
BACHELORARBEIT

Frau
Laura Penne

**Manuelle und automatische
Annotation anatomischer und
anthropologischer Leitstruk-
turen und Messpunkte am
Beispiel von Mandibulae
männlicher Soldaten der na-
poleonischen Armee**

Mittweida, 2022

BACHELORARBEIT

Manuelle und automatische Annotation anatomischer und anthropologischer Leitstruk- turen und Messpunkte am Beispiel von Mandibulae männlicher Soldaten der napoleonischen Armee

Autor:
Frau

Laura Penne

Studiengang:
Allgemeine und Digitale Forensik

Seminargruppe:
FO18w1-B

Erstprüfer:
Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

Zweitprüfer:
M.Sc. Marleen Mohaupt

Einreichung:
Mittweida, 24.01.2022

BACHELOR THESIS

**Manual and automatic
annotation of anatomical and
anthropological landmarks
and measuring points using
the example of mandibles of
male soldiers of the
Napoleonic army**

author:

Ms.

Laura Penne

course of studies:

General und Digital Forensics Science

seminar group:

Fo18w1-B

first examiner:

Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

second examiner:

M.Sc. Marleen Mohaupt

submission:

Mittweida, 24.01.2022

Bibliografische Beschreibung: Penne, Laura: Manuelle und automatische Annotation anatomischer und anthropologischer Leitstrukturen und Messpunkte am Beispiel von Mandibulae männlicher Soldaten der napoleonischen Armee. - 2022. – Seitenanzahl Verzeichnisse: 12 – Seitenanzahl Inhalt: 93 – Seitenanzahl Anhänge: 60 Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Bachelorarbeit, 2021/22

Satz: L^AT_EX

Abstract: Ziel dieser Arbeit ist die manuelle und automatische Annotation anatomischer und anthropologischer Leitstrukturen und Messpunkte am Beispiel von Mandibulae männlicher Soldaten der napoleonischen Armee. Hierbei werden Mandibulae der Skelettsammlung Rödelheim mit Hilfe von Photogrammetrie digitalisiert und mittels der Software AnthroWorks3D hinsichtlich anatomischer und osteometrischer Landmarken annotiert. Ziel ist eine Automatisierung des Setzens der osteometrischen Landmarken, die mittels einer Schablone realisiert wird. Dabei soll untersucht werden, welche Mandibula die „Durchschnittlichste“ ist und wie effizient der Automatisierungsprozess im Vergleich zu einer manuellen Annotation ist. Anhand statistischer Analysen wird ein Überblick über aussagekräftige Kenngrößen innerhalb der Stichprobe gegeben. Untersuchungen der anatomischen Skelettvarianten dienen der Einschätzung bzgl. deren Einflusses auf AnthroWork3D.

The aim of this work is the manual and automatic annotation of anatomical and anthropological landmarks and measurement points using the example of mandibulae of male soldiers of the Napoleonic army. The mandibles are from the Rödelheim skeletal collection. They were digitised by using photogrammetry and annotated with regard to anatomical and osteometric landmarks using the AnthroWorks3D software. The aim is to automate the setting of the osteometric landmarks, which were realised by means of a template. The goal is to research which mandible is the “most average” and how efficient the automation process is compared to manual annotation. Statistical analyses were used to give an overview of meaningful parameters within the sample. Researches of the anatomical skeletal variants are to assess their influence on AnthroWork3D.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	vii
Abkürzungsverzeichnis	ix
Glossar	xi
1. Einleitung	1
1.1. Zielstellung der Arbeit	2
1.2. Vorgehen	3
2. Grundlagen	5
2.1. Begriff Anatomie	5
2.2. Nomenklaturen und anatomische Fachsprache	5
2.3. Achsen, Ebenen, Richtungs- und Lagebezeichnungen	8
2.4. Menschliches Skelett	10
2.5. Einordnung der Mandibula in das Gesamtskelett	13
2.6. Anthropologische Befunde	16
2.6.1. Erhalt von Skeletten	16
2.6.2. Alters- und Geschlechtsbestimmung	18
2.6.3. Osteometrie	20
2.6.4. Anatomische Varianten	20
2.7. Digitalisierung von Skeletten	22
3. Material und Methoden	25
3.1. Material	25
3.1.1. Skelettmaterial	25
3.1.2. Digitalisierung	25
3.1.3. Software für die Annotationen	26
3.1.4. Messinstrumente	26
3.2. Methoden	27
3.2.1. Skelettdigitalisierung	27
3.2.2. Kriterien für die Auswahlprozesse	28
3.2.3. Erstellung der Definitionen	32
3.2.4. Annotationen	32
3.2.5. Messungen	36
3.2.6. Statistische Analysen	36
3.2.7. Messfehlerbestimmung	40
3.2.8. Views	43
4. Ergebnisse	45
4.1. Auswahl der Schablone	45
4.2. Katalogerstellung	45
4.3. Statistische Analysen	47

4.4. Fehlerberechnung	56
4.5. Anatomische Skelettvarianten der Mandibula	64
5. Diskussion	67
5.1. Vergleich TA und FMA	67
5.2. Auswertung der Evaluationen	69
5.2.1. Markieren der anatomischen Landmarken	69
5.2.2. Setzen der osteometrischen Landmarken	74
5.2.3. Messen einer physischen und digitalen Mandibula	76
5.2.4. Automatische und händische Annotation einer digitalen Mandibula	77
5.3. Messfehler und Fehlerquellen	79
5.4. Statistische Analysen	85
5.5. Analyse der Variabilität der Mandibula für AnthroWorks3D	89
6. Fazit und Ausblick	91
6.1. Resümee	91
6.2. Blick in die Zukunft	93
A. Anhang	95
A.1. Überblick zu den Definitionen der osteometrischen Landmarken	95
A.2. Ausgewählte Messstrecken	97
A.3. Überblick zu den Definitionen der anatomischen Landmarken	105
A.4. Der Katalog	110
A.5. Ergebnisse der Fehlerberechnung	133
A.6. Boxplot-Diagramme	145
B. Literaturverzeichnis	155
C. Danksagung	163
D. Selbstständigkeitserklärung	165

Abbildungsverzeichnis

2.1. Beispiel eines Eintrags in der FMA mittels der Mandibula.	7
2.2. Ebenen- und Lagebezeichnungen	10
2.3. Anatomie des menschlichen Skeletts	11
2.4. Aufbau eines Röhrenknochen am Beispiel des Femurs	13
2.5. Übersicht der anatomischen Landmarken. Ansicht anterior.	14
2.6. Übersicht der anatomischen Landmarken. Ansicht lateral.	14
2.7. Übersicht der anatomischen Landmarken. Ansicht posteroinferior.	15
2.8. Übersicht der anatomischen Landmarken. Ansicht superior.	15
2.9. Schema für die Dokumentation über die Vollständigkeit eines Individuums	17
2.10. Entwicklung der Zähne	19
3.1. Digitaler Messschieber des Herstellers POWERFIX.	26
3.2. Digitaler Winkelmesser des Herstellers POWERFIX.	27
3.3. Gesamtgröße als ein-dimensionaler Ersatz für das Volumen	29
3.4. Ausgewählte osteometrische Landmarken in anteriorer Ansicht.	30
3.5. Ausgewählte osteometrische Landmarken in lateraler Ansicht.	30
3.6. Ausgewählte osteometrische Landmarken in posteriorer Ansicht.	31
3.7. Kalibrierung in AnthroWorks3D	33
3.8. Gesamtübersicht in AnthroWorks3D	33
3.9. Einstellungen und Notizen der Annotationen in AnthroWorks3D.	34
3.10. Markierungen der anatomischen Landmarken in AnthroWorks3D.	34
3.11. Markierungsprozess in TurboCAD	35
3.12. Hinzufügen einer Definition in TurboCAD	36
3.13. Beispiel eines Boxplots mit Hilfe von Excel	37
3.14. Das Anpassen der Schablone an eine Mandibula.	44
3.15. Beispiel eines Views.	44
4.1. Beispieleintrag des Katalogs.	47
4.2. Differenzen zwischen der rechten und linken Seiten von Messstrecken, die auf beiden Seiten vertreten sind.	48
4.3. Arithmetische Mittel und Standardabweichungen der einzelnen Messstrecken.	49
4.4. Ermittelte Gesamtgrößen der Mandibulae der einzelnen Individuen.	50
4.5. Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken ml rechts - go rechts und ml rechts - go links.	51
4.6. Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken go-cs rechts und cr-cfr rechts.	52
4.7. Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken go-cs rechts und pparp rechts.	52
4.8. Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken id-gn, go-cs rechts, gn-go rechts und cdl-cdl.	53
4.9. Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken go-go, cdl-cdl, cdm-cdm und cr-cr.	53
4.10. Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken cs-cr, phi-cs und phi-cr .	54
4.11. Seitenunterschiede des rTEMs.	57

4.12. Seitenunterschiede des rTEMs. bei der hinzugezogenen Person	60
4.13. Seitenunterschiede des rTEMs beim Inter-Observer-Error	62
4.14. Seitenunterschiede des rTEMs des Intra-Observer-Errors zwischen den automatisch und händisch gemessenen digitalen Mandibulae.	63
5.1. Markierung der anatomischen Landmarken der Mandibula mittels Punkt und Pfeil.	70
5.2. Entstehung unsauberer Markierungen.	71
5.3. Markierung und Beschriftung eines Teils der Mandibula in TurboCAD.	72
5.4. Gegenüberstellung der (a) Ist-Markierung mit einer (b) Soll-Markierung.	73
5.5. Überlappende Markierungen an der osteometrischen Landmarke cfr.	74
5.6. Gegenüberstellung der osteometrischen Landmarken in anteriorer Ansicht.	75
5.7. Gegenüberstellung der osteometrischen Landmarken in lateraler Ansicht.	75
5.8. Gegenüberstellung der osteometrischen Landmarken in posteriorer Ansicht.	75
5.9. Übersicht zu den Differenzen der rechten und linken Seite.	83
5.10. Übersicht der Differenzanteile zu jedem Individuum zwischen den händisch und automatisch ermittelten Messstrecken pro Individuum nehmen.	84
A.1. Messstrecke ml-ml	97
A.2. Messstrecke ml rechts - id	97
A.3. Messstrecke ml rechts - gn	97
A.4. Messstrecke ml rechts - go rechts	97
A.5. Messstrecke ml rechts - go links	98
A.6. Messstrecke ml rechts - go rechts	98
A.7. Messstrecke ml rechts - lg rechts	98
A.8. Messstrecke ml rechts - lg links	98
A.9. Messstrecke ml rechts - li	98
A.10. Messstrecke ml rechts - cr rechts	98
A.11. Messstrecke ml rechts - cr links	99
A.12. Messstrecke ml rechts - cdl rechts	99
A.13. Messstrecke ml rechts - cdl links	99
A.14. Messstrecke ml rechts - cdm rechts	99
A.15. Messstrecke ml rechts - cdm links	99
A.16. Messstrecke ml rechts - cdp rechts	99
A.17. Messstrecke ml rechts - cdp links	100
A.18. Messstrecke ml rechts - cs rechts	100
A.19. Messstrecke ml rechts - cs links	100
A.20. Messstrecke ml rechts - cfr rechts	100
A.21. Messstrecke ml rechts - cfr links	100
A.22. Messstrecke ml rechts - phi rechts	100
A.23. Messstrecke ml rechts - phi links	101
A.24. Messstrecke ml rechts - ppra rechts	101
A.25. Messstrecke ml rechts - ppra links	101
A.26. Messstrecke ml rechts - parp rechts	101
A.27. Messstrecke ml rechts - parp links	101
A.28. Messstrecke ml links - id	101
A.29. Messstrecke ml links - gn	102

