projekts „Kephalos“ berücksichtigt werden. Bei einer Ausweitung der Anzahl der in das statistische Modell einfließenden CT-Datensätze könnten in Zukunft zusätzlich höhere Varianzen an den Landmarks *Mid-Philtrum* (14), *Prosthion* (16), *Infradentale* (23), *Pogonion* (27), *Mid-Infraorbitale* (63), *Supracanine* (82), und *Infracanine* (144) festgestellt werden.

Die Zusammenfassung der Studien für die vorliegende Metaanalyse (dargestellt in den Ergebnistabellen der Methodik der einzelnen Studien) veranschaulicht die Heterogenität der Studiendesigns der einzelnen Publikationen. Neben dem meist noch ähnlichen Studienziel die Weichgewebedicke zu ermitteln, variierte häufig die Zusammensetzung der Probanden (Ethnie, Vitalität, Anzahl und Geschlecht), die Anzahl und Position der untersuchten Messstellen, die Messmethode und wenn vorhanden, die Subkategorisierung nach beispielsweise Alter oder BMI.

Berücksichtigt wurden dabei Publikationen, deren Probanden nicht jünger als 18 Jahre waren und deren Weichgewebedickenmessung mit großer Wahrscheinlichkeit an denselben Landmarks stattgefunden hatten, wie die Messung an den CT-Datensätzen. Außerdem wurden die einzelnen Mittelwerte der Publikationen mit der Standardabweichung und Personenanzahl gewichtet, sodass der Einfluss kleiner Studien mit großer Varianz minimiert wurde. Auf Grund der hohen Diversität der einzelnen Studien hätte eine weitere Einschränkung bzw. konkretere Betrachtung zu einer geringeren Studienanzahl geführt.

Im Folgenden werden mögliche Einflussfaktoren auf die Weichgewebedicke des Gesichts, die für die unterschiedlichen Mittelwerte in den einzelnen Forest Plots verantwortlich sein könnten, genauer betrachtet.

Im Abschnitt 5.1 wurde bereits ausführlich auf den Effekt des BMI, der Positionierung und des Geschlechts auf die Weichteilstärke des Gesichts eingegangen. Der Vergleich der Forest Plots der Metaanalyse der vorliegenden Arbeit mit den Ergebnistabellen, die die Methodik der zusammengetragenen Studien beschreiben, lieferte, hinsichtlich der Frage inwiefern der BMI und das Geschlecht Einfluss auf die Weichgewebedicke des Gesichts haben pauschal keine eindeutigen Erkenntnisse. Begründet lag dies vermutlich darin, dass die Subkategorien des BMI (sofern vorhanden) und die beiden Geschlechter in der Metaanalyse jeweils zusammengefasst wurden. Es ist dabei allerdings nicht auszuschließen, dass Unterschiede der Weichgewebedicke zwischen den einzelnen Publikationen durch den BMI oder die Geschlechter entstanden sein könnten. Selbiges konnte für das Alter und die Positionierung festgestellt werden.

Als weiterer Grund für verschiedene Weichgewebedickenwerte unterschiedlicher Studien wird die Verwendung von Leichen diskutiert. Die Betrachtung der Forest Plots der vorliegenden Arbeit führte im Hinblick auf die Auswirkung der Verwendung von Leichen zur Weichgewebedickenmessung zu keinem eindeutigen Ergebnis. Die Konsequenz der Untersuchung Verstorbener ist auch in der Literatur nicht

abschließend geklärt (Stephan and Simpson, 2008), da sowohl niedrigere (Shimofusa et al., 2009), als auch höhere (Codinha, 2009) Weichgewebedickenwerte im Vergleich zur Analyse an Lebenden ermittelt wurden. Es scheint allerdings einen Zusammenhang zwischen dem Konservierungszeitraum der Leichen und der gemessenen Weichgewebedicke zu geben (Simpson and Henneberg, 2002).

Der Einfluss Faktoren BMI, Geschlecht, Alter, Position und Tod erscheint dennoch auf Grund der bereits aufgeführten Erkenntnisse einzelner Publikationen möglich, die jeweiligen Effekte könnten sich jedoch innerhalb der Forest Plots der vorliegenden Arbeit gegenseitig überlagert haben, wodurch die Betrachtung eines einzelnen Aspekts keine eindeutige Erkenntnis liefern würde.

Die Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen der Ethnie und der Stärke der Gesichtsweichteile wird in der Literatur häufig durchgeführt (Stephan and Simpson, 2008). Die ethnische Diversität der einzelnen innerhalb der Metaanalyse der vorliegenden Arbeit betrachteten Studien ließ kaum einen Vergleich zu. Nahezu jede Studie beurteilte ein Probandenkollektiv unterschiedlicher Herkunft. Hinsichtlich eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Ethnie und der Weichgewebedicke war ein optischer Vergleich der Studien innerhalb der Forest Plots daher nicht zweckdienlich. Allerdings stachen einige Studien ins Auge, die tendenziell eher niedrige (Shimofusa et al., 2009; Chan et al., 2011) und einige, die häufig hohe Weichgewebedickenwerte ermittelten (Guyomarc'h et al., 2013; Peckmann et al., 2015). Ob dies allerdings an der Herkunft der Probanden oder an einem komplexen Zusammenspiel einzelner Einflussfaktoren innerhalb der genannten Studien lag, lässt sich durch die Ergebnisse dieser Arbeit nicht klären.

Stephan und Simpson unterteilten die Studien ihres Review soweit möglich nach Herkunft und Hautfarbe („[...] Negroid, Mongoloid and Caucasoid [...]“) und ermittelten, dass der resultierende Effekt durch die Separation nach Ethnien auf das Ergebnis der Weichgewebedicke u.a. bei Betrachtung der ähnlichen Messbereiche verschiedener ethnischer Gruppen, gering ausfiel (Stephan and Simpson, 2008).

Generell stellt sich die Frage, ob eine ethnische Unterteilung, die phänotypisch (Relethford, 2002) oder genetisch (Cooper et al., 2003) erfolgen kann, überhaupt zweckerfüllend ist. In Anbetracht der Tatsache, dass über 25% der Menschen in Deutschland einen Migrationshintergrund haben, ist grundsätzlich mit einer gewissen ethnischen Diversität der Probanden hierzulande zu rechnen (Statistisches Bundesamt, 2019). Mit dem Wissen, dass die genetische Variation innerhalb

bestimmter lokaler Populationen wesentlich größer ist, als zwischen Populationen verschiedener geografischer Regionen (Relethford, 2002), gestaltet sich eine ethnische Unterteilung grundsätzlich schwierig. Aus diesen Gründen und der Tatsache, dass innerhalb der Literatur vernachlässigbare Effekte der Ethnie auf die Weichgewebedicke gefunden wurden, ist nicht zu erwarten, dass die Begrenzung von CT-Datensätzen auf Probanden bestimmter Herkunft einen Vorteil für das „Kephalos“-Projekt mit sich bringt.

Des Weiteren wurden im Rahmen der Literaturrecherche Zusammenhänge zwischen der Weichgewebedicke und der skelettalen Klasse gefunden (Utsuno et al., 2010; Kurkcuoglu et al., 2011; Gungor et al., 2015). Dabei zeigte sich, dass sich sowohl das Ausmaß als auch die Position der ermittelten Unterschiede zwischen und auch innerhalb der Studien inkongruent präsentierten. Allerdings ermittelten alle Studien signifikante Unterschiede im Bereich der Oberlippe (*Prosthion*), des *A-Punktes* und *Pogonion* für mindestens einen Teil der analysierten Probanden. Da jedoch in den wenigsten anderen Studien der Metaanalyse dieser Arbeit die skelettale Klasse erhoben wurde, ist keine Aussage anhand der Forest Plots darüber möglich, ob und inwieweit sie einen Einfluss auf die Weichgewebedicke haben kann.

Die genannten Hinweise auf den Einfluss der skelettalen Klasse auf die Weichgewebedicke des Gesichts sollten dennoch im Hinblick auf die Nutzung der Schädelrekonstruktionen des Projekts „Kephalos“ berücksichtigt werden. Da die skelettale Klasse ein Maß für eine Dysgnathie ist, erscheint es lohnenswert, bezüglich der geplanten medizinischen Anwendung der Schädelrekonstruktionen in der Operationsplanung von ausgeprägten skelettalen Dysgnathien, weitere Forschung anzustreben. Sollte die Weichgewebedicke bei Patienten mit einer Dysgnathie, bzw. einer bestimmten skelettalen Klasse generell in ausgewählten Bereichen höhere oder niedrigere Werte annehmen, so ist dies entsprechend bei der Nachbildung der Schädel dieser Probanden zu berücksichtigen.

Neben den patienteneigenen Faktoren wird auch der Einfluss der gewählten Messmethode auf die ermittelte Dicke des Weichgewebes diskutiert. Es lassen sich bei Betrachtung der Forest Plots der vorliegenden Arbeit in Kombination mit den Ergebnistabellen zur Methodik der einzelnen analysierten Studien feine Muster erkennen, die zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen der gewählten Messmethode und der ermittelten Weichgewebedicke bestehen könnte. Auffällig war

beispielsweise, dass die Mittelwerte der beiden Studien, deren Weichgewebedickenmessungen auf der Analyse von DVT-Datensätzen beruhten, oft nah beieinander lagen (Hwang et al., 2012; Perlaza Ruiz, 2013). Dies galt ebenfalls für die drei Studien, die ihre Analyse an FRS-Aufnahmen durchführten (Kurkcuoglu et al., 2011; Gungor et al., 2015; Jeelani et al., 2015). Ebenso war an einigen Landmarks eine leichte Gruppierung von Studien gleicher Messmethode erkennbar (beispielsweise *Mid-Philtrum (14)* oder *Prosthion (16)*), wobei sich die Mittelwerte der einzelnen Gruppen weiterhin überlappten.

Stephan und Simpson konnten in ihrem Review zur Gesichtswichgewebedicke einen Zusammenhang zwischen der Messmethode und der Höhe der Weichgewebedickenwerte an speziellen Landmarks feststellen. So betrachteten sie für Studien, die die Sonografie als Basis nutzten, allgemein hohe Werte, besonders am Kieferwinkel („gonion“ entspricht in etwa der Lage von *Gonion (103)*) oder auch am zweiten Unterkiefermolaren („infra-M2“ entspricht in etwa der Lage von *Below Ectomolare₂ (98)*). Publikationen, die CT-Datensätze analysierten, lieferten in dem Review die geringsten Werte. Des Weiteren ermittelten sie ähnliche Werte für Untersuchungen, die die Sonografie nutzen und jene, die die Nadelmethode verwendeten (Stephan and Simpson, 2008). Bei Betrachtung der einzelnen Forest Plots der vorliegenden Arbeit an den Messpunkten *Gonion (103)* und *Below Ectomolare₂ (98)*, ließen sich die Erkenntnisse von Stephan und Simpson auf den ersten Blick nicht bestätigen. Allerdings ist zu beachten, dass die Eigenschaften der einzelnen Publikationen und ihr Bezug zur Weichgewebedicke in dieser Arbeit, im Gegensatz zu dem Review von Stephan und Simpson, rein deskriptiv untersucht worden sind. Des Weiteren publizierten Stephan und Simpson ihre Ergebnisse 2008, eine große Anzahl der Studien war zu dem Zeitpunkt noch nicht umgesetzt worden. Sowohl in den Ergebnissen von Stephan und Simpson als auch in den Erkenntnissen der Metaanalyse der vorliegenden Arbeit lassen sich Hinweise auf einen möglichen Einfluss der Messmethode auf die Weichteilstärke finden.

Der Effekt der Messmethode auf die Weichgewebedicke sollte daher bei der notwendigen Analyse bezüglich der Einflussfaktoren BMI, Geschlecht, Positionierung und der skelettalen Klassen berücksichtigt werden. Empfehlenswert wäre die Betrachtung von Studien gleicher Messmethode zu den einzelnen möglichen Einflussfaktoren.

Potentielle Einflussfaktoren auf die Größe der Weichgewebedicke wurden innerhalb der Literatur immer wieder untersucht und eine einfache Begründung für unterschiedliche Weichteilstärken scheint nicht zu existieren (Stephan et al., 2005). Dies kann bei genauer Betrachtung der einzelnen Forest Plots dieser Arbeit ebenfalls vermutet werden. Die multiplen Ansätze zur Erklärung der verschiedenen Weichgewebedicken weisen darauf hin, dass nicht nur ein einzelner Faktor ursächlich für die Unterschiede ist, sondern ein komplexes Zusammenspiel aus den Patienten, aber auch das Messverfahren betreffenden Faktoren, die Dicke der Gesichtsweichteile bestimmt.

5.3. Vergleich der Ergebnisse der Literaturanalyse mit denen der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz

Der gepoolte Schätzer, der in dieser Arbeit analysierten Studien, liegt in ca. 77% der Fälle innerhalb \pm einer Standardabweichung der Weichgewebedickenwerte der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz und nie weiter als 1,64 mm von dieser entfernt.

Die Ähnlichkeit der Literaturwerte mit denen der CT-Datensätzen verifiziert den möglichen Nutzen und die Weiterverarbeitung innerhalb des „Kephalos“-Projekts. Die gemessenen Mittelwerte und Standardabweichungen für männliche und weibliche Probanden an den 22 Landmarks können infolgedessen auch innerhalb der forensischen Rekonstruktion genutzt werden und erweitern den Pool an verfügbaren Daten über die Weichgewebedicke des Gesichts.