A.30.Messstrecke id - gn	102
A.31.Messstrecke id - cr rechts	102
A.32.Messstrecke id - cfr rechts	102
A.33.Messstrecke go - cs	102
A.34.Messstrecke go-cdp	102
A.35.Messstrecke cs-cr	103
A.36.Messstrecke cr-cfr	103
A.37.Messstrecke ppra-parp	103
A.38.Messstrecke cdl-cdl	103
A.39.Messstrecke cdm-cdm	103
A.40.Messstrecke cr-cr	103
A.41.Messstrecke go-gn	104
A.42.Messstrecke cs-cdp	104
A.43.Messstrecke go-go	104
A.44.Winkel Angulus	104
A.45.Winkel zwischen go-gn-go	104
A.46.Übersicht zu den Differenzen zwischen den händisch und automatisch ermittelten Messstrecken.	144
A.47.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml-ml.	145
A.48.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml-pg.	145
A.49.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - go rechts.	145
A.50.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - go links.	145
A.51.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - lg rechts.	145
A.52.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - lg links.	145
A.53.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cr rechts.	146
A.54.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cr links.	146
A.55.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdl rechts.	146
A.56.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdl links.	146
A.57.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdm rechts.	146
A.58.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdm links.	146
A.59.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdp rechts.	147
A.60.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdp links.	147
A.61.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cs rechts.	147
A.62.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cs links.	147
A.63.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cfr rechts.	147
A.64.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cfr links.	147
A.65.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - phi rechts.	148
A.66.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - phi links.	148
A.67.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - ppra rechts.	148
A.68.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - ppra links.	148
A.69.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - parp rechts.	148
A.70.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - parp links.	148
A.71.Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - li.	149
A.72.Boxplot-Diagramm der Messstrecke id - cs rechts.	149
A.73.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken ml rechts - id und ml links - id.149	
A.74.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken ml rechts - gn und ml links - gn.149	

A.75.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken id - cfr rechts und id - cfr links.	150
A.76.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken go-cs rechts und go-cs links.	150
A.77.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken go-cdp rechts und go-cdp links.	150
A.78.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken cs-cr rechts und cs-cr links.	151
A.79.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken cr-cfr rechts und cr-cfr links.	151
A.80.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken ppra-parp rechts und ppra-parp links.	151
A.81.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken cdl-cdm rechts und cdl-cdm links.	152
A.82.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken phi-cs rechts und phi-cs links.	152
A.83.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken phi-cr rechts und phi-cr links.	152
A.84.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken gn-go rechts und gn-go links.	153
A.85.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken cdp-cs rechts und cdp-cs links.	153
A.86.Boxplot-Diagramm der Messstrecke id-gn.	153
A.87.Boxplot-Diagramm der Messstrecke go-go.	153
A.88.Boxplot-Diagramm der Messstrecke cdl-cdl.	154
A.89.Boxplot-Diagramm der Messstrecke cdm-cdm.	154
A.90.Boxplot-Diagramm der Messstrecke cr-cr.	154
A.91.Boxplot-Diagramm der Messstrecke go-gn-go.	154
A.92.Vergleich der Boxplots von den Messstrecken Angulus rechts und Angulus links.	154

Tabellenverzeichnis

2.1. Ausschnitt aus der Terminologia Anatomica	6
2.2. Darstellung der Lagebezeichnungen	9
2.3. Einteilung der Knochen	12
2.4. Schema zur standardisierten Klassifizierung des Skeletterhalts	17
3.1. Übersicht der anatomischen Landmarken, die nicht ausgewählt wurden mit Begründung	28
3.2. Übersicht zur Eignung der osteometrischen Landmarken pro Individuum	31
4.1. Auflistung der View-Koordinaten mit jeweiliger Beschreibung der Perspektive.	46
4.2. Die Ergebnisse der Abweichungen aller aufsummierten Messstrecken aller Individuen von den aufsummierten Messstrecken der einzelnen Individuen.	50
4.3. Ergebnisse der ausgewählten Diskriminanzfunktionen an den 12 Mandibulae.	55
4.4. Ergebnisse der automatisch berechneten ausgewählten Diskriminanzfunktionen an 11 Mandibulae.	56
4.5. Lageparameter aller $rTEM$ (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den Messreihen I-II, I-III und II-III aller vermessenen Individuen.	57
4.6. Lageparameter aller $rTEM$ (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den Messreihen dl-pl, dl-pII und dl-pIII des Individuums R \ddot{o} -7,3.	58
4.7. Lageparameter aller $rTEM$ (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den Messreihen dII-pl, dII-pII und dII-pIII des Individuums R \ddot{o} -7,3.	58
4.8. Lageparameter aller $rTEM$ (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den Messreihen dIII-pl, dIII-pII und dIII-pIII des Individuums R \ddot{o} -7,3.	59
4.9. Lageparameter aller $rTEM$ (in %) zwischen den Messreihen I-II, I-III und II-III des Individuums R \ddot{o} -7,3.	59
4.10. Lageparameter aller $rTEM$ (in %) bezüglich des Inter-Observer-Errors des Individuums R \ddot{o} -7,3.	60
4.11. Lageparameter aller $rTEM$ (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den automatisch generierten Messungen von AnthroWorks3D und den händischen in AnthroWorks3D.	63
5.1. Vergleich des Zeitaufwandes zwischen physischer und digitaler Mandibula.	76
5.2. Vergleich des Zeitaufwandes zwischen händischer und automatischer Annotation.	79
5.3. Differenzen der Messreihenmittelwerte zwischen der händisch digital und der physisch gemessenen Mandibula R \ddot{o} -7,3.	81
5.4. Differenzen der Messreihenmittelwerte beider Personen an der Mandibula R \ddot{o} -7,3.	82
5.5. Übersicht zu den Differenzen aller einzelnen Individuen aller auffälligen Messstrecken.	84
5.6. Genauigkeiten der Diskriminanzfunktionen	89
A.1. Überblick zu den Definitionen der osteometrischen Landmarken	95
A.2. Definitionen der einzelnen anatomischen Landmarken	105

A.3. Ergebnisse des TEMs, rTEMs und Reliabilitätskoeffizienten zwischen den Messreihen I-II, I-III und II-III aller vermessenen Individuen.	133
A.4. Ergebnisse des TEMs, rTEM und Reliabilitätskoeffizienten zwischen den Messreihen dl-pl, dl-pII und dl-pIII des Individuums R \ddot{o} -7,3.	135
A.5. Ergebnisse des TEMs, rTEMs und Reliabilitätskoeffizienten zwischen den Messreihen dII-pl, dII-pII und dII-pIII des Individuums R \ddot{o} -7,3.	136
A.6. Ergebnisse des TEMs, rTEMs und Reliabilitätskoeffizienten zwischen den Messreihen dIII-pl, dIII-pII und dIII-pIII des Individuums R \ddot{o} -7,3.	137
A.7. Ergebnisse des TEMs und rTEMs zwischen den Messreihen I-II, I-III und II-III des Individuums R \ddot{o} -7,3.	138
A.8. Ergebnisse des TEMs und rTEMs bezüglich des Inter-Observer-Errors des Individuums R \ddot{o} -7,3.	140
A.9. Ergebnisse des TEMs, rTEMs und Reliabilitätskoeffizienten zwischen den automatisch generierten Messungen von AnthroWorks3D und den händischen in AnthroWorks3D.	143

Abkürzungsverzeichnis

BNA Basel Nomina Anatomica

BR Birmingham Revision

f femininum

FCAT Federative Committee on Anatomical Terminology

FMA Foundational Model of Anatomy

gr. griechisch

IANC International Anatomical Nomenclature Committee

IFAA International Federation of Associations of Anatomists

ISAK International Society standardization Advancement in Kinanthropometry

JNA Jenaer/Jenenser Nomina Anatomica

lat. lateinisch

m maskulinum

n neutrum

Pl. Plural

rTEM relative Technical Error of Measurement

TA Terminologia Anatomica

TEM Technical Error of Measurement

Glossar

Alveolus, -i m (lat.)	kleine Mulde, Bienenzelle, Fach. [70], [98]
Angulus, -i m (lat.)	Winkel, Ecke. [49], [70]
Arcus, -us m (lat.)	Bogen, Kreisbogen. [70], [80], [88]
Basis, -eos f (gr.)	Grundfläche, Untergrund, Grundlage [70]
Canalis, -is m u. f (lat.)	Röhre, Kanal, Rinne. [21], [49], [70], [80], [88], [98]
Caput, -itis n (lat.)	Kopf, Haupt, Hauptsache. [49], [70]
Collum -i n oder Collus, -i m (lat.)	Hals von Menschen und Tieren. [21], [49], [70], [80], [88], [98]
Condylus -i m (lat.)	Gelenkhöcker, Gelenkkopf. — <i>Kondylos</i> (gr.): Fingerknöchel, Gelenkkopf. [70], [88], [98]
Corpus, -oris n (lat.)	Körper, Leib, Rumpf. [49], [70], [80], [88], [98]
Digastricus, -i m (lat.)	der Zweibäuchige. [49], [70], [98]
Foramen, -inis n (lat.)	Loch, gebohrte Öffnung, Öffnung. [21], [49], [70], [80], [88], [98]
Fossa, -ae f (lat.)	Graben, Abzugsgraben, Kanal, Grube. [21], [49], [70], [80], [88], [98]
Fovea, -e f (lat.)	(rundliche) Grube, Fallgrube für Wild. [21], [49], [70], [88], [98]
Glandula, -ae f (lat.)	kleine Eichel; anat.: Drüse. [21], [49], [70], [80], [88], [98]
Incisura, -ae f (lat.)	Einschnitt, Abschnitt, Kerbe, Schlitz, Einbuchtung. [21], [49], [70], [88], [98]
Linea, -ae f (lat.)	1. Linie, Richtschnur; 2. Strich; 3. anatomisch: Knochenleiste. [21], [49], [70], [88], [98]
Lingula, -ae f (lat.)	Zünglein, zungenähnliches Gebilde; anatomisch auch Knochenblatt — Verkleinerungsform zu <i>Lingua</i> . [21], [49], [70], [88]
mentalis, -e (lat.)	zum Kinn gehörend. — Adjektiv zu <i>Mentum, -i</i> n (lat.): Kinn, Kinnbart, hervorragende Ecke. [21], [49], [70], [88], [98]
mylohyoideus, -a, -um (lat.)	vom Unterkiefer zum Zungenbein verlaufend. [70]
obliquus, -a, -um (lat.)	schräg, tief, seitwärts gerichtet. [21], [49], [70]

Pars, partis f (lat.)	Teil, Anteil, Stück, Körperteil, Seite, Abschnitt. [49], [70]
Processus, -us m (lat.)	Fortschritt, Fortgang; anat.: Fortsatz. [21], [49], [70], [80], [88], [98]
Protuberantia, -ae f (lat.)	Arten von Hervorragungen u. Erhabenheiten, Protuberanz; anatomisch: Vorsprung, Vorwölbung. — <i>protuberare</i> (lat): hervorragen. [21], [49], [70], [88], [98]
pterygoideus, -a, -um (lat.)	flügel förmig. — <i>Pteryx</i> (gr): Flügel. [49], [70], [80]
Ramus, -i m (lat.)	Ast, Zweig. [21], [49], [70], [80], [88], [98]
Septum, -i n (lat.)	Scheidewand; eigentlich Umzäunung, Einfriedung. [21], [49], [70], [80], [88], [98]
Spina, -ae f (lat.)	Dorn, Stachel, Vorsprung, Rückgrat, Wirbelsäule. [21], [49], [70], [88]
Sulcus, -i m (lat.)	Furche, Einschnitt, Rinne. [21], [49], [70], [80], [88], [98]
Trigonum, -i n (lat.)	Dreieck. — <i>tres, tri-</i> (lat.): drei; <i>Gonia</i> (gr.): Winkel, Ecke. [21], [49], [70], [80], [88], [98]
Tuberculum, -i n (lat.)	Verkleinerungsform zu <i>Tuber, -eris</i> n (lat.): Höcker, Knorren, Beule, Vorsprung. [21], [49], [70], [80], [88], [98]

1. Einleitung

Werden skelettale Überreste gefunden, so lassen sich eine Reihe an Fragen stellen: Sind diese Überreste menschlichen oder tierischen Ursprungs? Handelt es sich um rezente oder historische Überreste? Und ist es möglich, dass es sich um mehr als ein Individuum handelt? Um die Beantwortung dieser Fragen kümmern sich Fachkräfte der Anthropologie. Der Begriff *Anthropologie* kommt aus dem Griechischen und setzt sich aus *anthropos* für Mensch und *logos* für Lehre zusammen. Die Anthropologie ist ein interdisziplinäres Feld, welches sich mit der Kultur, der Kommunikation, der Geschichte und der Biologie der Menschheit beschäftigt. Die sogenannte „Lehre des Menschen“ wird auch als Brückenfach zwischen den Natur- und Kulturwissenschaften bezeichnet, da es sich beim Menschen um ein Kulturwesen handelt. [19], [38].

Im Zuge der anthropologischen Arbeit ist die Erstellung eines biologischen Profils denkbar. Diese Untersuchung ist dabei Teil der biologischen Anthropologie, wobei Kenntnisse über die Anatomie des menschlichen Körpers, insbesondere der Knochen, notwendig sind. Aus ihnen lassen sich wichtige Parameter abschätzen, wie z.B. Geschlecht, Alter, Abstammung und Statur. Das kann u.a. in der forensischen Anthropologie, welche sich mit der Anwendung der anthropologischen Methode und Theorie auf rechtliche Angelegenheiten beschäftigt, hilfreich sein, um Personen zu identifizieren. Auch in der prähistorischen Anthropologie, welche sich mit dem Untersuchen von menschlichen Überresten aus vergangenen Zeiträumen beschäftigt, sind diese Erkenntnisse von Bedeutung. Sie dienen dabei dem Erforschen über das Alltagserleben oder der Alltagsbewältigung der Menschen aus der entsprechenden Zeit. [19], [39]

Ebenfalls können einzelnen Knochen im Rahmen der Anthropologie vermessen werden. Mit Hilfe definierter Messstrecken ist es hierbei u.a. möglich das biologische Geschlecht zu schätzen. [45] So ist es außerdem denkbar, den Prozess des Messens mit Hilfe einer Software zu automatisieren, um Zeit zu sparen und Messfehler zu verringern. Unter anderem wurde dazu das Programm *AnthroWorks3D* von Anthropologinnen und Medieninformatikern der Hochschule Mittweida und der Universität Göttingen zusammen entwickelt. Ziel ist es, wieder zu bestattende und größere Skelettsammlungen schnell mit wenig Ressourcen zu digitalisieren. Zudem kann dabei auch eine ortsunabhängige Arbeit mit der Möglichkeit der parallelen Bearbeitung ohne Verschleiß am Knochen gewährleistet werden. Durch Methoden des Game Developements im Bereich der 3D-Grafik können hierbei mittels Photogrammetrie und 3D-Echtzeitrendering 3D-Modelle dargestellt werden. Somit ist eine anthropologische Untersuchung und Annotation möglich. [50], [31]

1.1. Zielstellung der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die manuelle und automatische Annotation anatomischer und anthropologischer Leitstrukturen und Messpunkte am Beispiel von Mandibulae (Unterkiefer) männlicher Soldaten der napoleonischen Armee.

Dabei sollen Mandibulae der Skelettsammlung Rödelheim mit Hilfe von Photogrammetrie digitalisiert werden und mittels der Software *AnthroWorks3D* hinsichtlich anatomischer und osteometrischer Landmarken (Kapitel 2.6.3 *Osteometrie*, Seite 20) annotiert werden. In der Literatur werden anatomische Strukturen und Punkte unter dem Begriff Landmarken zusammengefasst [85], [60], [19]. Dies soll im weiteren Verlauf eine automatische Annotation auf zukünftig eingespeiste Mandibulae erlauben und mit Hilfe von automatisch berechneten und vorher ausgewählten Messstrecken zu einer automatisierten Geschlechtsschätzung führen. Dafür soll eine Mandibula als Schablone dienen, um dessen Annotation auf neu integrierte Mandibulae zu übertragen. Dabei ist es das Ziel, dass sich die osteometrischen Landmarken an der richtigen Stelle oder in unmittelbarer Nähe befinden. Für die Benutzerfreundlichkeit sollen anschließend sogenannte „Views“ definiert werden. Hierbei soll sich die nutzende Person durch verschiedene Kameraeinstellungen navigieren und die osteometrischen Landmarken falls nötig, an die richtige Position schieben oder diese löschen. Nach Durchklicken der Views soll die nutzende Person die Annotation bestätigen. Die Annotationspunkte sollen sich nun auf dem Knochen befinden. Die nutzende Person soll dabei die Möglichkeit haben, sich die Messstrecken bzw. Berechnungen anzeigen zu lassen, die anhand der automatisch gesetzten Messpunkte nach Durchklicken der Views berechnet wurden.

Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

1. Welche anatomischen und osteometrischen Landmarken könnten für die Problemstellung relevant sein?
2. Welche Messstrecken und Funktionen können zur richtigen Geschlechtsbestimmung beitragen?
3. Welche Unterschiede ergeben sich zwischen einer händischen Messung an einer physischen Mandibula und einer manuellen Messung bzw. Annotation einer digitalen Mandibula? Was für Rückschlüsse können daraus bezogen auf die Effizienz gezogen werden?
4. Welche Unterschiede werden zwischen der automatischen und der manuellen Annotation eines digitalen Unterkiefers ersichtlich? Wie effizient ist die manuelle Annotation?
5. Welche Mandibula eignet sich am besten aus der vorliegenden Stichprobe für eine Schablone und warum?
6. Funktioniert die Übertragung der Schablone auf verschiedene männliche Mandibulae? Wann funktioniert es nicht mehr? Welche Probleme und Lösungsansätze gibt es?

1.2. Vorgehen

Da im Zeitraum der hier vorliegenden Forschungsarbeit nur männliche Individuen von der Universität Göttingen zur Verfügung gestellt wurden, beschränkt sich diese Arbeit auf männliche Mandibulae.

Die Arbeit gliedert sich in folgende Teile:

Zunächst werden die Mandibulae digitalisiert. Im nächsten Schritt werden Kriterien aufgestellt, um Entscheidungen für die Auswahl der anatomischen und osteometrischen Landmarken sowie der Messstrecken zu treffen. Anschließend sollen diese möglichst exakt definiert werden. Danach erfolgt die Annotation in *AnthroWorks3D*. Zum Vergleich sollen die Annotationen außerdem in der Software *TurboCAD* umgesetzt werden. Parallel zu den Annotationen an den digitalen Mandibulae werden die Messungen an einer physischen Mandibula durchgeführt. Dies soll im späteren Verlauf Schlussfolgerungen hinsichtlich der Effizienz ermöglichen. Des Weiteren wird für das Setzen der osteometrischen Landmarken und das Messen der Messstrecken eine weitere Person hinzugezogen werden, um später die Methodik evaluieren zu können.

Im Folgenden werden statistische Analysen durchgeführt. Ziel ist es mit Hilfe der deskriptiven Statistik einen Überblick über aussagekräftige Kenngrößen innerhalb der Stichprobe zu bekommen und mögliche Zusammenhänge zwischen den Messstrecken zu überprüfen. Eine Fehlerberechnung dient außerdem dazu, die Objektivität der messenden Personen zu prüfen. Mittels der Reliabilität wird des Weiteren die Methode getestet. Anschließend werden mit Hilfe einer Auswahl von Diskriminanzfunktionen die Geschlechter der Individuen bestimmt werden.

Im nächsten Schritt wird eine Mandibula als Schablone ausgewählt. Auf dieser sind am Ende die osteometrischen Landmarken vorhanden, welche nach dem Anpassen der Schablone auf den eigentlichen Knochen projiziert wurden. Danach erfolgt die Definition der Views für die spätere Feinkorrektur durch die nutzende Person. Anschließend bedarf es hierbei noch einer Evaluierung.

In dem Teil [Material und Methoden](#) (siehe Kapitel 3, ab Seite 25) werden die detaillierten Methoden zu diesen Untersuchungen beschrieben und im Abschnitt [Ergebnisse](#) (siehe Kapitel 4, ab Seite 45) deren Resultate präsentiert. Zum Schluss werden diese im Kapitel [Diskussion](#) (siehe Kapitel 5, ab Seite 67) ausgewertet. Im Abschnitt [Fazit und Ausblick](#) (siehe 6, ab Seite 91) wird ein Resümee gezogen.

2. Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zum anatomischen und osteologischen Verständnis vermittelt. Im Anschluss wird außerdem ein Einblick in die Digitalisierung von Skeletten sowie der anthropologischen Befundaufnahme gegeben.

2.1. Begriff Anatomie

Der Begriff *Anatomie* kommt aus dem Griechischen *anatemnein* und bedeutet so viel wie „zerschneiden, zergliedern“. Wird von der Humananatomie gesprochen, so bezieht sich dies auf den Menschen. Im genaueren behandelt diese die „Gestalt und Struktur des gesunden menschlichen Körpers und seiner Organe“. Dabei fallen oft auch Begriffe wie Struktur und Gestalt. Ersterer entspricht der äußeren Form des Individuums und somit dessen Glieder und Organe. Letzterer beschreibt den inneren Aufbau, also die Organen mit deren Bestandteilen im makroskopischen, mikroskopischen, submikroskopischen und molekularen Bereichen. Dabei wird jeweils die Funktion miteinbezogen. [3]

2.2. Nomenklaturen und anatomische Fachsprache

Noch vor dem Ende des 19. Jahrhunderts waren in der Anatomie viele verschiedene Begriffe für ein und dasselbe Merkmal im Umlauf. Um dies zu vereinheitlichen, entwickelte eine Gruppe von Anatomen eine Liste von Namen, welche als internationales Standardvokabular fungieren sollte. Als Sprachen wurden Latein und Altgriechisch gewählt, da es in diesen Sprachen keine Fortschritte mehr gab. Außerdem verlor die politische Macht dieser Sprachen an Bedeutung, weswegen die Anforderungen der wissenschaftlichen Begriffe erfüllt wurden: Wissenschaftliche Begriffe müssen „explizit, genau verständlich und international akzeptabel“ sein. [25], [48]

Im Jahr 1895 wurde diese Liste dann mit dem Namen *Basel Nomina Anatomica (BNA)* veröffentlicht. Viele Länder übernahmen diese Nomenklatur. Doch weltweiten Erfolg hatte sie nicht, da sie nur von deutschsprachigen, italienischen, US-amerikanischen und latein-amerikanischen Anatomen implementiert wurde. Im Jahr 1903 wurde die „International Federation of Associations of Anatomists (IFAA)“ gegründet, mit dem Ziel der weltweiten Vereinheitlichung der anatomischen Begriffe und Erneuerung der *BNA*. Doch auch in den nächsten zwei Jahrzehnten kam es zu keinem Ergebnis. Im Jahr 1933 veröffentlichte die „Anatomical Society of Great Britain and Ireland“ eine Aktualisierung der *BNA*: Die *Birmingham Revision (BR)*. Die „Anatomische Gesellschaft“ zog im Jahr 1935 mit der *Jenaer/Jenenser Nomina Anatomica (JNA)* nach. Bei beiden handelte es sich um herausragende Versionen. Übernommen wurde jedoch keine von ihnen. Beim VI. Federative International Congress of Anatomy im Jahr 1955 wurde eine konservative Überarbeitung der *BNA* einstimmig übernommen. Die sogenannte *Nomina Anatomica* wurde von ei-

nem beim V. Federative International Congress of Anatomy von der IFAA gegründeten „International Anatomical Nomenclature Committee (IANC)“ überarbeitet. Mit der Zeit brachte die IANC fünf weitere Ausgaben heraus. [25], [48]