Dabei muss beachtet werden, dass für jeden Vergleich zwischen Literatur und CT-Datensätzen eine unterschiedliche Anzahl an Studien einbezogen wurde und dies möglicherweise das Ergebnis beeinflusst hat. Allerdings war nicht zu erkennen, dass an Landmarks mit geringerer Studienanzahl die Werte besser oder schlechter zu den Ergebnissen der CT-Datensätzen passten. Zusätzlich erwähnenswert ist, dass innerhalb der meisten, einbezogenen Publikationen nur Mittelwerte angegeben waren. Weichgewebedicken für einzelne Probanden fanden sich in nur zwei Studien (His, 1895; Smith and Throckmorton, 2006). Ein Mangel an „Rohdaten“ führt zwangsläufig zu einer verzerrten Aussage der Gesamtweichgewebedicke. Dafür werden Fehler einzelner Messungen, zum Nachteil individueller Weichteilstärken, weniger stark berücksichtigt.

An den Messpunkten *Mid-Philtrum (14)*, *Infradentale (23)*, *Lateral Orbit (70)*, *Supracanine (82)* und *Mid-Mandibular Border (107)* lag der gepoolte Schätzer der Metaanalyse der vorliegenden Arbeit nicht innerhalb der Standardabweichung der Mittelwerte der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz. Dennoch befanden sich die Weichgewebedickenwerte der CT-Datensätze an den Landmarks *Mid-Philtrum (14)*, *Infradentale (23)* und *Supracanine (82)* innerhalb der Mittelwerte der einzelnen analysierten Studien der Metaanalyse. Der Wert für die Weichteilstärke an der Messstelle *Lateral Orbit (70)* präsentierte sich außerhalb dieses Bereichs. Sowohl an der Messposition *Lateral Orbit (70)* als auch an *Mid-Mandibular Border (107)* überlagerten sich allerdings die Standardabweichungen der einzelnen analysierten Publikationen mit denen der CT-Datensätze. Hierdurch zeigte sich ebenfalls, dass die Weichgewebedickenwerte der Literatur und die der CT-Datensätze stark konvergieren.

Innerhalb der Literatur wird der Messfehler einer Studie auf ca. 1 - 2mm geschätzt (Stephan and Simpson, 2008). Berücksichtigt man dies in Bezug auf die innerhalb dieser Arbeit gefundenen Unterschiede zwischen den Literaturwerten und den Werten der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz, so sind die vorhandenen Diskrepanzen vernachlässigbar.

Des Weiteren könnte die geringfügig vorhandene Varianz auch in dem bereits besprochenen Effekt einzelner Faktoren wie beispielsweise der gewählten Messmethode oder dem BMI der Probanden begründet liegen.

Der kleine Altersbereich der Probanden der Analyse der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz (18 bis 35 Jahre) könnte ebenfalls einen Einfluss auf die schwachen Unterschiede zu den gepoolten Schätzern der Metaanalyse der vorliegenden Arbeit gehabt haben. Die ermittelten Weichgewebedickenwerte der CT-Datensätze lagen häufig innerhalb der Mittelwerte der Studien, die ebenfalls junge, erwachsene Patienten untersuchten. Allerdings präsentierten sie sich auch viele Male etwas niedriger oder höher. Folglich ist keine eindeutige Schlussfolgerung bezüglich des Einflusses des Alters auf die Weichgewebedicke anhand dieses Vergleichs möglich.

Dem Einfluss des Alters wird in der Literatur im Vergleich zum Effekt des BMI oder des Geschlechts eine eher untergeordnete Rolle zugesprochen (De Greef et al., 2009; Panenková et al., 2012; Guyomarc'h et al., 2013). Während Baillie et al. (2016)

beispielsweise keine Auswirkung des Alterns auf die Weichgewebedicke des Gesichts feststellen konnten, ermittelten Michelow und Guyuron (1995) einen Anstieg der Weichgewebedicke an den Punkten *Pogonion* (27) und *Supramentale* (25) für Personen ab 40 bzw. ab 50 Jahren. De Greef et al. (2009) konnten in ihrer Studie keine allgemeine Aussage bezüglich des Alters treffen, sie sahen sowohl niedrigere als auch höhere Werte an unterschiedlichen Landmarks mit steigenden Lebensjahren. Außerdem erörterten sie, dass sich die Weichgewebedicken unterschiedlicher Alterskategorien in der Regel nicht um mehr als 1mm veränderten. Auch Sipahioğlu et al. (2012) konnten keine unidirektionale Aussage bezüglich des Alters machen. Dagegen ermittelten Chen et al. (2011) an all ihren Landmarks altersbedingte Veränderungen und einen generellen Anstieg des Gewebes bis zum Alter von 60 Jahren.

Anatomisch betrachtet sind Veränderungen der Weichgewebedicke im Alter in einigen Bereichen wie beispielsweise der Oberlippe oder dem Supraorbitalbereich wahrscheinlich. Der Verlust an Elastizität, der Einfluss der Schwerkraft und die Verschiebung von Fettkompartimenten könnten die Weichgewebedicke z.B. am Unterkieferrand beeinflussen. Vereinzelt findet man innerhalb der Literatur an entsprechenden Landmarks wie beispielsweise „mid mandibular angle“ (einem Punkt am Unterkieferrand) signifikante Veränderungen der Weichgewebedicke mit dem Alter (De Greef et al., 2009). Bei Betrachtung der Literatur lässt sich keine einheitliche Aussage zum Effekt des Alters auf die Weichgewebedicke finden. Tendenziell wird von einem geringen Einfluss ausgegangen, und wenn vorhanden eher mit höherem Probandenalter. Für das Projekt „Kephalos“ sollte daher die Verwendung von CT-Datensätzen von Patienten mittleren Alters zur Erweiterung des Datenpools in Erwägung gezogen werden.

Zusätzlich zeigte sich bei dem Vergleich der Mittelwerte der innerhalb der Forest Plots analysierten Studien der vorliegenden Arbeit mit den Mittelwerten der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz, dass Publikationen, welche ihre Weichgewebedickenmessungen anhand von DVT-Datensätze durchführten, Messergebnisse lieferten, die denen der CT-Datensätze dieser Arbeit auffällig ähnlich waren. In der Regel betrug die Differenz zwischen den einzelnen Werten nie mehr als 2mm. Daher sollte die Verwendung von DVT-Datensätzen zur Schädelrekonstruktion innerhalb des „Kephalos“-Projekts geprüft werden, um möglicherweise auch hierdurch den Pool an verfügbaren 3-dimensionalen Datensätzen zu erweitern. Außerdem

könnte bei Verwendung von DVT-Datensätzen eine potentielle Verzerrung der Weichgewebedicken durch die Schwerkraft im Liegen vermieden werden.

Es könnte allerdings ebenfalls daraus geschlossen werden, dass der Effekt der Positionierung des Kopfes vernachlässigbar ist, da der Kopf bei DVT-Aufnahmen im Gegensatz zu CT-Aufnahmen aufrecht ausgerichtet wird. Es muss jedoch beachtet werden, dass die patienteneigenen Einflussfaktoren der betrachteten DVT-Studien möglicherweise nicht denen der Probanden der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz entsprachen und daher sollten Rückschlüsse unter Vorbehalt gezogen werden.

5.4. Beurteilung des Studiendesigns

Verwendung von CT-Datensätzen

Innerhalb des „Kephalos“-Projekts wurde die Verwendung von CT-Datensätzen zur Analyse der Weichgewebedicke des Gesichts bestimmt. Die Auswertung von CT-Datensätzen ist ein etablierter Vorgang innerhalb der Weichgewebedickenmessung (Kim et al., 2005). Während bisher nicht gesagt werden kann, welche Messmethode die Weichgewebedicke am exaktesten ermittelt (Stephan and Simpson, 2008), lieferte die Messung mit Hilfe von CT-Datensätzen entscheidende Vorteile für die Arbeit innerhalb des „Kephalos“-Projektes. Nicht nur, dass die Messungen zeitlich unabhängig vom Patienten und retrospektiv durchgeführt werden konnten, auch die Weiterverarbeitung der digitalen Datensätze war informatisch als DICOM-Datensätze möglich. Wichtig war zudem, dass eine geringe Schichtdicke gewählt werden konnte, was eine möglichst exakte 3-dimensionale Rekonstruktion gewährleisten würde. Bei der Arbeit mit CT-Datensätzen werden grundsätzlich Schichtdicken $< 5\text{mm}$ empfohlen (Kim et al., 2005). Des Weiteren konnten die CT-Datensätze (unter Einhaltung des Datenschutzes) durch die enge Zusammenarbeit innerhalb der radiologischen Abteilung der Universitätsmedizin Mainz und der zahnärztlich radiologischen Abteilung unkompliziert zur Verfügung gestellt werden. Die Platzierung der Landmarks in einem 3-dimensionalen Raum ermöglichte die Lokalisation und Positionierung sowohl der bilateralen als auch der in der Medianebene gelegenen Landmarks von allen Seiten (Rocha et al., 2003). Zudem wurden die Messungen ohne Kontakt zum Weichgewebe durchgeführt und schließen damit eine Kompression durch den Untersucher aus, wie

dies bei Weichteilstärkenmessungen mittels Sonografie-Aufnahmen oder bei der Vermessung von Leichen vorkommen kann (Stephan and Simpson, 2008).

Nachteil dieser Messmethode ist die liegende Lagerung des Patienten und damit der Effekt der Schwerkraft auf das Weichgewebe (Baillie et al., 2016), welche jedoch bei fast allen Messmethoden, die die Möglichkeit bieten Landmarks in bilateralen Ebenen zu analysieren, zu finden ist (Stephan and Simpson, 2008). Mit Ausnahme der Sonografie ermöglicht lediglich die Auswertung von DVT-Datensätzen die Analyse bilateraler Weichgewebedicken mit aufrechter Kopfhaltung. Diese relativ neue Methode liefert ähnliche Ergebnisse wie bewährte Techniken (Fourie et al., 2010). Allerdings ist auf Grund des verhältnismäßig kurzen Anwendungszeitraumes (seit 2006 an der Universitätsmedizin Mainz (2020)) und die in wenigen Fachdisziplinen etablierten Nutzung (vorwiegend in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde (Strahlenschutzkommission, 2015)), davon auszugehen, dass weniger Datensätze an der Universitätsmedizin Mainz zur Verfügung stehen, als CT-Datensätze. Außerdem besteht bei der Beurteilung der Weichgewebedicke des Gesichts die Notwendigkeit der Verwendung von DVT-Datensätzen mit großem FOV (FOV = Field of View) zur kompletten Darstellung des Schädels. Die Wahl der Grundlage für die Vermessung war für die Verwendung innerhalb des „Kephalos“-Projekts sehr gut. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Verwendung von DVT-Datensätzen vergleichbare Ergebnisse liefern könnte. Bei ausreichender Verfügbarkeit könnten diese ebenfalls genutzt werden und den Pool an Datensätzen erweitern.

Die Betrachtung der Weichgewebedicke an einem genau definierten Messpunkt

Annahme dieser Arbeit war, dass die Variation der Dicke der Gesichtsweichteile größtenteils in unterschiedlichen Messpositionen begründet liegt und dass sie an identischen Landmarks dieselbe Dicke betragen würde. Daher fand eine ausführliche Analyse der Literatur und Unterteilung der Studien anhand ihrer wahrscheinlichsten Messstellen im Rahmen der vorliegenden Arbeit statt. Landmarks, die sich in einem gemeinsamen Bereich befanden, aber per Definition an unterschiedlichen Punkten liegen konnten, wurden nicht gemeinsam betrachtet.

Im Gegensatz dazu entschieden sich Stephan und Simpson in ihrem Review, naheliegende Landmarks zusammenzufassen, um eine aus statistischer Sicht stabilere Auswertung zu erhalten. Des Weiteren begründeten sie die Fusion damit, dass der Ausschluss von Studien deren Definitionen keinen Anhalt auf eine eindeutige

Messstelle gaben, dem üblichen Vorgehen innerhalb der Literatur widerspricht. Zusätzlich konnten sie feststellen, dass in den Studien bei einer Wiederholung der Weichgewebedickenmessung unter Beibehaltung desselben Ablaufs die Messungenauigkeiten im Mittel bei ca. 1 - 2mm liegen (Stephan and Simpson, 2008). Demgegenüber steht die Überlegung, dass auch nahe gelegene Landmarks unterschiedliche Messwerte haben können. Beispielsweise fanden Baillie et al. (2016) für die nebeneinander liegenden Messstellen „InfraM2tooth“ und „InfraM2ridge“ Messunterschiede von 3,5 – 6,3mm. Ferner können selbst Unterschiede von wenigen Millimetern in der Positionierung Messungen in einem anatomisch anders aufgebauten Bereich bedingen. Exemplarisch lässt sich bei der anatomischen Betrachtung des infraorbitalen Bereichs feststellen, dass sich im lateralen-infraorbitalen Bereich ein Fettkompartiment befindet (das „sub orbicularis oculi fat“), während sich das Weichgewebe im medialen-infraorbitalen Bereich nur aus drei Schichten, der Haut (Cutis), dem Musculus orbicularis oculis und dem Periost zusammensetzt (Cotofana and Lachman, 2019). Dies legt die Vermutung nahe, dass das Weichgewebe im lateralen infraorbitalen Bereich höhere Werte annimmt.

Im Gegensatz zu Stephan und Simpson fand eine strikte Trennung solcher eng positionierter Messstellen innerhalb der vorliegenden Arbeit statt. Es wurden nur Studien untersucht, die mit großer Wahrscheinlichkeit ihre Messung an identischen Landmarks durchführten. Diese Methodik wurde gewählt um Unsicherheiten, die in der Wahl der Messposition begründet liegen, zu verringern (De Greef et al., 2009).