Das Exekutivkomitee der IFAA erhielt viele Vorschläge zur Umstrukturierung der IANC. Jedoch wurde der darauffolgende Versuch abgelehnt. Dennoch versuchten sie es erneut, was lange diskutiert wurde und zunächst unlösbar erschien. Währenddessen veröffentlichte die IANC die sechste Ausgabe, welche aber nicht dem Exekutivkomitee der IFAA beim XIII. Federative International Congress of Anatomy vorgelegt wurde. Daher wurde diese von der internationalen Fachwelt abgelehnt. Nach langen Diskussionen stimmte die Generalversammlung der IFAA am 10.08.1989 einstimmig dafür, ein neues „Federative Committee on Anatomical Terminology (FCAT)“ zu gründen. Nach mehreren Treffen kam es beim Abschluss der XIII. Sitzung der FCAT am 28. August 1997 zu einer Ankündigung: Die Fertigstellung der sogenannten *Terminologia Anatomica (TA)*. Bei dieser handelte es sich um eine „neue, aktualisierte, vereinfachte und einheitliche anatomische Terminologie“. Nach der Veröffentlichung sollte jede anatomische Gesellschaft ihren Mitgliedern eine Übersetzung in der jeweiligen Sprache zur Verfügung stellen. Bis heute wird die hierarchisch aufgebaute TA weltweit verwendet und gilt seitdem als einzig gültige und offizielle Nomenklatur. [25], [48]

Terminologia Anatomica. Das Buch *Terminologia Anatomica* besteht aus mehreren Kapiteln des anatomischen Systems. Zunächst wird auf die allgemeine Anatomie eingegangen, im späteren Verlauf auf die spezielle. Dabei sind die Begriffe in drei Spalten aufgeteilt: lateinischer Begriff, englischer Begriff und eine eindeutige Identifikationsnummer. Die Reihenfolge der Begriffe ist entscheidend, da diese der natürlichen Anatomie folgt. Um die Beziehungen der Begriffe darzustellen, dienen Einrückungs- und Überschriftenstile (siehe auch Tabelle 2.1). Hinter der Tabelle, welche die Begriffe beinhaltet, ist ein Index mit den häufigsten Eponymen (mit Identifikationsnummer des entsprechenden nicht-eponymen Begriffs) sowie ein umfassender lateinischer Index zu finden. [48]

Tabelle 2.1.: Ausschnitt aus der TA. Übernommen und abgekürzt von Kachlik et al. [48]

Identifying number	Latin terms	English terms
A02.5.04.001	Femur; os femoris	Femur, thigh bone
A02.5.04.002	Caput femoris	Head
A02.5.04.003	Fovea capitis femoris	Fovea for ligament
A02.5.04.004	Collum femoris	Neck

Jedoch gibt es auch anatomische Merkmale, die bei mehreren Funktionen im anatomischen System beteiligt sind. Diese an mehr als einer Stelle darzustellen ist durch die angewendete Hierarchie problematisch.

Foundational Model of Anatomy. Das Ziel des *Foundational Model of Anatomy (FMA)*, welches im Jahr 2004 entwickelt wurde, ist es als Referenzmodell für die biomedizinische

Informatik zu dienen. Bei dem **FMA** handelt es dabei um eine Ontologie. [63]

Der Begriff *Ontologie* ist die Lehre des Seienden. Hierbei handelt es sich um eine Disziplin der Philosophie mit dem Ziel die Grundstrukturen der Realität korrekt und allgemeingültig zu beschreiben. Im Bereich der Informatik geht es um die Schaffung eines effektiven Austauschs von Informationen und eines gemeinsamen Verständnisses. Dabei soll das nötige Wissen, welches für diesen Austausch nötig ist, über Begriffe und Zusammenhänge in einer für den Computer verständlichen Weise beschrieben werden. Es entsteht eine Wissensrepräsentation. [22, S. 64]

In dem **FMA** wird die Ontologie durch eine Darstellung anatomischer Entitäten und Beziehungen realisiert und bildet somit die physische Organisation des menschlichen Körpers ab, welche durch strukturelle Beziehungen und physikalische Eigenschaften beschrieben wird (siehe Abbildung 2.1). [63]

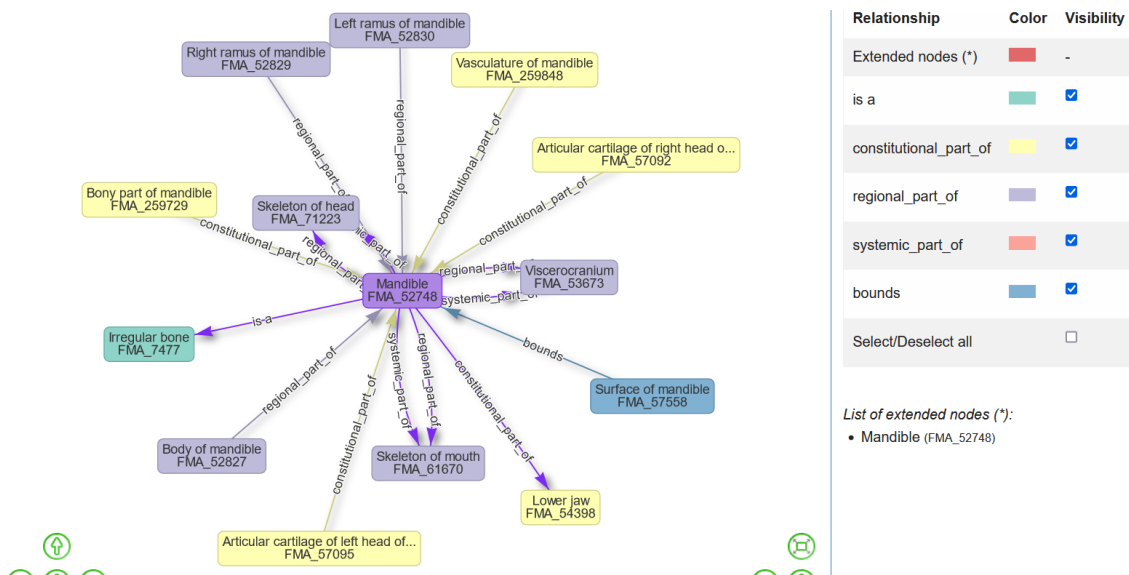


Abbildung 2.1.: Beispiel eines Eintrags in der FMA mittels der Mandibula (engl. mandible). Die Arten der Beziehungen sind unterschiedlich farbig dargestellt (siehe Legende rechts). [68]

Verwendet wird dazu unter anderem ein sogenanntes „Boundary Network“, um die Abgrenzung von bestimmten Strukturen zu garantieren. Während einige wissenschaftliche Fachkräfte eine Grenze als eine Teilung ansehen, wird in dem FMA zwischen beidem unterschieden, welche in einem „Partonomy Network“ zum Vorschein kommt. Da einige Bestandteile des menschlichen Körpers in mehreren Zusammenhängen vorkommen können (z.B. der Magen), erfolgt in dem **FMA** auch eine räumliche sowie eine kompositorische Aufteilung. [63]

Weiterhin werden neben Grenzen und Teilungen auch topologische Zusammenhänge dargestellt, welche ebenfalls wichtig sind, um den Aufbau des menschlichen Körpers zu beschreiben. Darunter fallen Standort, Orientierung und Verbindungen. Zudem werden unter Standort auch Nachbarschaftsbeziehungen berücksichtigt. Eine Nachbarschaft liegt dann vor, wenn Einheit A und B keine überlappenden Grenzen aufweisen oder andere dazwischenliegende anatomische Einheiten. So kann die Lage einer anatomischen Struk-

tur bezüglich der Eindämmung (z.B. rechte Lunge – *enthalten in* - der rechten Hälfte der Brusthöhle) und Adjazenz (z. B. Rechte Lunge – *umgeben von* – rechter Pleurasack) beschrieben werden. Die Orientierung dient der Beschreibung der Ausrichtung einer Einheit. So können dabei die qualitativen Koordinaten superior bzw. inferior eine Rolle spielen, aber in anderen Fällen auch rechte oder linke Lateralitätskoordinaten. Da alle anatomische Strukturen (bis auf wenige Ausnahmen) durch viele Verbindungen oder Kontinuitäten in Beziehung zueinander stehen, werden diese ebenfalls in dem FMA berücksichtigt. Aus all diesen Komponenten entsteht dann eine Ontologie. [63]

Obwohl diese Ontologie bereits sehr detailliert ist, weist sie noch zahlreiche Lücken auf, welche noch geschlossen werden müssen. Zudem steht die Verfeinerung anderer Bereiche noch aus. Im Abschnitt [Vergleich TA und FMA](#) (siehe Kapitel 5.1, ab Seite 67) wird darüber ausführlich diskutiert. [63]

2.3. Achsen, Ebenen, Richtungs- und Lagebezeichnungen

Zur Orientierung an den Körperoberflächen dienen die Körperachsen und Körperebenen, welche senkrecht aufeinander stehen [3]. Dabei steht der Mensch in der anatomischen Grundposition: Das aufrecht stehende Individuum zeigt sich mit herabhängenden Armen, wobei die Handflächen nach vorne zeigen und die Daumen vom Körper weg ausgerichtet sind. Die Füße hingegen stehen parallel zueinander während die Zehen nach vorn positioniert sind. [49]

Es gibt insgesamt drei Körperachsen in der Anatomie: Sagittalachse, Transversalachse und Longitudinalachse. Die Sagittalachse, auch Ventrodorsalachse, ist eine Achse mit ventral-dorsaler Ausrichtung, welche im mathematischen Sinne der z-Achse entspräche. Bei der Transversalachse oder auch Horizontalachse, handelt es sich um eine Achse mit lateral-medialer Ausrichtung, die im mathematischen Sinne der x-Achse entspräche, während es sich bei der Longitudinalachse, auch Vertikalachse, um einer Achse mit kranial-kaudaler Ausrichtung handelt und im mathematischen Sinne der y-Achse entspräche. [3], [13]

Bei den Körperebenen handelt es sich insgesamt um vier verschiedene: Sagittalebene, Median(sagittal)ebene, Transversalebene und Frontalebene. Während die Sagittalebene die vertikale, ventro-dorsale Querschnittsebene darstellt, welche im mathematischen Sinne der z-Ebene entspräche, handelt es sich bei der sogenannten Median(sagittal)ebene genau um die Körpermitte. Die Transversalebene, welche auch als Axialebene, Horizontalebene oder Transaxialebene bezeichnet werden kann, stellt die horizontale Querschnittsebene dar. Im mathematischen Sinne entspräche dies der x-Ebene. Übrig bleibt die Frontalebene, auch Koronarebene genannt, die die vertikale, medio-laterale Querschnittsebene bezeichnet und somit der y-Ebene im mathematischen Sinne entspräche. [3], [13]

Tabelle 2.2.: Darstellung der Lagebezeichnungen. Modifiziert nach: Sobotta [13]

Begriff	Bedeutung	Begriff	Bedeutung
kranial oder superior	zum Kopfende hin	basal	zur Basis gerichtet, basalwärts
kaudal oder inferior	zum Steißende hin	dexter	rechts
anterior oder ventral	nach vorne oder bauchwärts	sinister	links
posterior oder dorsal	nach hinten oder rückenwärts	proximal	zum Rumpf hin
lateral	seitlich, von der Mitte weg	distal	zum Ende der Gliedmaßen hin
medial	mittig, auf die Mitte zu	ulnar	zur Ulna (Elle) hin
median oder medianus	innerhalb der Medianebene	radial	zum Radius (Speiche) hin
intermedius	dazwischen liegend	tibial	zur Tibia (Schienbein) hin
zentral	zum Inneren des Körpers hin	fibular	zur Fibula (Wadenbein) hin
peripher	zur Oberfläche des Körpers hin	volar oder palmar	zur Hohlhand hin
profundus	tief liegend	plantar	zur Fußsohle hin
superficialis	oberflächlich liegend	dorsal	(Extremitäten) zum Handrücken oder zum Fußrücken hin
externus	außen liegend	frontal	stirnwärts
internus	innen liegend	rostral	zum Mund oder zur Nasenspitze hin
apikal	zur Spitze gerichtet oder gehörend		

Neben den Körperachsen und Körperebenen gibt es in der Anatomie auch Lagebezeichnungen, um sich zusätzlich an bestimmten Strukturen orientieren zu können. In der Tabelle 2.2 werden diese dargestellt.

In der Abbildung 2.2 werden drei der vier Ebenen sowie die Lagebezeichnungen, die in dieser Arbeit am häufigsten benutzt werden, dargestellt.

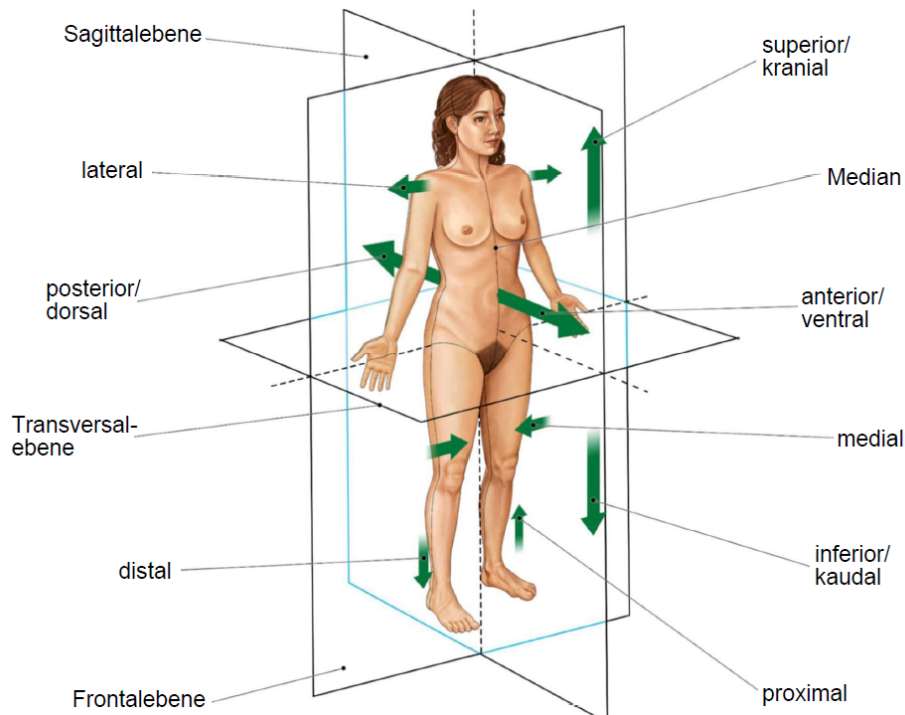


Abbildung 2.2.: Ebenen- und Lagebezeichnungen an einem Menschen in der anatomischen Grundstellung. Modifiziert nach: Kenhub [49] mit Hilfe von Sobotta [13].

2.4. Menschliches Skelett

Bedeutend für die anthropologische Arbeit ist das menschliche Skelett. Es dient als Schutz für die Organe und speichert außerdem Mineralstoffe. Da die Knochen und Zähne aus mineralisiertem Hartgewebe bestehen, können diese nach dem Tod sowie der Bestattung noch über lange Zeiträume hinweg im Erdboden erhalten bleiben. [39]

Zusammen mit den Gelenken, Skelettmuskeln, dem organspezifischen Bindegewebe und deren Leitungsbahnen bilden die Knochen die Organe des Bewegungsapparates. Während es sich beim Skelettsystem mit deren Gelenkverbindungen um den passiven Teil handelt, stellen die Skelettmuskeln mit deren Hilfsorganen (Sehnen und Faszien) den aktiven Teil des Bewegungsapparates dar. Die aktiven und passiven Teile bilden zusammen eine funktionelle Einheit, um die Fortbewegung, die Bewegung der jeweiligen Körperabschnitte sowie die Haltung des Gesamtkörpers oder dessen jeweilige Abschnitte zu ermöglichen. [98]

Das erwachsene menschliche Skelett besteht aus ungefähr 212 Knochen [62], wobei es zu Variabilitäten kommen (siehe Kapitel 2.6.4 Anatomische Varianten, Seite 20) kann durch z.B. zusätzliche Wirbel oder Rippen. Bei dem kindlichen Skelett hingegen gibt es eine deutlich höhere Anzahl an Einzelknochen. Diese verschmelzen im Laufe des Wachstums- und Reifeprozesses jedoch. Die Knochen besitzen unterschiedliche Formen und Strukturen (siehe Abbildung 2.3). Sie sind über Gelenke miteinander verbunden und nehmen mechanische Kräfte auf. Durch Gelenkknorpel, Muskeln, Sehnen oder

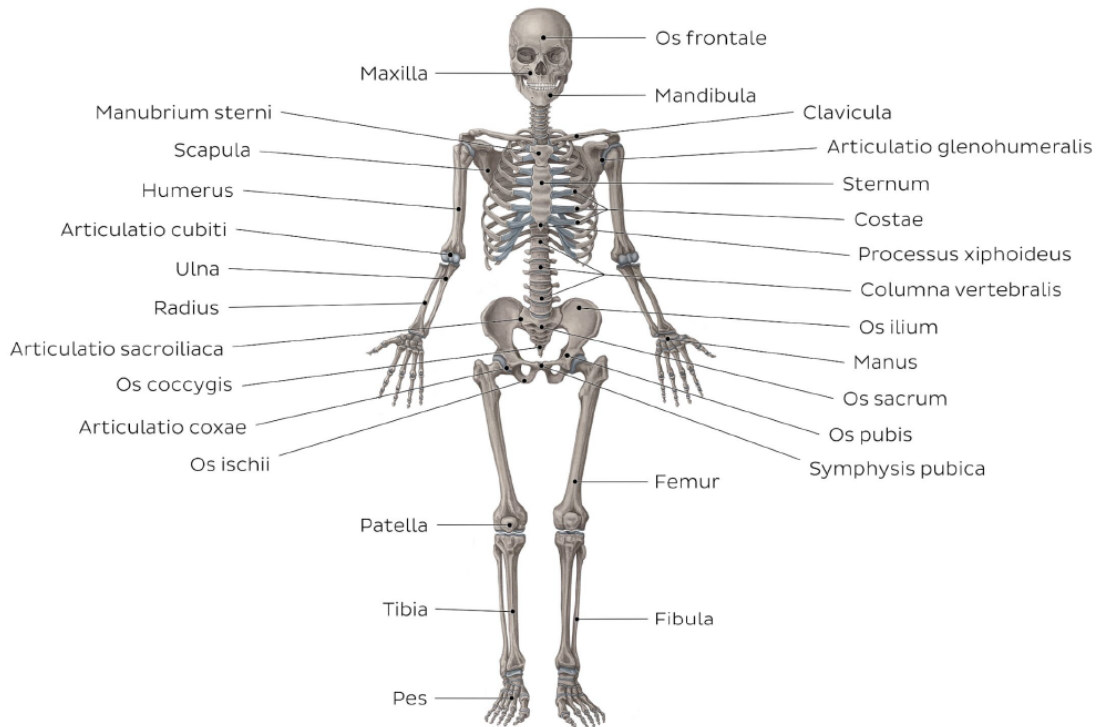


Abbildung 2.3.: Anatomie des menschlichen Skeletts aus anteriorer Ansicht. Übernommen aus: Kenhub [49]

Weichteilstrukturen können diese Kräfte eingeleitet werden. [98]

Grober Knochenaufbau. Die Knochen bestehen aus einer äußeren kompakten Hülle, welche als Substantia compacta, Substantia corticalis, Kompakta oder Kortikalis bezeichnet wird. Diese besteht aus Osteonen, Lamellen und einem schwammartigen Gewebe, welches auch Substantia spongiosa, Spongiosa oder Spongiosatrabekel genannt wird. Das Knochenmark, auch bekannt unter dem Namen Cavitas medullaris, befindet sich in den dazwischen liegenden Räumen. [13]

Knochenfunktionen. Die ausgereiften Knochen müssen je nach Funktion im Bewegungssystem unterschiedlichen mechanischen Belastungen standhalten und werden nach der äußeren Form in lange, kurze, flache, unregelmäßige, lufthaltige und akzessorische Knochen sowie Sesambeinen unterschieden. In der Tabelle 2.3 sind diese genauer erläutert und mit einigen Beispielen angegeben. [98], [13], [39]

Die sogenannten Schäfte der Ossa longa müssen beispielsweise eine hohe Toleranz der Biegebeanspruchung aufweisen, weshalb sie eine bis zu mehrere Millimeter dicke Kortikalis besitzen. Die Ossa brevia und Ossa plana hingegen bestehen nur aus einer dünnen Kompakta. Im Inneren weisen diese aus Gründen der Materialersparnis die Spongiosa auf. Sie befindet sich auch an den Gelenkenden der Ossa longa. Die Spongiosa ermöglicht eine Vergrößerung der kraftaufnehmenden Fläche, da sie durch ihre geringe Dicke und hohe Porosität eine große Oberfläche besitzt. Nach der Skelettierung einer Leiche kann diese außerdem mit dem umgebenden Milieu reagieren. Leider ist sie dadurch

dekompositionsanfälliger als kompakter Knochen, weswegen es bei prähistorischem Material auch vorkommen kann, dass sie nur mäßig bis gar nicht mehr erhalten ist. [39]

Wie oben schon erwähnt, verschmelzen die Knochen eines Kindes während des Reife- und Wachstumsprozesses. Daher muss kurz auf den Aufbau der Knochen eingegangen werden.

Der sogenannte Schaft des Röhrenknochens ist auch als Diaphyse bekannt. Das Gelenkende wird hingegen als Epiphyse und der Übergangsbereich zwischen Dia- und Epiphyse als Metaphyse bezeichnet. Zwischen der Dia- und Epiphyse befindet sich im Wachstumsalter die sogenannte Epiphysenfuge. Durch die knorpelige Epiphysenfuge ist das Wachstum in die Länge möglich. Diese verknöchern im Laufe der Entwicklung durch den Einfluss der Sexualhormone. Bei den Ossa plana werden aufgrund der Nichtbeteiligung an gelenkigen Verbindungen, die Epiphysen Apophysen genannt. Diese dienen hierbei als Ansatzstellen für Sehnen. In Abbildung 2.4 ist der Aufbau eines Röhrenknochens am Beispiel eines Oberschenkelknochens zu sehen. [39]

Tabelle 2.3.: Einteilung der Knochen mit deren Bedeutung und einigen Beispielen. Modifiziert nach: Sobotta [13] unter Verwendung von Zilles und Tillmann (2010) [98].

Bezeichnung	Erläuterung	Beispiel
Ossa longa (Lange Knochen oder Röhrenknochen)	bestehend aus einem Schaft (Corpus), den Enden (Extremitates) und der Markhöhle (Cavitas medullaris)	Femur, Humerus
Ossa plana (flache Knochen oder platte Knochen)	bestehend aus einer Lage Kompakta mit dazwischenliegender Spongiosa (teils auch fehlend, z.B. im mittleren Bereich der Scapula), wobei der Bereich zwischen den Spongiosatrabekeln mit rotem Knochenmark ausgefüllt ist	Sternum, Os parietale, Scapula
Ossa brevia (kurze Knochen)	bestehend aus äußerer Kortikalis und inneren Spongiosatrabekeln	Ossa carpi, Ossa tarsi
Ossa irregularia (unregelmäßige Knochen)	bestehend aus dünnem Kortikalisman- tel und einem Kern aus Spongiosa	Vertebrae
Ossa pneumatica (lufthaltige Knochen)	Knochen, die einen oder mehrere mit Luft gefüllte und mit Schleimhaut ausgekleidete Räume enthalten	Maxilla, Os ethmoidale
Ossa sesamoidea (Sesambeine)	in Sehnen eingelagerte Knochen	Patella, Os pisiforme
Ossa accessoria (akzessorische Knochen)	zusätzliche Knochen, die nicht regelmäßig vorkommen	Os trigonum

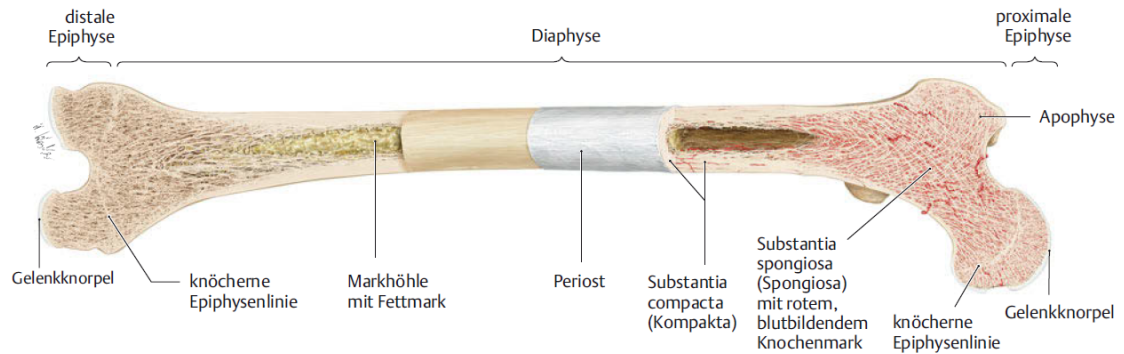


Abbildung 2.4.: Aufbau eines Röhrenknochens am Beispiel des Femurs. Modifiziert von: Duale Reihe [3] aus Prometheus LernAtlas [81].