Caple und Stephan (2016) empfehlen für neue Publikationen die einheitliche Verwendung von Namen und Messpunkten bei Erstellung neuer Datensätze. Sie stellen dafür ihre überarbeitete, standardisierte Nomenklatur und Tabelle an Landmarks zur Verfügung. Dieser Empfehlung kann sich nur angeschlossen werden, da hierdurch ein weiterer der vielen Einflussfaktoren auf die Weichgewebedicke ausgeschlossen werden kann. Bereits veröffentlichte Literatur lässt sich dadurch jedoch nicht korrigieren. Für einen Vergleich zwischen bereits publizierten Studien ist es daher wichtig, die genaue Lokalisation der Messpositionen zu kennen. Die Landmarksammlung bietet die Möglichkeit 39 Studien anhand ihrer wahrscheinlichsten Messpositionen zu betrachten.

Innerhalb dieser Arbeit musste an einer Messstelle *Infracanine* von der beschriebenen Vorgehensweise abgewichen werden. Die Lage der Messpunkte in dem Bereich unterhalb des Eckzahnes („Infracanine“) wurden in der Literatur sehr vage formuliert, sodass nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden konnte, dass die Messung an

dem „Punkt auf der maximalen Prominenz der Juga alveolaris des Unterkiefercaninus“ stattgefunden hatte, wie dies bei der Vermessung der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz festgelegt wurde. Hier wurde das Vorgehen von Stephan und Simpson gewählt und alle Studien, die die Weichgewebedicke unterhalb des Eckzahnes ermittelten, zusammengefasst untersucht.

Entgegen der Erwartungen konnte trotz des Vergleichs eines genauen Messpunktes (aus den CT-Datensätzen) mit einem Messbereich (aus den Literaturwerten), kein Unterschied an der Messstelle *Infracanine* (144) im Vergleich zu den anderen Messstellen festgestellt werden. Weder war die Verteilung der Studien breiter als an anderen Landmarks, noch wich der Wert der Literatur auffällig stark vom Mittelwert der CT-Datensätze ab. Er befand sich innerhalb \pm einer Standardabweichung der Ergebnisse der CT-Datensätze.

Dies wirft die Überlegung auf, ob die Zusammenfassung von benachbarten Messpunkten, wie Stephan und Simpson (2008) dies zur Vergrößerung der Datenmenge an Weichgewebedickenwerten durchführten, sinnvoll ist. Beachtet werden muss, dass im Bereich des unteren Eckzahnes im Gegensatz zu beispielsweise dem Infraorbitalbereich, die anatomische Zusammensetzung des Weichgewebes nicht besonders stark variiert (Cotofana and Lachman, 2019). Empfehlenswert wäre hier eine Studie, die beurteilt, inwieweit die Verwendung eines Messbereichs dem eines genauen Messpunktes, unter Beachtung der anatomischen Gegebenheiten, nachsteht. Hierdurch könnte eine größere Anzahl an Studien zur Beurteilung der Weichgewebedicke an einer Landmark einbezogen werden. Statistische Auswertungen wären dadurch stabiler. Außerdem könnte dies zu einer Einteilung des Gesichts in Bereiche identischer Weichgewebedicken führen, die innerhalb der forensischen Rekonstruktion genutzt werden könnten. Des Weiteren könnte die synonyme Verwendung naheliegender Landmarks innerhalb der Forensik schließlich verifiziert werden.

Einige weitere mögliche Diskussionspunkte bezüglich der Durchführung und Analyse dieser Arbeit wurden in den betreffenden Abschnitten der Diskussion aufgeführt. Neben den bereits genannten Aspekten sollte Folgendes nicht unerwähnt bleiben.

Es muss beachtet werden, dass die Literaturrecherche der vorliegenden Arbeit zwar systematisch und ausführlich durchgeführt wurde, der Vorgang allerdings nicht im Sinne eines wirklichen „systematic review“ erfolgt ist (Uman, 2011). Dadurch besteht die Gefahr, dass nicht alle vorhandenen und relevanten Studien zum Thema

„Weichgewebedicke des Gesichts“ mit in die Metaanalyse einbezogen wurden. Zudem war ein Teil der gefundenen Literatur nicht frei zugänglich verfügbar. Folglich könnten die Ergebnisse der Metaanalyse ein verzerrtes Bild der Gesamtheit präsentieren. Allerdings zeigt die Diversität der 39 Studien, dass bereits viele unterschiedliche Probanden innerhalb dieser Arbeit berücksichtigt wurden.

Des Weiteren beinhaltet die geringe Standardisierung der Messmethodik der Literaturstudien eine Vielzahl möglicher unberücksichtigter Aspekte, die zwangsläufig in die vorliegende Arbeit übertragen wurden. So wurden beispielsweise die verschiedenen Messrichtungen (Messung: senkrecht zum Knochen, senkrecht zum Weichgewebe, von einer bestimmten definierten Landmark zu einer anderen, die kürzeste Distanz ausgehend vom Knochen oder Weichgewebe) nicht berücksichtigt. Dennoch ist vorstellbar, dass auch dies einen Einfluss auf die Dicke des Weichgewebes haben und entsprechend unterschiedliche Ergebnisse liefern könnte. Da die Anzahl der in die Metaanalyse einbezogenen Studien der Literatur bereits durch das Alter und das Vorhandensein einer Standardabweichung begrenzt wurde, hätte eine erneute Selektion und Separation zur weiteren Verringerung der für die Analyse zur Verfügung stehenden Publikationen geführt. Ein statistischer Vergleich wäre teilweise unmöglich gewesen.

Daneben ist die vergleichsweise geringe Probandenzahl der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz zu nennen. Die Auswertung einer eingeschränkten Fallzahl ist anfälliger für Ausreißer und statistisch weniger aussagekräftig. Begründet lag die begrenzte Anzahl an CT-Datensätzen in den vorher bestimmten, notwendigen Einschlusskriterien. Allerdings zeugt die gute Übereinstimmung der Weichgewebedickenwerte der CT-Datensätze mit denen der Metaanalyse von einer repräsentativen Probandenauswahl.

Die nicht vollständig ausgeglichene Aufteilung zwischen weiblichen und männlichen Probanden könnte ebenfalls die Beurteilung des Effekts des Geschlechts auf die Weichgewebedicke beeinflusst haben. Allerdings spiegeln sich auch hier die in dieser Arbeit gefundenen Erkenntnisse in der Literatur wider.

Ferner konnte innerhalb dieser Arbeit ein möglicher hormonell bedingter oder auf Erkrankungen begründeter Einfluss auf die Weichgewebedicke durch die retrospektive Analyse der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz nicht ausgeschlossen werden. Allerdings wurden diese Aspekte auch in den analysierten Publikationen dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Eine Studie zum genauen Einfluss der individuellen

Faktoren auf die Stärke der Weichteile war nicht auffindbar, eine Untersuchung diesbezüglich ist weiterhin empfehlenswert (Stephan and Simpson, 2008).

5.5. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen deutlich, dass die Unterschiede zwischen den ermittelten Weichgewebedicken an denselben Messpositionen nicht zufällig bedingt sein können. Es gibt diverse mögliche Einflussfaktoren, die Veränderungen in der Stärke der Weichteile bewirken können.

Im Hinblick auf die geplante Verwendung der Schädelrekonstruktionen des „Kephalos“-Projekts zur Operationsplanung von Dysgnathieoperationen wäre besonders die Überprüfung des Einflusses des BMI auf die Weichgewebedicke empfehlenswert. Des Weiteren sollte das Ausmaß des Effekts des Geschlechts, der skelettalen Klasse und der Positionierung des Kopfes auf die Nachbildung des Schädels getestet werden.

Zusätzlich ist die Prüfung der Verwendung von DVT-Datensätzen innerhalb des „Kephalos“-Projekts sinnvoll. Können die DVT-Datensätze einbezogen werden, erweitert sich der Pool an verfügbaren Datensätzen zur Rekonstruktion.

Des Weiteren ist auch die Einbeziehung von CT-Datensätzen mittelalter Patienten zur Vermehrung der Datensätze in Erwägung zu ziehen.

Innerhalb des „Kephalos“ Projekts ist die Rekonstruktion der Schädeloberfläche mit Hilfe des statistischen Modells bereits erfolgreich gelungen (Achenbach et al., 2018; Gietzen et al., 2019). Inwieweit diese vielversprechenden Ergebnisse eine für medizinische Zwecke erfolgreiche Rekonstruktion anhand von Oberflächenscans ermöglichen und inwiefern weitere Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen, wird Gegenstand zukünftiger Forschungsarbeiten sein.

Die Anwendung dieser neuen Technik am Patienten ermöglicht den Zugang zu einer Vielzahl bis dato nicht zugänglicher, patientenindividueller Informationen, beispielsweise dem Alter, dem Geschlecht, dem BMI oder der skelettalen Klasse des Patienten. Bei vorhandenem Wissen über den genauen Einfluss dieser Faktoren auf die Weichgewebedicke, könnten diese mit in den Rekonstruktionsalgorithmus einfließen und möglicherweise ein exakteres Ergebnis liefern.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die Nutzung von 3-dimensionalen Röntgenaufnahmen etabliert sich immer stärker in der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie von Dysgnathien (Ludlow and Ivanovic, 2008). Dadurch steigt die Strahlenbelastung der Patienten entsprechend an. Das Ziel des „Kephalos“-Projekts ist eine neue, strahlungsarme Technik zu entwickeln, die die Vorteile der 3-dimensionalen Abbildung mit einer wesentlich geringeren Strahlenbelastung bietet (Reduktion der Strahlenbelastung von ca. 84 - 212 μSv (eine DVT-Aufnahme) auf ca. 5 – 6 μSv (eine FRS-Aufnahme)). Dafür wird eine Fernröntgenseitenaufnahme, ein Oberflächenscan und ein statistisches Modell über die Weichgewebedicke des Gesichts genutzt. Innerhalb dieser Arbeit wurde die wissenschaftliche Literatur zur Weichgewebedicke des Gesichts zusammengetragen und ausgewertet. Daneben lieferte diese Arbeit die für das „Kephalos“-Projekt erforderlichen CT-Datensätze für das statistische Modell und generierte so Daten, die im Hinblick auf die spätere Verwendung der neuen Technik analysiert wurden.

Zu diesem Zweck wurden die Weichgewebedicke des Gesichts aus 42 CT-Datensätzen junger, erwachsener Patienten der Universitätsmedizin Mainz getrennt nach Geschlecht an 22 Messstellen deskriptiv-statistisch ausgewertet. Zusätzlich erfolgte eine Metaanalyse mit 39 Studien aus der Literatur an eben denselben 22 Landmarks, dargestellt in 22 Forest Plots. Abschließend wurden die mittleren Weichgewebedickenwerte beider Datenpakete miteinander verglichen.

Bei Betrachtung der CT-Datensätze der Universitätsmedizin Mainz weist das Weichgewebe der Wangenregion (an den Landmarks: *Inferior Malar* (81), *Above Ectomolare²* (87), *Occlusal Line* (89), *Mid-Ramus* (92), *Below Ectomolare₂* (98), *Gonion* (103), *Mid-Mandibular-Border* (107)) die höchsten Standardabweichungen mit 2,3mm - 4,91mm auf, was für eine höhere Variabilität der Weichteilstärke dieses Bereichs spricht. Diese Erkenntnisse kongruieren mit der allgemeinen Meinung der Literatur (De Greef et al., 2006; Dong et al., 2012; Guyomarc'h et al., 2013). Die Weichgewebedicken der weiblichen und männlichen Probanden zeigten insgesamt starke Überlappungen und gleiche Verteilungstendenzen an allen Landmarks, was ein Hinweis für einen geringeren Einfluss des Geschlechts auf die Weichgewebedicke des Gesichts ist. Auch dieses Ergebnis spiegelte sich im größten Teil der Literatur wider

(Simpson and Henneberg, 2002; Stephan et al., 2005; Domaracki and Stephan, 2006). Trotz der genauen Analyse der Messstellen und dem ausschließlichen Vergleich von Studien mit wahrscheinlich gleicher Ausgangsposition für die Weichgewebedickenmessungen, konnten große Divergenzen zwischen den Mittelwerten der einzelnen Literaturstudien gefunden werden. Die Mittelwerte der untersuchten Studien streuten stark und an allen beobachteten Landmarks lag der Punktschätzer der Gesamtschätzung innerhalb von weniger als 50% der 95% - Konfidenzintervalle der analysierten Studien.

Die Variation in der Messung der CT-Datensätze und innerhalb der Weichgewebedickenwerte der Literatur sprechen für eine hohe Komplexität und Variabilität der Weichteile des Gesichts (Stephan et al., 2005). Die genaue Weichgewebedicke hängt nicht nur von ihrer Position im Gesicht ab, sondern scheint durch eine Reihe anderer Faktoren beeinflusst zu werden, deren Ausmaß nicht vollständig geklärt sind. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass wahrscheinlich weniger der Einfluss des Geschlechts, sondern eher die Beteiligung des Körpergewichts, welche besonders die Variation im Bereich der Wange innerhalb der Analyse der CT-Datensätze erklären könnte, dafür verantwortlich ist.

Die Kongruenz der Mittelwerte der CT-Datensätze und der Literatur validieren die Verwendung der Datensätze innerhalb des „Kephalos“-Projekts. Beim Vergleich der Ergebnisse der CT-Datenanalyse fielen die gepoolten Schätzer, also der Gesamtmittelwert aller Literaturstudien, in 77% der Fälle in den Bereich von \pm einer Standardabweichung der Weichgewebedickenwerte der CT-Datensätze oder waren maximal 1,64mm von diesem entfernt. Eine erfolgreiche 3-dimensionale Rekonstruktion aus einer separierten Hautoberfläche eines CT-Datensatzes ist innerhalb des Forschungsprojekts „Kephalos“ bereits gelungen. Die Analyse möglicher Einflussfaktoren wie den BMI, die skelettale Klasse oder die Probandenausrichtung könnten die Rekonstruktionsergebnisse möglicherweise positiv beeinflussen.