2.5. Einordnung der Mandibula in das Gesamtskelett

Die unpaare Mandibula ist ein Teil des Craniums und ist der einzige Schädelknochen, der nicht durch Suturen an die anderen Knochen gebunden ist. Sie liegt u-förmig und unregelmäßig vor. Durch ihre Beweglichkeit ist das Unterstützen des Kauens möglich. Die beiden nahezu symmetrischen Hälften sind bei Neugeborenen bindegewebig über die *Symphysis mandibulae* miteinander verbunden, welche während des ersten Lebensjahres durch Verknöcherung zusammenwachsen. Die Mandibula besteht aus zwei Ästen (*Rami mandibulae*) und einem Körper (*Corpus mandibulae*), welche im *Angulus mandibulae* ineinander übergehen. Durch das Kiefergelenk ist die Mandibula mit dem Schläfenbein (*Os temporale*), der wie die Mandibula selbst Teil des Gesichtsschädels (*Viscerocranium*) ist, verbunden. Mit den in der Mandibula befindlichen Zähnen ist diese außerdem mit dem Oberkiefer (*Maxilla*) vereinigt. [8], [67], [49], [70], [21], [26], [80], [88], [98]

In den Abbildungen 2.5 bis 2.8 sind die einzelnen anatomischen Landmarken dargestellt. Dazu befinden sich im [Anhang](#) (siehe Kapitel A, ab Seite 95) die einzelnen Definitionen.

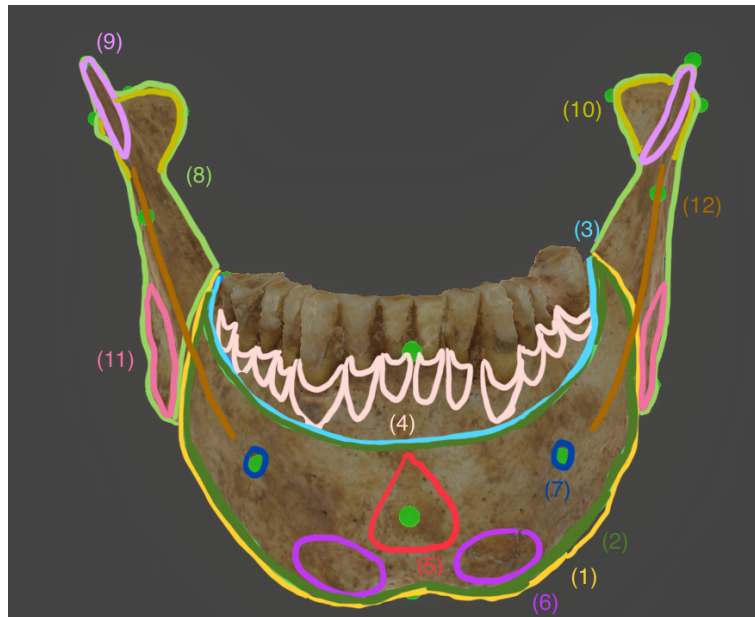


Abbildung 2.5.: Übersicht der anatomischen Landmarken. Ansicht anterior. (1) Corpus mandibulae, (2) Basis mandibulae, (3) Pars alveolaris, (4) Juga alveolaria, (5) Protuberantia mentalis, (6) Tuberculum mentale, (7) Foramen mentale, (8) Ramus mandibulae, (9) Processus coronoideus, (10) Processus condylaris, (11) Angulus mandibulae, (12) Linea obliqua.

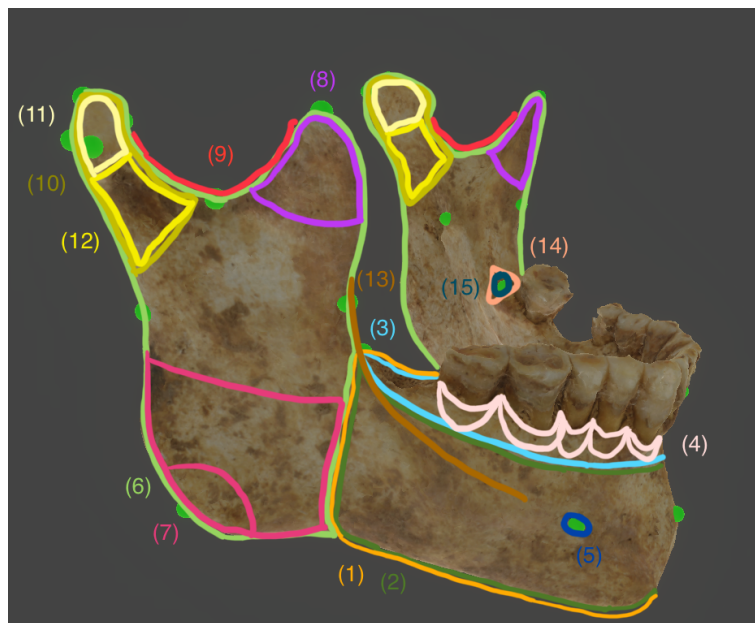


Abbildung 2.6.: Übersicht der anatomischen Landmarken. Ansicht lateral. (1) Corpus mandibulae, (2) Basis mandibulae, (3) Pars alveolaris, (4) Juga alveolaria, (5) Foramen mentale, (6) Ramus mandibulae, (7) Angulus mandibulae, (8) Processus coronoideus, (9) Incisura mandibulae, (10) Processus condylaris, (11) Caput mandibulae, (12) Collum mandibulae, (13) Linea obliqua, (14) Trigonum retromolare, (15) Fossa retromolaris.

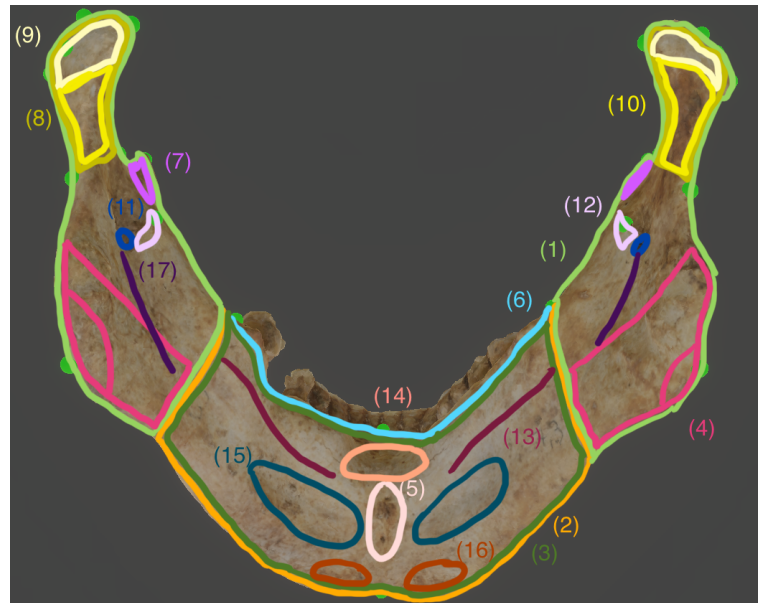


Abbildung 2.7.: Übersicht der anatomischen Landmarken. Ansicht posteroinferior. (1) Ramus mandibulae, (2) Corpus mandibulae, (3) Basis mandibulae, (4) Angulus mandibulae, (5) Spinae mentales, (6) Pars alveolaris, (7) Processus coronoideus, (8) Processus condylaris, (9) Caput mandibulae, (10) Collum mandibulae, (11) Foramen mandibulae, (12) Lingula mandibulae, (13) Linea mylohyoidea, (14) Fovea sublingualis, (15) Fovea submandibularis, (16) Fossa digastrica, (17) Sulcus mylohyoideus



Abbildung 2.8.: Übersicht der anatomischen Landmarken. Ansicht superior. (1) Ramus mandibulae, (2) Corpus mandibulae, (3) Processus coronoideus, (4) Processus condylaris, (5) Fovea pterygoidea, (6) Caput mandibulae, (7) Arcus mandibulae, (8) Alveolus dentalis, (9) Trigonum retromolare, (10) Fossa retromolaris, (11) Septum interalveolaris

2.6. Anthropologische Befunde

2.6.1. Erhalt von Skeletten

Skelettale Überreste unterliegen postmortal umweltabhängigen Veränderungen. Diese können sich durch eine vollständige Auflösung oder sogar durch eine Fossilisation äußern. Diese Vorgänge der Modifikation unterliegen einer komplexen Reihe von Prozessen, die heutzutage nur teilweise verstanden werden. Außerdem können sie einen entscheidenden Einfluss auf die Analyse von Skelettmaterial haben. Diese detaillierten Prozesse von Tod bis zur „Wiederentdeckung“ des Individuums werden als taphonomische Ereignisse bezeichnet. Das Wort *Taphonomie* wird aus dem griechischen „taphos“ abgeleitet, worunter Tod oder Bestattung zu verstehen ist. In der Taphonomie werden unterschiedliche Stadien unterteilt. So wird der Teil vor und während der Bestattung als *Biostratinomie* bezeichnet. Hierbei starten die Prozesse mit dem Tod des Individuums [53]. Jedoch wird die Todesursache sowie der Zerfall des Weichteilgewebes mittels des Begriffs *Nekrologie* von der *Biostratinomie* separiert [55]. Die Prozesse nach der Bestattung werden *Diagenese* genannt. Dieser Begriff wurde aus der Geologie adaptiert und beschreibt die „biologischen, chemischen und physikalischen Änderungen des Skelettmaterials, die nach der Bestattung stattfinden“, wobei die Bestattung als Erdbedeckung der Überreste verstanden wird. Somit lässt sich zusammenfassend sagen, dass die Prozesse unter der Oberfläche als Diagenese und direkt an der Oberfläche als Biostratinomie (häufig bei der Verwesung von Tierkadavern) bezeichnet werden. [39, S. 150]

Die Prozesse der Biostratinomie äußern sich in zahlreichen Formen. Letztendlich müssen bei der Befundsaufnahme die sichtbaren Folgen davon dokumentiert werden und von möglichen intra- oder perimortalen (um den Todeszeitpunkt herum) Vorgängen abgegrenzt werden. Außerdem muss zwischen natürlichen und anthropogenen Spuren unterschieden werden. Beispiele für biostratinomische Prozesse sind Veränderungen am Knochen durch Verwitterung, Pflanzenbewuchs, Zertrampeln, Tierfraß oder Transport. [39, S. 155]

Auch die Diagenese umfasst eine hohe Anzahl von Prozessen, die für die Veränderung unterschiedlicher Knochenstrukturen verantwortlich sind. Beispiele hierfür sind der chemische und vor allem der biogene Knochenabbau. Bei Letzterem kann der Knochen durch Mikroorganismen (z.B. Bakterien oder Pilze), ihren Produkten und Enzymen [17], [18] zerstört oder verändert werden. [39, S. 162]