Des Weiteren können die ermittelten Weichgewebedickenwerte ebenfalls den Daten-Pool an Weichteilstärken des Gesichts erweitern und innerhalb der Forensik genutzt werden. Zusätzlich bietet die Landmarksammlung eine Möglichkeit zum Vergleich bereits publizierte Studien anhand ihrer wahrscheinlichsten Messpositionen. Die notwendigen Lagepunkte für 39 Studien werden innerhalb dieser Arbeit dazu bereitgestellt.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Aboul-Hosn Centenero, S., Hernández-Alfaro, F. (2012) 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results – Our experience in 16 cases. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 40:162–168. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2011.03.014>
- Achenbach, J., Brylka, R., Gietzen, T., zum Hebel, K., Schömer, E., Schulze, R., Botsch, M., Schwanecke, U. (2018) A Multilinear Model for Bidirectional Craniofacial Reconstruction. *EG VCBM 18 Proc. Eurographics Workshop Vis. Comput. Biol. Med.* 67–76. <https://doi.org/10.2312/vcbm.20181230>
- Aulsebrook, W.A., Becker, P.J., İşcan, M.Y. (1996) Facial soft-tissue thicknesses in the adult male Zulu. *Forensic Sci. Int.* 79:83–102. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(96\)01893-2](https://doi.org/10.1016/0379-0738(96)01893-2)
- Aumüller, G., Wolff, W. (Eds.) (2010) *Anatomie: 208 Tabellen; [mit DVD zum Präp.-Kurs], 2., überarb. Aufl. ed, Duale Reihe.* Stuttgart: Thieme.
- Baillie, L.J., Muirhead, J.C., Blyth, P., Niven, B.E., Dias, G.J. (2016) Position Effect on Facial Soft Tissue Depths: A Sonographic Investigation. *J. Forensic Sci.* 61:60–70. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12935>
- Bellmann, D., Fuchs, Th., Weidenbusch, A., Haber, J., Stein, K.M., Georg, T., Wilske, J. (2007) Computer-Aided Measurement of the Tissue Thickness of Deceased Persons with Computer Tomography Scans of the Head, in: Buzug, T.M. (Ed.), *Facial Reconstruction: Forensic, Medical and Archeological Methods of the Reconstruction of Soft Facial Parts = Gesichtsrekonstruktion: Forensische, Medizinische Und Archäologische Methoden Der Gesichtsweichteilrekonstruktion.* München: Polizei + Forschung. Luchterhand. pp. 21–39.
- Brooks, S.L. (2009) CBCT Dosimetry: Orthodontic Considerations. *Semin. Orthod.* 15:14–18. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2008.09.002>
- Bundesamt für Strahlenschutz (2020) Bundesamt für Strahlenschutz - Röntgendiagnostik: Häufigkeit und Strahlenexposition [Internet]. Last updated 02/13/2020 [zitiert am 16.04.20]. URL <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/roentgen/haeufigkeit-exposition.html>.
- Bundesamt für Strahlenschutz (2019a) Bundesamt für Strahlenschutz - Einführung ionisierte Strahlung [Internet]. Last updated 10/24/2019 [zitiert am 17.04.2020]. URL <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/einfuehrung/einfuehrung.html>.
- Bundesamt für Strahlenschutz (2019b) Bundesamt für Strahlenschutz - Einführung: Wie wirkt Strahlung [Internet]. Last updated 07/02/2019 [zitiert am 17.04.2020]. URL <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/einfuehrung/einfuehrung.html>.
- Bundesamt für Strahlenschutz (2018) Strahlenschutz konkret: Röntgendiagnostik - Nutzen und Risiken [Internet] 01/2018 [zitiert am 17.04.2020]. URL https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/stko-roentgen.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- Bundesamt für Strahlenschutz (n.d.) Bundesamt für Strahlenschutz - Glossar: Effektive Dosis [Internet] [zitiert am 01.05.2020]. URL <https://www.bfs.de/SharedDocs/Glossareintraege/DE/E/effektive-dosis.html?view=renderHelp>.
- Bundesamt für Strahlenschutz (n.d.) Bundesamt für Strahlenschutz - Glossar: Dosis [Internet] [zitiert am 17.04.2020]. URL

- <https://www.bfs.de/SharedDocs/Glossareintraege/DE/D/dosis.html?view=renderHelp>.
- Burton, A.M., Bruce, V., Dench, N. (1993) What's the Difference between Men and Women? Evidence from Facial Measurement. *Perception* 22:153–176.
<https://doi.org/10.1068/p220153>
- Caple, J., Stephan, C.N. (2016) A standardized nomenclature for craniofacial and facial anthropometry. *Int. J. Legal Med.* 130:863–879.
<https://doi.org/10.1007/s00414-015-1292-1>
- Cavanagh, D., Steyn, M. (2011) Facial reconstruction: Soft tissue thickness values for South African black females. *Forensic Sci. Int.* 206:215.e1-215.e7.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.01.009>
- Cellerino, A., Borghetti, D., Sartucci, F. (2004) Sex differences in face gender recognition in humans. *Brain Res. Bull.* 63:443–449.
<https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2004.03.010>
- Chan, W.N.J., Listi, G.A., Manhein, M.H. (2011) *In Vivo* Facial Tissue Depth Study of Chinese-American Adults in New York City*: FACIAL TISSUE DEPTH STANDARDS IN CHINESE-AMERICANS. *J. Forensic Sci.* 56:350–358.
<https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01640.x>
- Chen, F., Chen, Y., Yu, Y., Qiang, Y., Liu, M., Fulton, D., Chen, T. (2011) Age and sex related measurement of craniofacial soft tissue thickness and nasal profile in the Chinese population. *Forensic Sci. Int.* 212:272.e1-272.e6.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.05.027>
- Codinha, S. (2009) Facial soft tissue thicknesses for the Portuguese adult population. *Forensic Sci. Int.* 184:80.e1-80.e7.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.11.011>
- Coetzee, V., Perrett, D.I., Stephen, I.D. (2009) Facial Adiposity: A Cue to Health? *Perception* 38:1700–1711. <https://doi.org/10.1068/p6423>
- Cooper, R.S., Kaufman, J.S., Ward, R. (2003) Race and Genomics. *N. Engl. J. Med.* 348:1166–1170. <https://doi.org/10.1056/NEJMsb022863>
- Cotofana, S., Lachman, N. (2019) Anatomy of the Facial Fat Compartments and their Relevance in Aesthetic Surgery. *JDDG J. Dtsch. Dermatol. Ges.* 17:399–413.
<https://doi.org/10.1111/ddg.13737>
- Csaszar, G., Bröker-Csaszar, B. (2000) Weichteilvorhersage in der kieferorthopädischen Chirurgie mit dem „Dentofacial Planner“. *Informationen Aus Orthod. Amp Kieferorthopädie* 33:335–341. <https://doi.org/10.1055/s-2000-9971>
- d'Hollosy, M.L. (2007) Stone Age people in Hospital, in: Buzug, T.M. (Ed.), *Facial Reconstruction: Forensic, Medical and Archeological Methods of the Reconstruction of Soft Facial Parts = Gesichtsrekonstruktion: Forensische, Medizinische Und Archäologische Methoden Der Gesichtsweichteilrekonstruktion*. München: Polizei + Forschung. Luchterhand. pp. 577–592.
- de Almeida, N.H., Michel-Crosato, E., de Paiva, L.A.S., Biazevic, M.G.H. (2013) Facial soft tissue thickness in the Brazilian population: New reference data and anatomical landmarks. *Forensic Sci. Int.* 231:404.e1-404.e7.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.05.024>
- De Greef, S., Claes, P., Vandermeulen, D., Mollemans, W., Suetens, P., Willems, G. (2006) Large-scale in-vivo Caucasian facial soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction. *Forensic Sci. Int.* 159:126–146.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.02.034>
- De Greef, S., Vandermeulen, D., Claes, P., Suetens, P., Willems, G. (2009) The influence of sex, age and body mass index on facial soft tissue depths.

- Forensic Sci. Med. Pathol. 5:60–65. <https://doi.org/10.1007/s12024-009-9085-9>
- De Riu, G., Meloni, S.M., Baj, A., Corda, A., Soma, D., Tullio, A. (2014) Computer-assisted orthognathic surgery for correction of facial asymmetry: results of a randomised controlled clinical trial. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 52:251–257. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2013.12.010>
- Dettmeyer, R., Veit, F., Verhoff, M. (2019) Thanatologie, in: *Rechtsmedizin, Springer-Lehrbuch*. Berlin, Heidelberg: Springer. pp. 7–26. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58658-7_2
- Domaracki, M., Stephan, C.N. (2006) Facial Soft Tissue Thicknesses in Australian Adult Cadavers*. *J. Forensic Sci.* 51:5–10. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2005.00009.x>
- Dong, Y., Huang, L., Feng, Z., Bai, S., Wu, G., Zhao, Y. (2012) Influence of sex and body mass index on facial soft tissue thickness measurements of the northern Chinese adult population. *Forensic Sci. Int.* 222:396.e1-396.e7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.06.004>
- Dössel, O. (2016) *Bildgebende Verfahren in der Medizin*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54407-1>
- El-Mehallawi, I.H., Soliman, E.M. (2001) Ultrasonic assessment of facial soft tissue thicknesses in adult Egyptians. *Forensic Sci. Int.* 117:99–107. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(00\)00453-9](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(00)00453-9)
- European Commission, Directorate-General for Energy (2012) *Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology evidence-based guidelines*. Luxembourg: Publications Office.
- Fourie, Z., Damstra, J., Gerrits, P.O., Ren, Y. (2010) Accuracy and reliability of facial soft tissue depth measurements using cone beam computer tomography. *Forensic Sci. Int.* 199:9–14. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.02.018>
- Freedman, B.J. (1984) For debate...Caucasian. *BMJ* 288:696–698. <https://doi.org/10.1136/bmj.288.6418.696>
- Gietzen, T., Brylka, R., Achenbach, J., zum Hebel, K., Schömer, E., Botsch, M., Schwanecke, U., Schulze, R. (2019) A method for automatic forensic facial reconstruction based on dense statistics of soft tissue thickness. *PLOS ONE* 14:e0210257. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210257>
- Grüner, O. (1959) Schädelidentifizierung in Vergangenheit und Gegenwart. *DMW - Dtsch. Med. Wochenschr.* 84:1270–1275. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1114433>
- Gungor, K., Bulut, O., Hizliol, I., Hekimoglu, B., Gurcan, S. (2015) Variations of midline facial soft tissue thicknesses among three skeletal classes in Central Anatolian adults. *Leg. Med.* 17:459–466. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.09.001>
- Guyomarc'h, P., Santos, F., Dutailly, B., Coqueugniot, H. (2013) Facial soft tissue depths in French adults: Variability, specificity and estimation. *Forensic Sci. Int.* 231:411.e1-411.e10. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.04.007>
- His, W. (1895) *Anatomische Forschungen über Johann Sebastian Bach's Gebeine und Antlitz nebst Bemerkungen über dessen Bilder*. *Abh MathPhysikal Kl Kgl Sachs Ges Wiss* 22:397-420.
- Howaldt, H.-P., Schmelzeisen, R. (2015) *Einführung in die Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie: für Studium, Examen und Weiterbildung, 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage*. ed. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag.
- Hwang, H.-S., Park, M.-K., Lee, W.-J., Cho, J.-H., Kim, B.-K., Wilkinson, C.M. (2012) *Facial Soft Tissue Thickness Database for Craniofacial Reconstruction in*

- Korean Adults: FACIAL SOFT TISSUE THICKNESS DATABASE. *J. Forensic Sci.* 57:1442–1447. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2012.02192.x>
- Jack, R.E., Schyns, P.G. (2015) The Human Face as a Dynamic Tool for Social Communication. *Curr. Biol.* 25:R621–R634. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.05.052>
- Jeelani, W., Fida, M., Shaikh, A. (2015) Facial soft tissue thickness among various vertical facial patterns in adult Pakistani subjects. *Forensic Sci. Int.* 257:517.e1-517.e6. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.09.006>
- Kahl-Nieke, B. (2010) Einführung in die Kieferorthopädie: Diagnostik, Behandlungsplanung, Therapie; mit 10 Tabellen, 3., überarb. Aufl. ed. Köln: Dt. Ärzte-Verl., Dt. Zahnärzte-Verl.
- Kapila, S.D., Nervina, J.M. (2015) CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofacial Radiol.* 44:20140282. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20140282>
- Kasai, K. (1998) Soft tissue adaptability to hard tissues in facial profiles. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* 113:674–684. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(98\)70228-8](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(98)70228-8)
- Kim, K.-D., Ruprecht, A., Wang, G., Lee, J.B., Dawson, D.V., Vannier, M.W. (2005) Accuracy of facial soft tissue thickness measurements in personal computer-based multiplanar reconstructed computed tomographic images. *Forensic Sci. Int.* 155:28–34. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.11.004>
- Kreutz, K., Verhoff, M.A. (2007) Forensische Gesichtsrekonstruktion – Identifizierung bei Skelettfunden. *Dtsch. Ärztebl.* 6.
- Kruglikov, I., Trujillo, O., Kristen, Q., Isac, K., Zorko, J., Fam, M., Okonkwo, K., Mian, A., Thanh, H., Koban, K., Sclafani, A., Steinke, H., Cotofana, S. (2016) The Facial Adipose Tissue: A Revision. *Facial Plast. Surg.* 32:671–682. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1596046>
- Kumar, M., Shanavas, M., Sidappa, A., Kiran, M. (2015) Cone beam computed tomography - know its secrets. *J. Int. Oral Health JIOH* 7:64–68.
- Kurkcuoglu, A., Pelin, C., Ozener, B., Zagyapan, R., Sahinoglu, Z., Yazıcı, A.C. (2011) Facial soft tissue thickness in individuals with different occlusion patterns in adult Turkish subjects. *HOMO* 62:288–297. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2011.06.001>
- Lodha, A., Mehta, M., Patel, M.N., Menon, S.K. (2016) Facial soft tissue thickness database of Gujarati population for forensic craniofacial reconstruction. *Egypt. J. Forensic Sci.* 6:126–134. <https://doi.org/10.1016/j.ejfs.2016.05.010>
- Ludlow, J.B., Davies-Ludlow, L.E., White, S.C. (2008) Patient Risk Related to Common Dental Radiographic Examinations. *J. Am. Dent. Assoc.* 139:1237–1243. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2008.0339>
- Ludlow, J.B., Ivanovic, M. (2008) Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology* 106:106–114. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2008.03.018>
- Ludlow, J.B., Timothy, R., Walker, C., Hunter, R., Benavides, E., Samuelson, D.B., Scheske, M.J. (2015) Effective dose of dental CBCT—a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units. *Dentomaxillofacial Radiol.* 44:20140197. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20140197>
- Manhein, M.H., Listi, G.A., Barsley, R.E., Musselman, R., Barrow, N.E., Ubelaker, D.H. (2000) In Vivo Facial Tissue Depth Measurements for Children and Adults. *J. Forensic Sci.* 45:14640J. <https://doi.org/10.1520/JFS14640J>
- Martin, R. (1914) Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung: mit besonderer Berücksichtigung der anthropologischen Methoden ; für

- Studierende, Ärzte und Forschungsreisende; mit 460 Abbildungen im Text, 3 Tafeln und 2 Beobachtungsblättern. <https://doi.org/10.11588/DIGLIT.37612>
- Memon, A., Godward, S., Williams, D., Siddique, I., Al-Saleh, K. (2010) Dental x-rays and the risk of thyroid cancer: A case-control study. *Acta Oncol.* 49:447–453. <https://doi.org/10.3109/02841861003705778>
- Mendelson, B.C., Wong, C.-H. (2013) Anatomy of the aging face [Internet] [zitiert am 17.04.2020]. URL <https://www.semanticscholar.org/paper/Anatomy-of-the-aging-face-Mendelson-Wong/859f7caaf216930faaac9885613af68b8b7d8713>.
- Michelow, B.J., Guyuron, B. (1995) The chin: skeletal and soft-tissue components. *Plast. Reconstr. Surg.* 95:473–478.
- Negi, N., Verma, S., Negi, K.S., Kaundal, J.R., Sood, S. (2012) Soft-tissue cephalometric norms for north Indian Mongoloids. *Orthod. Waves* 71:85–89. <https://doi.org/10.1016/j.odw.2012.04.001>
- Niinimäki, S., Karttunen, A. (2007) Study on the facial tissue thickness of the Finns, in: Buzug, T.M. (Ed.), *Facial Reconstruction: Forensic, Medical and Archeological Methods of the Reconstruction of Soft Facial Parts = Gesichtsrekonstruktion: Forensische, Medizinische Und Archäologische Methoden Der Gesichtsweichteilrekonstruktion*. München: Polizei + Forschung. Luchterhand. pp. 95–120.
- Nötzel, F., Schultz, C. (2001) *Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis*. Köln: Dt. Zahnärzte-Verl., DÄV-Hanser.
- Nötzel, F., Schultz, C., Hartung, M., Claassen, H., Ehmer, U., Mischke, K.-L., Wree, A. (2007) *Fernröntgenseitenbild-Analyse*. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag.
- Panenková, P., Beňuš, R., Masnicová, S., Obertová, Z., Grunt, J. (2012) Facial soft tissue thicknesses of the mid-face for Slovak population. *Forensic Sci. Int.* 220:293.e1-293.e6. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.02.015>
- Pasler, F.A. (2008) *Zahnärztliche Radiologie: 11 Tabellen, 5., aktualisierte Aufl. ed.* Stuttgart: Thieme.
- Peckmann, T.R., Harris, M., Huculak, M., Pringle, A., Fournier, M. (2015) In vivo facial tissue depth for Canadian Mi'kmaq adults: A case study from Nova Scotia, Canada. *J. Forensic Leg. Med.* 29:43–53. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2014.12.004>
- Perlaza Ruiz, N.A. (2013) Facial soft tissue thickness of Colombian adults. *Forensic Sci. Int.* 229:160.e1-160.e9. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.03.017>
- Phillips, V.M., Smuts, N.A. (1996) Facial reconstruction: utilization of computerized tomography to measure facial tissue thickness in a mixed racial population. *Forensic Sci. Int.* 83:51–59. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(96\)02010-5](https://doi.org/10.1016/0379-0738(96)02010-5)
- Preston-Martin, S., Paganini-Hill, A., Henderson, B.E., Pike, M.C., Wood, C. (1980) Case-Control Study of Intracranial Meningiomas in Women in Los Angeles County, California. *JNCI J. Natl. Cancer Inst.* 65:67-73. <https://doi.org/10.1093/jnci/65.1.67>
- Püschel, K., Säring, D., Käsemann, P., Scheuermann, S., Kreutz, K., Ohlrogge, S., Wittwer-Backofen, U., Burrath, S., Wilkinson, C., Bauerochse, A., Schultz, M., Jopp, E. (2011) Interdisziplinäre Gesichtsrekonstruktion einer Moorleiche. *Rechtsmedizin* 21:221–224. <https://doi.org/10.1007/s00194-011-0762-0>
- Relethford, J.H. (2002) Apportionment of global human genetic diversity based on craniometrics and skin color. *Am. J. Phys. Anthropol.* 118:393–398. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10079>
- Robetti, I., Iorio, M., Mascaro, V. (1982) Die Stärke des Weichgewebes des Gesichtes zur Personenidentifizierung. *Z. Für Rechtsmed.* 89:119–124. <https://doi.org/10.1007/BF02092379>

- Rocha, S. dos S., Ramos, D.L. de P., Cavalcanti, M. de G.P. (2003) Applicability of 3D-CT facial reconstruction for forensic individual identification. *Pesqui. Odontológica Bras.* 17:24–28. <https://doi.org/10.1590/S1517-74912003000100005>
- Rohrich, R.J., Pessa, J.E. (2007) The Fat Compartments of the Face: Anatomy and Clinical Implications for Cosmetic Surgery: *Plast. Reconstr. Surg.* 119:2219–2227. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000265403.66886.54>
- Rösing, F.W., Graw, M., Marré, B., Ritz-Timme, S., Rothschild, M.A., Röttscher, K., Schmeling, A., Schröder, I., Geserick, G. (2005) Empfehlungen für die forensische Geschlechts- und Altersdiagnose am Skelett. *Anthropol. Anz.* 63:221–232.
- Sahni, D., Sanjeev, Singh, G., Jit, I., Singh, P. (2008) Facial soft tissue thickness in northwest Indian adults. *Forensic Sci. Int.* 176:137–146. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.07.012>
- Sarnäs, K.V., Solow, B. (1980) Early adult changes in the skeletal and soft-tissue profile. *Eur. J. Orthod.* 2:1–12.
- Schindler, C., Schellong, S.M. (2009) Drug-induced oedema: Pathophysiology, diagnosis and management. *Phlebologie* 38:33–41. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1622248>
- Schramm, A., Rücker, M., Grotzer, D., Zizelmann, Ch., Schön, R., Gellrich, N.-C. (2007) Computer assisted reconstruction of face and skull, in: Buzug, T.M. (Ed.), *Facial Reconstruction: Forensic, Medical and Archeological Methods of the Reconstruction of Soft Facial Parts = Gesichtsrekonstruktion: Forensische, Medizinische Und Archäologische Methoden Der Gesichtsweichteilrekonstruktion*. München: Polizei + Forschung. Luchterhand. pp. 519–529.
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U. (2006) *Kopf und Neuroanatomie: 1182 Illustrationen, 72 Tabellen*, Prometheus. Stuttgart, New York: Thieme Verlag.
- Shimofusa, R., Yamamoto, S., Horikoshi, T., Yokota, H., Iwase, H. (2009) Applicability of facial soft tissue thickness measurements in 3-dimensionally reconstructed multidetector-row CT images for forensic anthropological examination. *Leg. Med.* 11:256–259. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2009.01.036>
- Simpson, E., Henneberg, M. (2002) Variation in soft-tissue thicknesses on the human face and their relation to craniometric dimensions. *Am. J. Phys. Anthropol.* 118:121–133. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10073>
- Sipahioğlu, S., Ulubay, H., Diren, H.B. (2012) Midline facial soft tissue thickness database of Turkish population: MRI study. *Forensic Sci. Int.* 219:282.e1–282.e8. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.11.017>
- Smith, S.L., Throckmorton, G.S. (2006) Comparability of Radiographic and 3D-Ultrasound Measurements of Facial Midline Tissue Depths*. *J. Forensic Sci.* 51:244–247. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00069.x>
- Sökefeld, M. (2007) *Problematische Begriffe: "Ethnizität", "Rasse", "Kultur", "Minderheit."*. München: Universitätsbibliothek der Ludwig-Maximilians-Universität. <https://doi.org/10.5282/UBM/EPUB.29311>
- Statistisches Bundesamt (2020) *Statistisches Bundesamt - Anteile an der deutschen Erwachsenenbevölkerung nach Körpermaßen (BMI) und Altersgruppen im Jahr 2017 [Internet] 08/2018 [zitiert am 18.04.2020] URL* <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/256578/umfrage/bevoelkerungsan-teile-in-deutschland-nach-koerpermassen-bmi-und-altersgruppen/#statisticContainer>.

- Statistisches Bundesamt (2019) Statistisches Bundesamt - Pressemitteilung Nr. 314 vom 21. August 2019 [Internet] 08/2019 [zitiert am 18.04.2020]. URL https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2019/08/PD19_314_12511.html;jsessionid=EF93FC5F2219C0268B12212C7ACB5CB4.internet8712.
- Stauber, M., Weyerstahl, T., Beham, A. (Eds.) (2005) Gynäkologie und Geburtshilfe: 213 Tabellen ; [mit Video-CD-ROM: Filme zu Spontangeburt und Sectio], 2., aktualisierte Aufl. mit Video-CD-ROM. ed, Duale Reihe. Stuttgart: Thieme.
- Stephan, C.N., Norris, R.M., Henneberg, M. (2005) Does Sexual Dimorphism in Facial Soft Tissue Depths Justify Sex Distinction in Craniofacial Identification? *J. Forensic Sci.* 50:1–6. <https://doi.org/10.1520/JFS2004251>
- Stephan, C.N., Simpson, E.K. (2008) Facial Soft Tissue Depths in Craniofacial Identification (Part I): An Analytical Review of the Published Adult Data*. *J. Forensic Sci.* 53:1257-1272 <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00852.x>
- Strahlenschutzkommission (2015) Cone Beam-Computertomografie (CBCT) und Mammatomosynthese: Empfehlung der Strahlenschutzkommission. 277.Sitzung der Strahlenschutzkommission 02./03.Juli 2015
- Suazo Galdames, I.C., Cantín López, M., Zavando Matamala, D.A., Perez Rojas, F.J., Torres Muñoz, S.R. (2008) Comparisons in Soft-Tissue Thicknesses on the Human Face in Fresh and Embalmed Corpses Using Needle Puncture Method. *Int. J. Morphol.* 26:165-169 <https://doi.org/10.4067/S0717-95022008000100027>
- Sutton, P.R.N. (1969) Bizygomatic diameter: The thickness of the soft tissues over the zygions. *Am. J. Phys. Anthropol.* 30:303–310. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330300215>
- Tedeschi-Oliveira, S.V., Melani, R.F.H., de Almeida, N.H., de Paiva, L.A.S. (2009) Facial soft tissue thickness of Brazilian adults. *Forensic Sci. Int.* 193:127.e1-127.e7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.09.002>
- Tischendorf, F.W., Beck, M. (Eds.) (2008) Der diagnostische Blick: Atlas und Textbuch der Differenzialdiagnostik ; mit 43 Tabellen, 7., komplett überarb. und erw. Aufl. ed. Stuttgart: Schattauer.
- Todd, T.W., Lindala, A. (1928) Thickness of the subcutaneous tissues in the living and the dead. *Am. J. Anat.* 41:153–196. <https://doi.org/10.1002/aja.1000410202>
- Uman, L.S. (2011) Systematic reviews and meta-analyses. *J. Can. Acad. Child Adolesc. Psychiatry J. Acad. Can. Psychiatr. Infant Adolesc.* 20:57–59.
- Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (2020) Universitätsmedizin Mainz - ZMK - Patienteninformation der Röntgenabteilung. [Internet]. Last updated 04/02/2020 [zitiert am 18.04.2020]. URL <https://www.unimedizin-mainz.de/zmk/roentgenabteilung/patienteninformation.html>.
- Utsuno, H., Kageyama, T., Uchida, K., Yoshino, M., Oohigashi, S., Miyazawa, H., Inoue, K. (2010) Pilot study of facial soft tissue thickness differences among three skeletal classes in Japanese females. *Forensic Sci. Int.* 195:165.e1-165.e5. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.10.013>
- Valentin, J., International Commission on Radiological Protection (Eds.) (2007) The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication. Oxford: Elsevier.
- Wenker, M. (2017) Computertomographie (CT), in: Kahl-Scholz, M., Vockelmann, C. (Eds.), *Basiswissen Radiologie*, Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer. pp. 41–53. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54278-1_6