All diese Prozesse werden unter anderem bei der anthropologischen Befundsaufnahme dokumentiert. Dabei werden zunächst die einzelnen Knochenelemente identifiziert und in der anatomischen Standardposition ausgelegt. In dieser Position ist die Beurteilung über den Erhaltungsgrad am einfachsten und erfolgt meistens nach dem Schema wie in Abbildung 2.9 zu sehen. Die entsprechenden Bereiche werden dabei markiert. Für das Gebiss wird die Aufnahme des generellen Zahnstatus angegeben. Beim Erhaltungsgrad wird zwischen drei Rubriken unterschieden: Vollständigkeit, Oberflächenerhaltung und Fragmentierungsgrad. Bei der Vollständigkeit ist das Vorhandensein und die Vollständigkeit der einzelnen Skelettelemente zu erfassen. Bei der Dokumentation der Oberflächenerhaltung

ist auf Abrasion und/oder taphonomische Veränderungen der Knochenoberfläche zu schauen. Bei dem Fragmentierungsgrad wird die Zerteilung des Skelettelements aufgrund taphonomischer und/oder bergungsbedingter Prozesse näher betrachtet. Für alle Aspekte kann die Dokumentation deskriptiv, aber auch anhand eines Klassifizierungssystems erfolgen (siehe Tabelle 2.4). Nicht zu vergessen sind dabei auch taphonomische Veränderungen (z.B. Schnittmarken oder Farbveränderungen). Mittels Fotos können diese beschrieben werden. [39, S. 251]

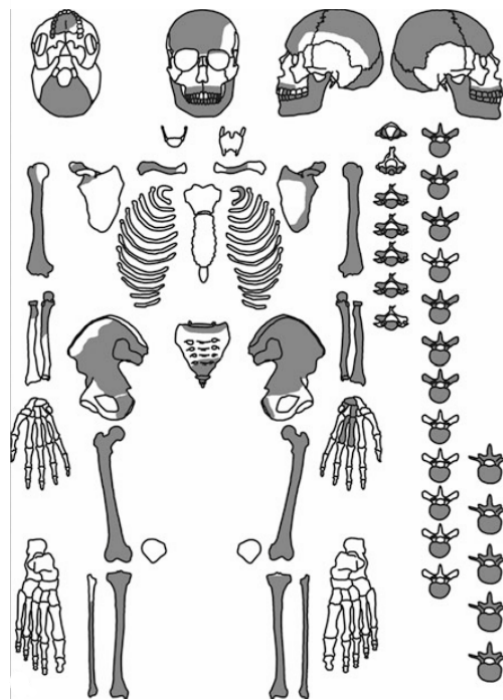


Abbildung 2.9.: Schema für die Dokumentation über die Vollständigkeit eines Individuums. Dabei sind die erhaltenen Elemente grau unterlegt. Übernommen aus Grupe et al. [39, S. 252]

Tabelle 2.4.: Schema zur standardisierten Klassifizierung des Skeletterhalts. Übernommen aus Grupe et al. [39, S. 253]

Index	Vollständigkeit	Knochenoberfläche	Fragmentierung
0	Skelettelement fehlt bzw. kann nicht bewertet werden	Skelettelement fehlt bzw. kann nicht bewertet werden	Skelettelement fehlt bzw. kann nicht bewertet werden
1	Vollständig (mehr als 75% überliefert)	Oberfläche intakt (mehr als 75% bewertbar)	Nicht fragmentiert (weniger als 25% fragmentiert)
2	Teilweise erhalten (25–75% überliefert)	Oberfläche angegriffen (25–75% bewertbar)	Teilweise fragmentiert (25–75% fragmentiert)
3	Kaum erhalten (weniger als 25% überliefert)	Oberfläche erodiert (weniger als 25% bewertbar)	Stark fragmentiert (mehr als 75% fragmentiert)

2.6.2. Alters- und Geschlechtsbestimmung

Altersbestimmung. Die Altersbestimmung erfolgt morphologisch anhand der Beurteilung wachstumsbedingter Knochenauf- und -umbauprozesse, der Zahnentwicklung nicht-erwachsener sowie degenerativer Alterserscheinungen erwachsener Individuen. Dabei sind aber auch die genetische Disposition, mechanische Belastung des Gesundheits- und Ernährungszustands in variierenden Ausmaßen zu beachten. Aus diesem Grund wird zwischen einem chronologischen und biologischen Alter differenziert. Ersteres beschreibt das Alter des Individuums als bereits vergangene Lebenszeit seit der Geburt. Letzteres gibt den Zustand des Körpers an. Dieser entspricht ungefähr einem chronologischen Alter. Jedoch wird die Lücke zwischen beiden mit zunehmendem Lebensalter immer größer. Deshalb wird empfohlen das Sterbealter in Altersklassen darzustellen, welche mehrere Jahre umfassen. Dabei umfasst die erste Altersklasse *Infans I* die ersten sechs Jahre, die zweite Klasse *Infans II* die Jahre sieben bis zwölf. Ab dort beginnt das Jugendalter *Juvenis* in den Jahren 13 bis 20. Die nächste Phase des Erwachsenenalters *Adultas* zwischen den Lebensjahren 20 bis 40 kann abhängig vom Erhaltungsgrad auch in früh-, mittel-, und spätadult unterteilt werden. Nach *Adultas* folgt das Reifealter *Maturitas* zwischen dem 40. und 60. Lebensjahr, gefolgt von dem Greisenalter *Senilis* ab 60 Jahren. Aber auch andere Arten der Einteilungen sind denkbar, wie nach Buikstra und Ubelaker [16] wo in frühadult (20 bis 34 Jahre), mitteladult (35 bis 49 Jahre) und spätadult (ab 50 Jahren) eingeteilt wird. [39, S. 265]

Das Alter kann anhand der Mandibula ebenfalls bestimmt werden, wenn auch nur in jungen Jahren genauer. So entwickeln sich in den ersten 30 Lebensmonaten die Milchzähne vollständig aus. Dabei brechen zuerst die Incisivi (zwei pro Quadrant), dann die Canini (einer pro Quadrant) und anschließend die Molaren (zwei pro Quadrant) durch. Insgesamt besteht das Gebiss dann aus 20 Milchzähnen (*Dentes decidui*). Ab ungefähr dem sechsten Lebensjahr fallen diese in größeren Zeitintervallen aus und werden durch bleibende Zähne (*Dentes permanentes*) ersetzt. Aus 20 *Dentes* werden 36. Mit Ausnahme der Molaren gleicht das Milchgebiss dem Dauergebiss. Aus den Molaren des Milchgebisses werden die Prämolaren. Die ersten Molaren brechen ab dem sechsten Lebensjahr, die zweiten ab dem zwölften und die dritten ab dem 18. Lebensjahr aus. Abweichungen sind möglich. In Abbildung 2.10 ist die Entwicklung der Zähne grafisch dargestellt. [70]

Im fortschreitenden Alter kann es zur Atrophie kommen. Dies führt zur Rückbildung der *Pars alveolaris* der Mandibula. Hierbei kann es dazu kommen, dass das Foramen mentale am Oberrand liegt. Darüber hinaus ist der Winkel des *Angulus mandibulae* größer als bei einer bezahnten Mandibula. [70]

Bei der Mandibula eines Neugeborenen werden deren beide Hälften über die *Symphysis mandibulae* miteinander verbunden. Des Weiteren ist der Winkel des *Angulus mandibulae* noch hinreichend groß und die *Processi coronoidea* und *Processi condylaria* wenig ausgeprägt. [70]

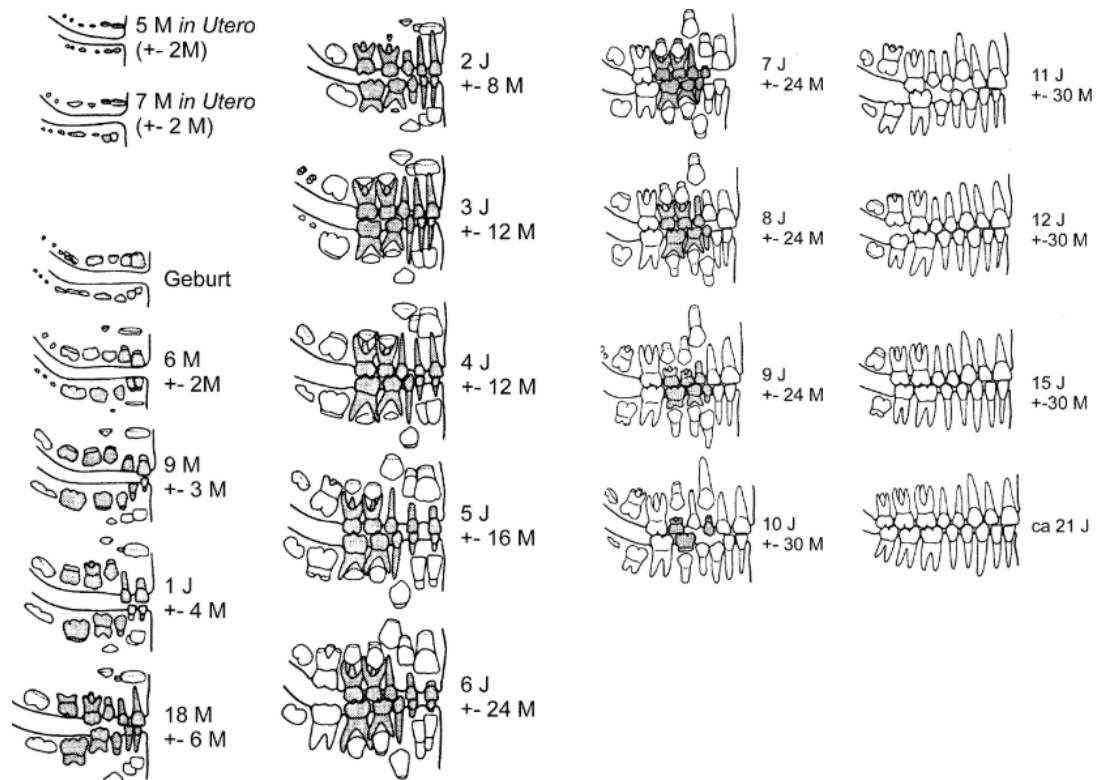


Abbildung 2.10.: Entwicklung der Zähne. Die gerasterten Zähne entsprechen den Dentes decidui. M = Monat, J = Jahr. Aus: Ubelaker [94]

Geschlechtsbestimmung. Da die Pubertät beim Geschlechtsdimorphismus entscheidend ist, ist die Geschlechtsbestimmung bei nicht erwachsenen Individuen nur bedingt anwendbar. Bei erwachsenen Individuen eignen sich v.a. die funktionalen Beckenmerkmale, die allgemeine Robustizität des gesamten Skeletts sowie die Schädelmerkmale für die Ermittlung des Geschlechts. Empfohlen wird die Bestimmung anhand aller Merkmale zusammen, jedoch ist die Bestimmung auch durch einzelne Merkmale, wenn auch ungenauer, möglich. Bei manchen Individuen kommt es jedoch auch zu Fehleinschätzungen, da einige Merkmale (vermeintlich) sehr weiblich oder männlich ausgeprägt sind, das Individuum aber in Wirklichkeit zum anderen Geschlecht gehört. Außerdem können die Merkmale bezogen auf den Geschlechtsdimorphismus populationsabhängig sein. Darüber hinaus kann es bei stark fragmentierten Skeletten durchaus vorkommen, dass das Geschlecht „nicht bestimmbar“ ist, da die geschlechtsdimorphen Merkmalsregionen nur zum Teil oder gar nicht vorhanden sind. Des Weiteren ist die Angabe der „Tendenz“ (weiblich oder männlich) ebenfalls anwendbar, wenn noch geringer Zweifel an der Diagnose des Geschlechts bestehen. Durch Diskriminanzfunktionen kann anhand von Skelettmaßen ebenfalls eine Geschlechtsbestimmung durchgeführt werden. Jedoch ist hierbei auch darauf zu achten, dass die Funktionen populationsabhängig sind. [39, S. 254]

Brkic et al. [14] fanden heraus, dass das X-Chromosom das Wachstum der Mandibula beeinflusst und zwischen beiden Geschlechtern Unterschiede entstehen lässt [95], [14]. Daher ist die Mandibula für die Geschlechtsbestimmung von großer Bedeutung, v.a.

wenn das Cranium nicht intakt ist [83]. So sind männliche Mandibulae meistens größer in ihrer Form und insgesamt robuster als die weiblicher Individuen [79]. [2] Des Weiteren weisen männliche Individuen eine deutlichere Ausprägung der Muskelmarken in der Kinnregion (Mentum), einen leicht bis stark evertierten (nach außen gezogen) Angulus mandibulae und eine Ramusflexion (Einknickung am posterioren Ramus mandibulae) auf. Bei Individuen mit vielen fehlenden Zähnen und dadurch entstehenden Schwund des Knochens (Atrophie) kann die Bestimmung des Geschlechtes problematisch werden. [39, S. 264] Mittels Diskriminanzfunktionen kann ebenfalls das Geschlecht anhand einer Mandibula berechnet werden (siehe 3.2.6 Statistische Analysen, ab Seite 36).