- World Health Organization (2020) Nutrition: Body mass index - BMI [Internet] 2020 [zitiert am 18.04.2020]. URL <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>.
- Yeh, J.-K., Chen, C.-H. (2018) Estimated radiation risk of cancer from dental cone-beam computed tomography imaging in orthodontics patients. *BMC Oral Health* 18, 131. <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0592-5>
- Zinser, M.J., Mischkowski, R.A., Sailer, H.F., Zöller, J.E. (2012) Computer-assisted orthognathic surgery: feasibility study using multiple CAD/CAM surgical splints. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol.* 113:673–687. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2011.11.009>

8. ANHANG

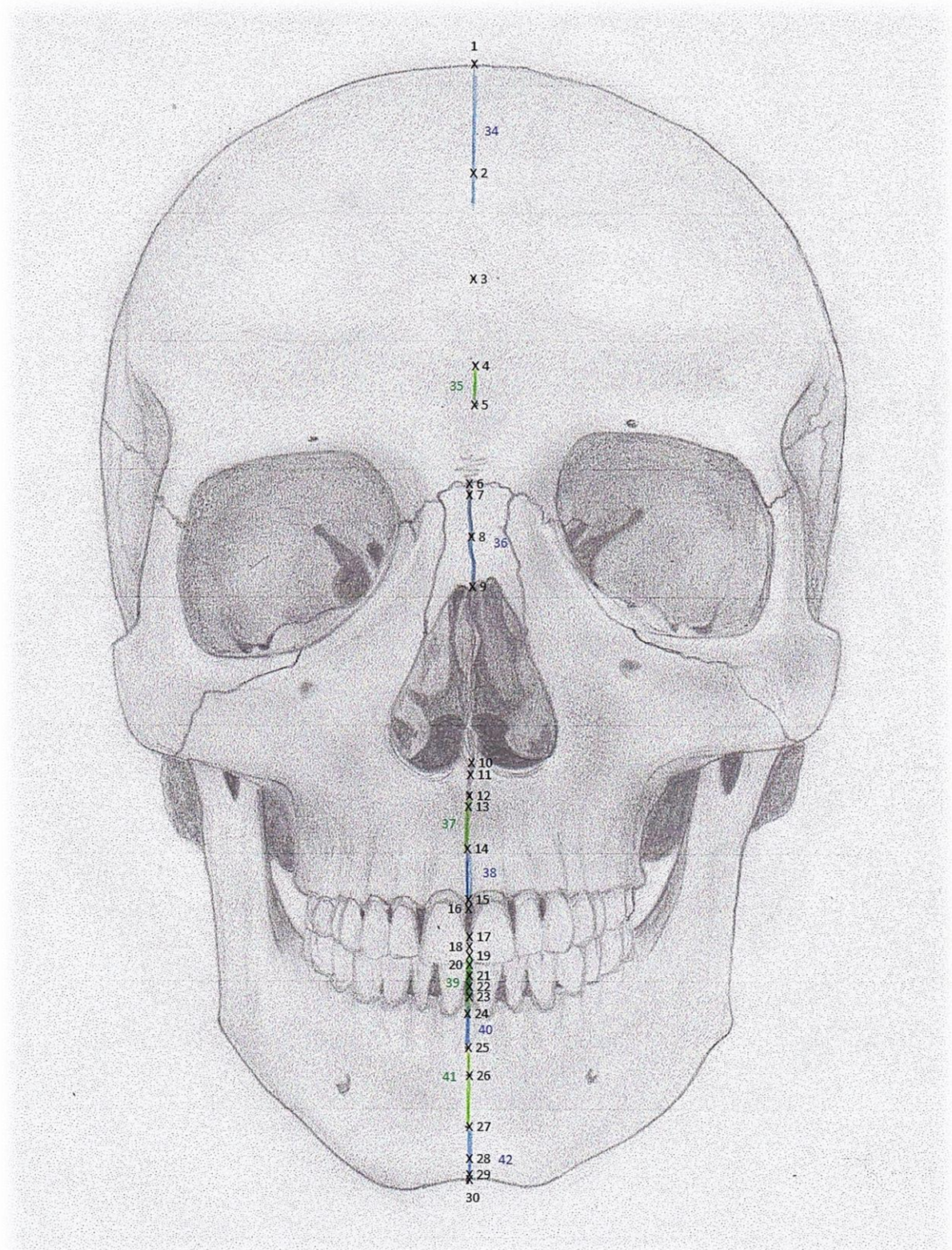


Abbildung 34: Frontalansicht, der in der Medianebene liegenden Landmarks aus der Literatur
 Definition: Tabelle 11; farbig: Landmark, die sich in dem markierten Bereich befindet
 (gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.4))

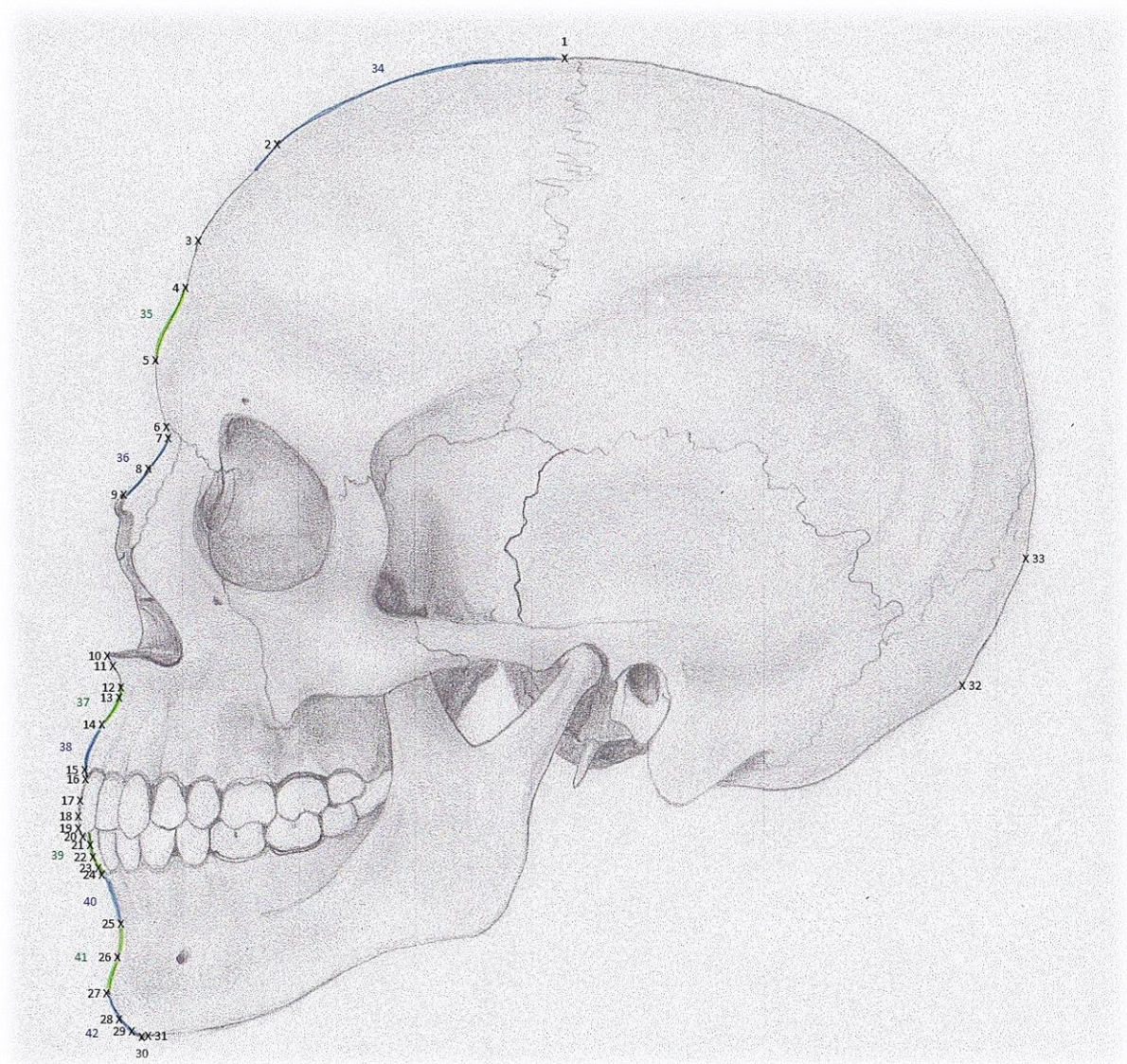


Abbildung 35: Seitenansicht, der in der Medianebene liegenden Landmarks aus der Literatur
 Definition: Tabelle 11; farbig: Landmark, die sich in dem markierten Bereich befindet
 (gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.2))

Tabelle 11: Landmarks der Literatur (Medianebene)

Nr.	Definition	verwendet in ¹
1	Vertex: der am weitesten superior gelegene Punkt des Schädeldachs in der Medianebene	15, 17, 26
2	Punkt mittig auf der Squame frontalis in der Medianebene	1, 4, 15, 18, 26
3	Metopion: Punkt auf Höhe der höchsten Erhebung der Eminentia frontalis in der Medianebene	7, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 30, 31, 34, 39
4	tiefster Punkt zwischen Metopion (3) und Glabella (5) in der Medianebene	6, 20, 28
5	Glabella: prominentester Punkt des Os frontale in der Medianebene	4, 6, 7, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 39
6	Nasion: Punkt auf der Medianebene am Schnittpunkt mit der Sutura nasofrontalis	4, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39
7	Am weitesten posterior gelegene Punkt des Os nasale in der Medianebene	1, 26, 30
8	Mittelpunkt zwischen Nasion (6) und Rhinion (9) in der Medianebene	6, 33
9	Rhinion: Punkt in der Medianebene am untersten Ende der Sutura internasalis	6, 7, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39
10	Acanthion: vorderster Punkt der Spina nasalis anterior	6, 11, 39
11	Punkt auf Höhe der untersten Ränder der Apertura piriformis in der Medianebene	26, 34
12	A-Punkt: Punkt in der Medianebene am weitesten posterior gelegen an der Einziehung unterhalb der Spina nasalis anterior	1, 6, 8, 12, 13, 16, 18, 20, 22, 23, 25, 27, 28, 30, 36, 37
13	Punkt in der Medianebene, der 3mm unterhalb (12) (A-Punkt) liegt	29
14	Punkt in der Medianebene genau mittig zwischen (12) (A-Punkt) und (16) (Prosthion) liegend	9, 11, 14, 15, 17, 19, 24, 26, 27, 31, 33, 34, 35
15	Punkt auf Höhe der Schmelz-Zement Grenze der zentralen Oberkieferinzisivi in der Medianebene	1, 16, 23, 28, 34, 39
16	Prosthion: am weitesten anterior-inferior gelegener Punkt der Maxilla (zwischen den zentralen Inzisivi auf dem Alveolarknochen) in der Medianebene	7, 8, 11, 14, 15, 21, 22, 25, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38
17	Schnittpunkt zwischen der maximalen Krümmung der Zahnkrone des prominenteren ersten Oberkieferinzisivus und der Medianebene	6, 17, 26, 29
18	Punkt in der Medianebene auf Höhe der maximalen unteren Krümmung der Inzisalkante des anterioren zentralen Oberkieferinzisivus	6
19	Schnittpunkt zwischen dem am weitesten anterior gelegenen Punkt des prominenteren ersten Oberkieferinzisivus und der Medianebene	3, 22, 25, 36, 37
20	Punkt auf Höhe der Inzisalkante der zentralen Oberkieferinzisivi in der Medianebene	26, 33
21	Punkt in der Medianebene auf Höhe des vordersten Punktes des prominenteren ersten Unterkieferinzisivus	26
22	Punkt auf Höhe der maximalen Krümmung der Zahnkrone des prominenteren ersten Unterkieferinzisivus in der Medianebene	6, 17

23	Infradentale: am weitesten superior-anterior gelegener Punkt des Unterkieferalveolarfortsatzes (zwischen den zentralen Inzisivi gelegen) in der Medianebene	11, 14, 15, 21, 22, 25, 31, 32, 33, 36, 37
24	Punkt auf Höhe der Schmelz-Zement Grenze der zentralen Unterkieferinzisivi in der Medianebene	16, 23, 30, 39
25	B-Punkt: der am weitesten posterior gelegene Punkt des Unterkiefers in der Medianebene	4, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39
26	Suprapogonion: Punkt, der am Übergang der Konvexität der Symphysis mandibulae zur Konkavität der Symphysis mandibulae in der Medianebene liegt	5, 29
27	Pogonion: der am weitesten anterior gelegene Punkt der Protuberantia mentalis in der Medianebene	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39
28	Punkt in der Medianebene, der mittig zwischen (27) (Pogonion) und (30) (Menton) liegt	6
29	Gnathion: der am weitesten anterior-inferior gelegene Punkt auf der Symphysis mandibulae	11, 17, 18, 20, 22, 26, 33, 34, 37
30	Menton: der am weitesten inferior gelegene Punkt der Symphysis mandibulae	1, 5, 6, 7, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 30, 31, 33, 36, 37, 38, 39
31	Punkt in der Medianebene, der zentral auf der Unterseite der Mandibula liegt	9, 24, 35
32	Inion: der prominenteste Punkt des Os Occipitale auf der Protuberantia occipitalis externa in der Medianebene	15, 17, 26
33	Opisthocranion: Punkt in der Medianebene auf dem Os Occipitale, der von (5) (Glabella) aus am weitesten posterior gelegen ist und den größten Durchmesser des Schädels beschreibt	15, 17, 26
34	Punkt in der Medianebene auf der Schädeloberseite vor (1) (Vertex) liegend	26
35	Punkt in der Medianebene oberhalb (5) (Glabella) und unterhalb (4) (dem tiefsten Punkt zwischen Glabella und Metopion in der Medianebene)	1, 9, 24, 35
36	Punkt auf dem Os nasale zwischen (7) (der am weitesten posterior gelegene Punkt des Os nasale in der Medianebene) und (9) (Rhinion) in der Medianebene	1
37	Punkt auf dem Oberkiefer in der Medianebene zwischen (12) (A-Punkt) und (14) (Punkt in der Medianebene genau mittig zwischen (12) (A-Punkt) und (16))	7, 21, 32
38	Punkt auf dem Alveolarfortsatz des Oberkiefers in der Medianebene zwischen (14) (Punkt in der Medianebene genau mittig zwischen (12) (A-Punkt) und (16) (Prosthion)) und (16) (Prosthion)	12,34
39	Punkt auf den zentralen Unterkieferinzisivi in der Medianebene	3, 7, 27
40	Punkt in der Medianebene auf dem Unterkieferalveolarfortsatz zwischen (23) (Infradentale) und (25) (B-Punkt)	27, 34
41	Punkt zwischen (25) (B-Punkt) in der Medianebene und (27) (Pogonion)	1, 11, 26
42	Punkt in der Medianebene zwischen (27) (Pogonion) und (30) (Menton)	1

¹ Literaturstellen: 1 = His, 2 = Sutton, 3 = Sarnäs und Solow, 4 = Robetti et al., 5 = Michelow und Guyuron, 6 = Aulsebrook et al., 7 = Phillips und Smuts, 8 = Kasai, 9 = Manhein et al., 10 = El-Mehallawi, 11 = Simpson und Henneberg, 12 = Domaracki und Stephan, 13 = Smith an Throckmorton, 14 = De Greef et al., 15 = Niinimäki und Karttunen, 16 = Bellmann et al., 17 = Sahni et al., 18 = Suazo Galdames et al., 19 = Codinha, 20 = Shimofusa et al., 21 = Tedeschi-Oliveira et al., 22 = Utsuno et al., 23 = Cavanagh und Steyn, 24 = Chan et al., 25 = Kurkcuoglu et al., 26 = Chen et al., 27 = Sipahioğlu et al., 28 = Panenková et al., 29 = Negi et al., 30 = Dong et al., 31 = Hwang et al., 32 = Perlaza Ruiz,

33 = *Guyomarc'h et al.*, 34 = *de Almeida et al.*, 35 = *Peckmann et al.*, 36 = *Gungor et al.*, 37 = *Jeelani et al.*, 38 = *Baillie et al.*, 39 = *Lodha et al.*

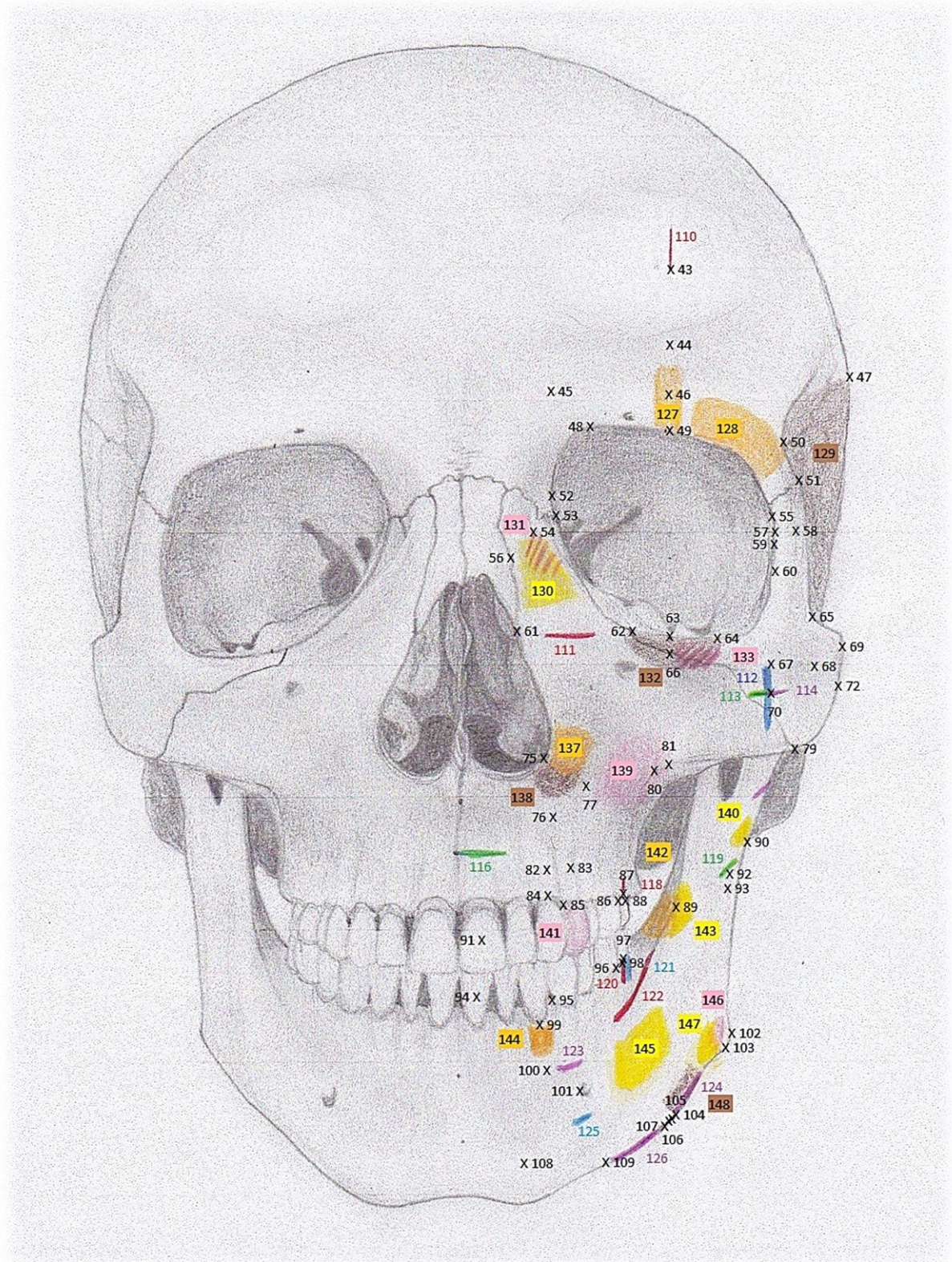


Abbildung 36: Frontalansicht, der bilateral liegenden Landmarks aus der Literatur
 Definition: Tabelle 12; farbig: Landmark, die sich in dem markierten Bereich befindet
 (gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.4))

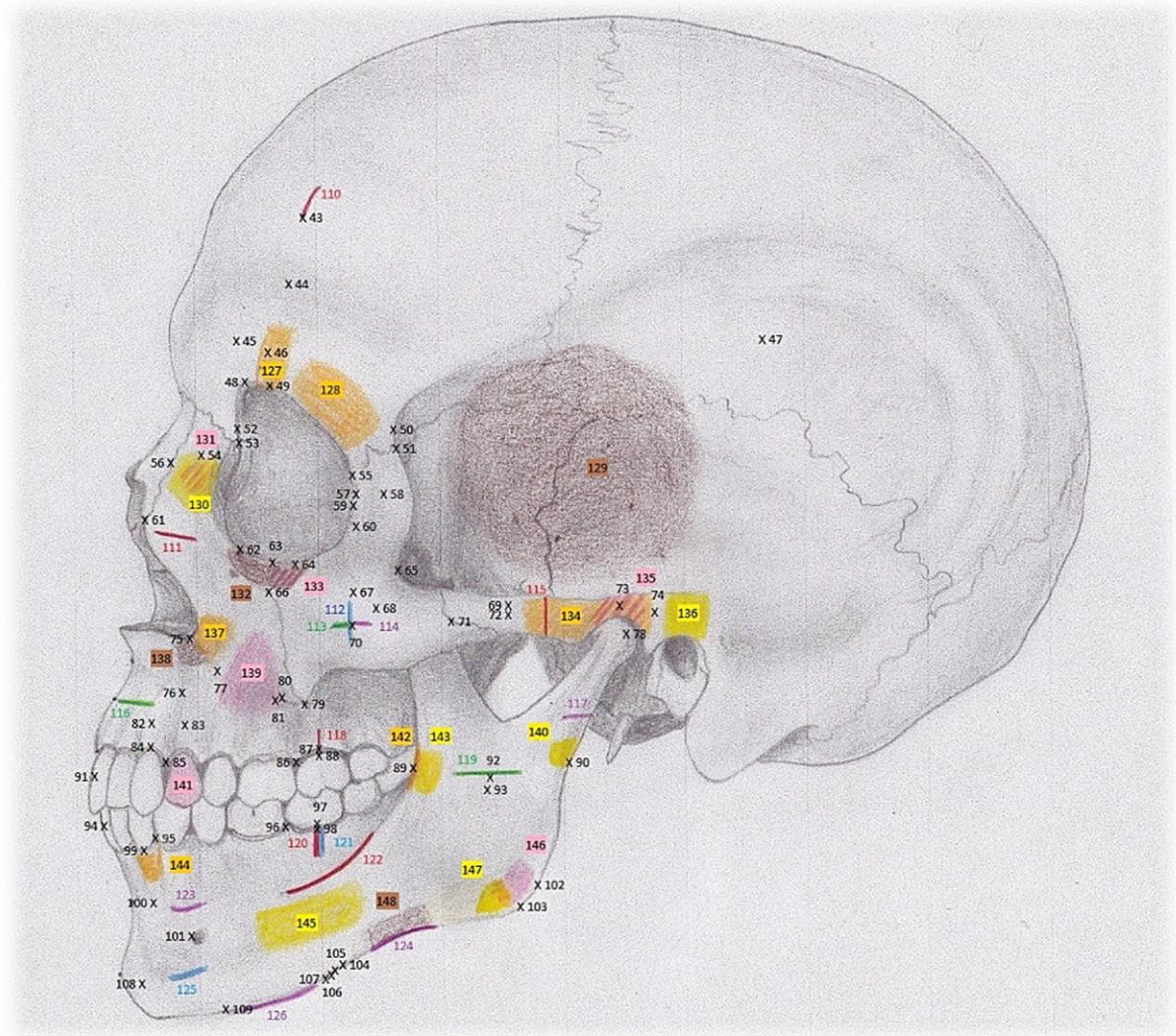


Abbildung 37: Seitenansicht, der bilateral liegenden Landmarks aus der Literatur
 Definition: Tabelle 12; farbig: Landmark, die sich in dem markierten Bereich befindet
 (gezeichnet durch die Autorin, Vorlage: Schünke et al. (2006, p.2))

Tabelle 12: Landmarks der Literatur (bilateral)

Nr.	Definition	verwendet in ¹
43	Maximale Erhebung der Eminentia frontalis	7, 14, 15, 16, 21, 23, 26, 30, 31, 34
44	Schnittpunkt zwischen der tiefsten Stelle der Stirn zwischen Eminentia frontalis und Torus supraorbitalis (markiert Horizontalebene) und dem Zentrum der Augenhöhle (markiert Vertikalebene)	6, 10
45	Schnittpunkt zwischen der maximalen Erhebung des Torus supraorbitalis (markiert Horizontalebene) und dem medialen Orbitarand (markiert Vertikalebene)	6, 10
46	Schnittpunkt zwischen der maximalen Erhebung des Torus supraorbitalis (markiert Horizontalebene) und dem Zentrum der Orbita (markiert Vertikalebene)	1, 4, 6, 7, 10, 14, 19, 20, 31, 33, 39
47	Euryon: Punkt auf jeder Seite des Schädels, die den größten Durchmesser des Schädels markieren	26
48	höchster Punkt des oberen Orbitarandes	16, 23, 28, 33
49	Schnittpunkt zwischen dem oberen Orbitarand und dem Zentrum der Orbita (markiert Vertikalebene)	12, 15, 17, 18, 21, 26, 30, 32, 34
50	anterio-medialster Punkt der Linea temporalis	23, 33
51	posteriorster Punkt der Sutura zygomaticofrontalis	33
52	medialster Punkt des medialen Orbitarandes	34, 39
53	Dacryon: Punkt, der die Verbindungsstelle zwischen Os maxillare, Os lacrimale und Os frontale markiert	14, 31
54	Punkt mittig auf dem Processus frontalis maxillae in Höhe der Mitte der Orbita (markiert Horizontalebene)	23
55	Punkt auf dem lateralen Orbitarand, gegenüber von (53) (Dacryon)	33
56	Punkt, der mittig auf der nasomaxillaren Suture liegt	33
57	Punkt, der genau mittig auf dem lateralen Orbitarand liegt	18, 26, 34
58	mittig auf Processus frontalis des Os zygomaticum liegender Punkt auf Höhe des lateralsten Punktes der Orbita	9, 14, 15, 24, 31, 35
59	Punkt in Höhe des Whitnall's tubercle am lateralen Orbitarand	17
60	10mm unterhalb des lateralsten Punktes der Orbita liegender Punkt	16
61	inferiorster Punkt der Sutura nasomaxillaris	33
62	Punkt am unteren Orbitarand auf Sutura zygomaticomaxillaris	33, 39
63	Schnittpunkt zwischen dem unteren Rand der Orbita und dem Zentrum der Orbita (markiert Vertikalebene)	1, 4, 12, 17, 18, 19, 21, 26, 30, 32, 34
64	tiefster Punkt des unteren Orbitarandes	16, 20, 23, 28, 33
65	antero-inferiorster Punkt des posterioren Randes des Os zygomaticum	33, 39
66	Schnittpunkt zwischen der Sutura zygomaticomaxillaris und dem Zentrum der Orbita (markiert Vertikalebene)	7, 15
67	Schnittpunkt zwischen einem Punkt 10mm unterhalb des unteren Orbitarandes (markiert Horizontalebene) und dem lateralsten Punkt der Orbita (markiert Vertikalebene)	28
68	prominentester Punkt des Os zygomaticum	17, 33
69	Zygion: der lateralste Punkt des Arcus zygomaticus	2, 4, 6, 10, 14, 15, 18, 19, 21, 23, 26, 30, 31, 32, 33, 34, 38
70	Schnittpunkt zwischen dem lateralen Orbitarand (markiert Vertikalebene) und der mittleren Höhe des Os zygomaticum (markiert Horizontalebene) (kann auch auf mittlerer Höhe des Processus zygomaticus maxillae liegen)	4, 15, 19, 21, 30, 32
71	Punkt mittig auf Sutura zygomaticotemporalis	11
72	Punkt, welcher von frontal aus betrachtet im lateralsten Bereich des Arcus zygomaticus (markiert Vertikalebene) und auf Höhe genau mittig auf Arcus zygomaticus (markiert Horizontalebene) liegt.	7
73	Schnittpunkt zwischen dem Mittelpunkt des posterioren Ende des Processus zygomaticus ossis temporalis (markiert Horizontalebene) und	6, 10, 15, 21, 28, 30, 32

ANHANG

	dem Mittelpunkt des des Processus condylaris der Mandibula (markiert Vertikalebene)	
74	Punkt vor dem Porus acousticus externus, der den Schnittpunkt zwischen der Mitte des Processus postglenoidalis (markiert Vertikalebene) und der Mitte des Arcus zygomaticus (markiert Horizontalebene) bildet	16, 23
75	lateralster Punkt am unteren Rand der Apertura piriformis	15, 34
76	postero-medialster Punkt der Fossa canina	33
77	tiefster Punkt der Fossa canina	28
78	lateralster Punkt des Processus condylaris der Mandibula	33
79	inferiorster Punkt der Sutura zygomaticomaxillaris	23, 33
80	antero-supero-medialster Punkt der Beugung der Maxilla	33, 39
81	Schnittpunkt zwischen dem Zentrum der Orbita (markiert Vertikalebene) und dem Übergang des Processus zygomaticus maxillae in die Maxilla (markiert Horizontalebene)	7, 21, 32, 34
82	Punkt auf maximaler Prominenz der Juga alveolaris des Oberkiefercaninus	6, 9, 10, 11, 14, 15, 23, 24, 31, 35
83	Punkt im Bereich der Juga alveolaris des ersten Oberkieferprämolaren, der den Schnittpunkt zwischen dem Mittelpunkt der Krone des ersten Prämolaren (markiert Vertikalebene) und (82) (der maximalen Prominenz der Juga alveolaris des Oberkiefercaninus) (markiert Horizontalebene) bildet	6, 10
84	Punkt marginal-mittig auf dem Processus alveolaris des Oberkiefercaninus	19, 33, 34
85	am weitesten antero-inferior gelegener Punkt auf dem Alveolarkamm interdental zwischen dem ersten Oberkieferprämolaren und dem Oberkiefercaninus	26
86	am weitesten antero-inferior gelegener Punkt auf dem Alveolarkamm interdental zwischen dem ersten und zweiten Oberkiefermolaren	26
87	Punkt mittig marginal auf dem Processus alveolaris des zweiten Oberkiefermolaren	7, 19, 30, 33
88	superiorster Punkt der Vestibularfläche des zweiten Oberkiefermolaren mittig an der Grenze zum Alveolarknochen liegend	38
89	Punkt am anterior-lateralen Rand des Ramus mandibulae auf Höhe der Okklusionsebene (markiert Horizontalebene)	15, 16, 19, 21, 23, 28, 30, 32, 34
90	Punkt am posterioren Rand des Ramus mandibularis mittig zwischen Condylion (am weitesten superior-posterior gelegener Punkt des Processus condylaris) und (103) (Gonion)	19
91	genau mittig auf der vestibulären Fläche des zentralen Oberkieferinzisivus liegender Punkt	23
92	Mittelpunkt der kürzesten antero-posterior Distanz des Ramus mandibularis	1, 11, 15, 33
93	Punkt im Zentrum des Ramus mandibularis	26, 34
94	genau mittig auf der vestibulären Fläche des zentralen Unterkieferinzisivus liegender Punkt	23
95	am weitesten antero-superior gelegener Punkt auf dem Alveolarkamm interdental zwischen dem ersten Unterkieferprämolaren und dem Unterkiefercaninus	26
96	am weitesten antero-superior gelegener Punkt auf dem Alveolarkamm interdental zwischen dem ersten und zweiten Unterkiefermolaren	26
97	inferiorster Punkt der Vestibularfläche des zweiten Unterkiefermolaren mittig an der Grenze zum Alveolarknochen liegend	38
98	Punkt mittig marginal auf dem Processus alveolaris des zweiten Unterkiefermolaren	9, 19, 24, 33, 35
99	Punkt mittig marginal auf dem Processus alveolaris des Unterkiefercaninus	19, 33
100	Punkt auf Höhe von (25) (B-Punkt) in vertikaler Verbindung zu (82) (Punkt auf maximalen Prominenz der Juga alveolaris des Oberkiefercaninus)	6, 10, 14, 31
101	am weitesten anterior liegender Punkt des Formalen mentale	33
102	lateralster Punkt des Kieferwinkels	15, 16, 21, 23, 32

ANHANG

103	Gonion: Punkt am lateralen Rand des Kieferwinkels, der durch die Winkelhalbierende zwischen dem posterioren Rand des Ramus mandibulae und dem inferioren Rand des Corpus mandibulae markiert wird	4, 7, 9, 11, 14, 17, 18, 19, 24, 26, 30, 31, 33, 34, 35, 38, 39
104	Punkt am inferioren Rand der Mandibula mittig zwischen (30) (Menton) und (103) (Gonion)	4, 19
105	Schnittpunkt zwischen dem inferioren Rand der Mandibula und dem zweiten Oberkiefermolaren (markiert Vertikalebene)	9, 14, 15, 24, 31, 35
106	Schnittpunkt zwischen dem inferioren Rand der Mandibula und dem zweiten Unterkiefermolaren (markiert Vertikalebene)	38
107	Punkt am inferioren Rand der Mandibula mittig zwischen (27) (Pogonion) und (103) (Gonion)	33
108	prominentester Punkt des Tuberculum mentale	6, 10, 14, 23, 31
109	Schnittpunkt zwischen dem inferioren Rand der Mandibula und der Mitte des zweiten Unterkieferprämolaren (markiert Vertikalebene)	38
110	Punkt superior (43) (Maximale Erhebung der Eminentia frontalis)	17
111	Punkt auf dem Nasenrücken, der zwischen Orbita und Sutura internasalis und auf Höhe der Frankfurter Horizontalebene liegt	31
112	Auf dem Os zygomaticum auf Höhe des lateralen Orbitarand (markiert die Vertikalebene) liegender Punkt	7, 9, 24, 35
113	medial des Schnittpunktes zwischen dem lateralen Orbitarand (markiert die Vertikalebene) und der Mitte des Os zygomaticums (markiert die Horizontalebene) gelegener Punkt	26, 34
114	lateral des Schnittpunktes zwischen dem lateralen Orbitarand (markiert die Vertikalebene) und der Mitte des Os zygomaticums (markiert die Horizontalebene) gelegener Punkt	14, 31
115	Punkt auf der Hälfte der Länge des Arcus zygomaticus	16, 28
116	lateral von (14) (Punkt in der Medianebene genau mittig zwischen (12) (A-Punkt) und (16) (Prosthion) liegend), unterhalb der Apertura piriformis liegender Punkt	6, 10, 14, 31
117	Punkt mittig zwischen Meatus acusticus externus und (119) (Auf Ramus mandibularis gelegener Punkt, mittig zwischen inferioren Rand des Arcus zygomaticus und inferioren Rand der Mandibula liegend. Die posteriore Begrenzung bildet der posteriore Rand des Ramus mandibularis, die anteriore knöcherne Begrenzung fehlt (Weichgewebe: anteriorer Rand des M. masseter)	23
118	Punkt oberhalb des marginalen Randes des Processus alveolaris des zweiten Oberkiefermolaren, auf Höhe der Mitte der Krone des zweiten Oberkiefermolaren (markiert Vertikalebene) gelegen	9, 14, 15, 17, 21, 23, 24, 28, 31, 32, 34, 35, 39
119	Auf Ramus mandibularis gelegener Punkt, mittig zwischen inferioren Rand des Arcus zygomaticus und inferioren Rand der Mandibula liegend. Die posteriore Begrenzung bildet der posteriore Rand des Ramus mandibularis, die anteriore knöcherne Begrenzung fehlt (Weichgewebe: anteriorer Rand des M. masseter)	6, 10, 23
120	Punkt unterhalb des marginalen Randes des Processus alveolaris des zweiten Unterkiefermolaren, in Höhe zur Mitte der Krone des zweiten Unterkiefermolaren (markiert Vertikalebene)	7, 15, 21, 23, 30, 32, 34, 38
121	Punkt auf Processus alveolaris inferio-lateral des zweiten Unterkiefermolaren in Höhe der Mitte des zweiten Oberkiefermolaren (markiert Vertikalebene)	14, 31
122	Punkt auf der Linea obliqua	33
123	Punkt auf Höhe von (25) (B-Punkt) in vertikaler Verbindung zu (141) (Punkt auf der Krone des ersten Oberkieferprämolaren)	6, 10
124	Punkt am inferioren Rand der Mandibula	26
125	Punkt auf Höhe (108) (prominentester Punkt des Tuberculum mentale) in vertikaler Verbindung zu (141) (Punkt auf der Krone des ersten Oberkieferprämolaren)	6, 10
126	Punkt am inferioren Rand der Mandibula	11
127	oberhalb des Orbitarandes gelegener Punkt	9, 11, 24, 35
128	Punkt auf Os frontale supero-laterale der Orbita liegend	4, 18
129	Punkt in Fossa temporalis	12, 26

130	Punkt der zwischen Orbita und Sutura internasalis, sowie superior der Höhe von (9) (Rhinion) und inferior der Höhe (52) (medialster Punkt des medialen Orbitarandes) liegt.	14
131	Punkt zwischen Sutura internasalis und medialer Orbitarand auf Höhe von (8) (Mittelpunkt zwischen Nasion (6) und Rhinion (9) in der Medianebene) (markiert Horizontalebene)	6
132	Punkt unterhalb des unteren Orbitarandes	6, 10, 14, 31
133	lateral und inferior des Schnittpunktes zwischen dem unteren Orbitarand und des Zentrums der Orbita (markiert die Vertikalebene) gelegener Punkt	9, 24, 35
134	Punkt im posterioren Bereich des Arcus zygomaticus vor dem Porus acusticus gelegen	1, 9, 24, 34, 35
135	Punkt am posterioren Ende des Processus zygomaticus ossis temporalis auf Höhe des Processus condylaris der Mandibula (markiert die Vertikalebene)	7, 14, 31
136	Punkt oberhalb des Meatus acusticus	17
137	Punkt lateral des unteren Anteils der Apertura piriformis	9, 11, 24, 35
138	Punkt lateral und inferior der Apertura piriformis	14, 31
139	Punkt auf der Facies anterior der Maxilla	11, 14, 15, 31
140	Punkt mittig zwischen (135) (Punkt am posterioren Ende des Processus zygomaticus ossis temporalis in vertikaler Verbindung zum Processus condylaris der Mandibula) und dem (103) Gonion	14, 31
141	Punkt auf der Krone des ersten Oberkieferprämolaren	6, 10
142	Punkt im anterioren Bereich des Ramus mandibulae	34
143	Punkt im anterioren Bereich des Ramus mandibularis (nicht am Rand) auf Höhe der Okklusionsebene (markiert Horizontalebene)	7, 14, 31
144	Punkt auf Juga alveolaris des Unterkiefercaninus	9, 15, 24, 34, 35
145	Punkt im mittleren Bereich des Corpus mandibulae liegend	11, 15
146	Punkt im Bereich des Unterkieferwinkel auf dem Ramus mandibularis (nicht am Unterkieferrand)	1
147	Punkt anterior (103) (Gonion) liegend	6, 10
148	Punkt auf Mandibula (knöcherner Begrenzung fehlt, Weichgewebe: am anterioren Ansatzpunkt des M. masseter)	1, 6, 10

¹ Literaturstellen: 1 = His, 2 = Sutton, 3 = Sarnäs und Solow, 4 = Robetti et al., 5 = Michelow und Guyuron, 6 = Aulsebrook et al., 7 = Phillips und Smuts, 8 = Kasai, 9 = Manhein et al., 10 = El-Mehallawi, 11 = Simpson und Henneberg, 12 = Domaracki und Stephan, 13 = Smith an Throckmorton, 14 = De Greef et al., 15 = Niinimäki und Karttunen, 16 = Bellmann et al., 17 = Sahni et al., 18 = Suazo Galdames et al., 19 = Codinha, 20 = Shimofusa et al., 21 = Tedeschi-Oliveira et al., 22 = Utsuno et al., 23 = Cavanagh und Steyn, 24 = Chan et al., 25 = Kurkcuoğlu et al., 26 = Chen et al., 27 = Sipahioğlu et al., 28 = Panenková et al., 29 = Negi et al., 30 = Dong et al., 31 = Hwang et al., 32 = Perlaza Ruiz, 33 = Guyomarc'h et al., 34 = de Almeida et al., 35 = Peckmann et al., 36 = Gungor et al., 37 = Jeelani et al., 38 = Baillie et al., 39 = Lodha et al

Danksagung

LEBENS LAUF