Neben der Alters- und Geschlechtsbestimmung ist außerdem die Körperhöhe des Individuums ermittelbar. Da die Körperhöhe anhand der Mandibula nicht ermittelbar ist, wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

2.6.3. Osteometrie

Der Begriff *Osteometrie* steht für die „Lehre von der Vermessung des Skeletts“. Dieses Gebiet zielt auf die quantitative Erfassung, auf die Größe und Form von Skelettelementen eines Individuums ab. Verwendet werden dabei lineare Messstrecken. Grundlage dafür sind vorab klar definierte Punkte, welche auf den zu vermessenden Skelettelementen markiert sind. Diese Punkte werden osteometrische Landmarken genannt [20]. Die Messstrecken zwischen diesen osteometrischen Landmarken werden mittels eines standardisierten Verfahrens mit bestimmten Messwerkzeugen (siehe Kapitel 3.1.4 Messinstrumente, Seite 26) abgenommen. Die Distanzen können somit unabhängig von der bearbeitenden Person reproduzierbar dokumentiert werden. [39, S. 279]

Trotz der langen Tradition der kontinuierlichen Vermessung, welche bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts reicht, wird diese heutzutage kaum aufgrund ihres hauptsächlich deskriptiven Charakters genutzt. Ein Nachteil der konventionellen linearen Messstrecken beruht darauf, dass eine sehr hohe Zahl an Messungen durchgeführt werden muss, um den räumlichen Bezug der verschiedenen Messpunkte zueinander zu bewahren. Aus diesem Grund werden heutzutage geometrisch basierte Verfahren verwendet, um die Gestalt in einem zwei- oder dreidimensionalen Raum zu analysieren. Für diese Verfahren sind Messstrecken nicht mehr notwendig. Anstelle dessen werden „zwei- oder dreidimensionale Koordinaten anatomischer Messpunkte“ verwendet [85], [64], [40]. [39, S. 281]

2.6.4. Anatomische Varianten

Variabilitäten können nicht nur in der Anzahl der Knochen vorkommen, sondern treten auch bei anatomischen Landmarken auf. Durch ihnen lassen sich die Individuen untereinander differenzieren. Sie haben ebenfalls Einfluss auf Positionsverschiebungen einzelner oder mehrerer Landmarken und sind daher nicht unbeachtet zu lassen.

Eine standardisierte Definition oder einen standardisierten Begriff für anatomische Varianten gibt es bisher nicht. Für Varianten werden diverse Termini verwendet, wie Rösing [75] herausfand. So werden folgende Begriffe genutzt: Skelett-„Anomalien“ [1], diskontinuierlichen variierende [69], semi-kontinuierliche [74], quasi-kontinuierliche [92], Discreta [75], nicht-metrische [78], epigenetische [42] und anatomischen Varianten [45]. Diese Überbegriffe beschreiben prinzipiell dieselben anatomischen Strukturen und Merkmalsgruppen, jedoch wird die Kategorisierung jeweils anders erklärt: So bedeutet nicht-metrisch dasselbe wie nicht-messbar. Unter epigenetisch ist die Vererbbarkeit zu verstehen, welche durch Umweltfaktoren beeinflussbar ist. Die anatomische Variante meint nicht die übliche Merkmalsausprägung und unter quasi-kontinuierlich bzw. diskontinuierlich ist zu verstehen, dass das Merkmal nicht bei jedem Individuum vorhanden sowie diskret und nicht stetig ist. Die Bezeichnung von Grupe et al. [39] „Anatomische Skelettvariante“ liefert „eine objektive und deskriptive Beschreibung, welche auch das erworbene Merkmal einschließt“. Aus diesem Grund wird für die vorliegende Arbeit diese Bezeichnung übernommen. [39, S. 333]

Beispiele für anatomische Skelettvarianten können überzählige Costae, Vertebrae, Dentales oder Foramina sein. Auch das Fehlen des 3. Molaren ist denkbar. Des Weiteren ist es möglich, dass auch direkte „Veränderungen“ in der Morphologie des Knochens aufzufinden sind, z.B. Gabelungen an den Enden der Costae oder Knochenwulsten an der Mandibula oder Maxilla. [39, S. 338]

In dem Buch „Traits and Anatomical Variants in the Human Skeleton“ haben Mann et al. [56] diverse anatomische Skelettvarianten herausgearbeitet und bildlich beschrieben. Für die Mandibula lassen sich diese kurz unter Veränderungen an der Morphologie und an den Zähnen, akzessorische Foramina und Kanäle sowie dem Stafne's Effekt zusammenfassen [56]:

1. Veränderungen an der Morphologie:

- Bilobat: quadratisches Kinn, welches bei männlichen Individuen beobachtet wurde
- gegabelter oder geteilter Processus condylaris
- hervorstehende Spinae mentales: können manchmal auch verschmolzen sein [84]
- linguale Exostosen: sind Tori mandibularum, die zu länglichen Knochenstäben zusammenwachsen und unterschiedlich stark ausgeprägt sein können
- bilaterale Vertiefungen der Fovea sublingualis, die in der Tiefe unterschiedlich sein können
- antegoniale Kerbe: tiefe Kerbe im Bereich des Angulus mandibuale
- Foramina: können in der Größe unterschiedlich sein, doppelt oder geteilt [73], [90] (z.T. mit Überbrückung) vorkommen, nur auf einer Seite vorhanden sein oder ineinander (externes Foramen mit internem Foramen) vorliegen
- abgeflachter Processus coronoideus, sodass die Spitze fehlt [47], [72]
- Mylohyoid-Brücke in unterschiedlich starker Ausprägung [57]
- Tuberositas massetrica: sind Knochenleisten am lateralen Angulus mandibulae [21]

- Tuberositas pterygoidea: sind Knochenleisten am medialen Angulus mandibulae [21]
- 2. akzessorische Foramina und Canalis, z.B. im linguale Bereich der Mandibula [61]
- 3. Stafne's Defekt: ist ein statischer oder idiopathischer Knochenhohlraum oder Speicheldrüsenvertiefung mit variabler Größe und Lage (meist im Bereich der submandibularen oder sublingualen Speicheldrüse) [57], [86]
- 4. Dentales: z.B. fehlender dritter Molar [39].

2.7. Digitalisierung von Skeletten

Zur Darstellung der 3D-Modelle von menschlichen Knochen für die anthropologische Untersuchung und Annotation wird zunächst die Photogrammetrie benötigt. Unter Photogrammetrie ist die „Wissenschaft des Messens in Fotos“ zu verstehen. Mit dieser ist es möglich, Entfernungen oder Flächen zu ermitteln. Dabei können außerdem geometrische Daten berechnet oder Karten erstellt werden. Jedoch sind aus einem zweidimensionalen Bild nur zweidimensionale Koordinaten ableitbar, weswegen für den Erhalt von dreidimensionalen Koordinaten eine „stereoskopische Betrachtung“ verwendet wird. Dies bedeutet, dass dreidimensionale Koordinaten einfach berechenbar sind, wenn von einem gleichen Objekt zwei oder mehr Fotos aus unterschiedlichen Perspektiven aufgenommen werden. [54]

Für die Fotografie im Zuge der vorliegenden Arbeit, wurden digitale Spiegelreflexkameras verwendet. Die Spiegelreflexkamera (engl. *digital single lens reflex camera (DSLR)*) ist für viele fotografische Aufgaben erweiterbar. So stehen zahlreiche Objektive, zusätzliche Batteriepacks oder Fernauslöser zur Auswahl. Einige Kameras bieten auch eine WLAN-Erweiterung an, sodass die Bilder direkt an den Computer weitergeleitet werden können. [97] Ein weiteres Merkmal ist außerdem, dass das Bild im Sucher genauso erscheint, wie es aufgenommen wird. Dies wird dadurch ermöglicht, dass direkt durch das Objektiv geschaut wird. [89]

Für die Lichtintensität, die für die Photogrammetrie im Zuge dieses Praktikums wichtig ist, sind folgende Eigenschaften relevant: Blende, ISO-Wert und Belichtungszeit. Die Blende steuert die Menge des einfallenden Lichts im Objektiv und ist meist aus Metalllamellen zusammengebaut. Zu jeder Öffnungsweite der Blende gibt es eine bestimmte Blendenzahl, welche sich rechnerisch aus der Brennweite geteilt durch den wirksamen Öffnungsdurchmesser des Objektivs ermitteln lässt. Durch das Linsensystem des Objektivs können die einfallenden Lichtstrahlen noch vor Eintritt in die Blendenöffnung gebündelt werden. Aus diesem Grund ist der wirksame Öffnungsdurchmesser größer als der tatsächliche. Zudem steuert die Blende auch die Schärfe. Wird die Blende ein wenig geschlossen (abblenden), wird die Schärfentiefe sowie die gesamte Schärfe größer, da die Abbildungsfehler bei offener Blende am stärksten sind. Wird die Blende jedoch zu weit abgeblendet, kommt es zur Beugungsunschärfe. [97]

Die Belichtungszeit, auch Verschlusszeit genannt, regelt die Verschlussöffnungszeit. Ge-

ringe Belichtungszeiten unter 1/1000 Sekunden sind nützlich um schnelle Bewegungen scharf darzustellen. Dem gegenüber sind hohe Verschlusszeiten nützlich, um langsame Bewegungen scharf darzustellen und können teils in den Minuten- bis sogar in den Stundenbereich gehen. Dazu sollte jedoch ein Stativ verwendet werden, da hohe Belichtungszeiten sehr empfindlich für Verwacklungen sind. [37]

Unter dem ISO-Wert wird die Lichtempfindlichkeit verstanden, wobei bei höherem ISO-Wert die Lichtempfindlichkeit ebenfalls höher ist. Bei digitalen Kameras ist an dieser Stelle ein Sensor. Mittels der ISO-Einstellung kann dieser gesteuert werden, wobei der Ausgangswert 100 beträgt. Jedoch verschlechtert sich die Bildqualität mit Erhöhen des ISO-Werts. [15]

3. Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die für diese Arbeit verwendeten Materialien und Methoden näher erläutert.

3.1. Material

Die verwendeten Materialien lassen sich in Skelettmaterialien, Hilfsmittel für die Digitalisierung, Annotationen und Messungen an physischen Mandibulae untergliedern. In diesem Abschnitt werden diese aufgezeigt.

3.1.1. Skelettmaterial

Im Jahr 2015 wurden bei Bauarbeiten in der Beilacherstraße 80-88 Frankfurt-Rödelheim 204 skelettale Überreste gefunden in insgesamt 35 Grabgruben. Diese wurden Soldatengräbern des 18. und frühen 19. Jahrhunderts zugewiesen. Bis auf wenigen Ausnahmen befanden sich pro Grabgrube mehrere Individuen. Außerdem konnten diese den Toten der napoleonischen Kriegen und den folgenden Befreiungskriegen zugeordnet werden. Zu dieser Zeit befanden sich außer den „Franzosen“ auch Alliierte Truppen (russische und polnische Kosacken, Österreicher, Preußen und bayrische Truppen) für einen kurzen Zeitpunkt zusammen dort. Die Mehrzahl der Bestatteten lässt sich auf das Jahr 1813 zurückführen auf eine überwiegende Mehrheit von jungen Männern. [41]

Die Rödelheimer Skelettsammlung befindet sich derzeit an der Georg-August-Universität Göttingen. Davon wurden einzelne Individuen als Leihgabe an die Hochschule Mittweida gebracht. Insgesamt wurden 23 Skelette mittels Photogrammetrie gescannt und 13 Mandibulae digitalisiert, um in der Software AnthroWorks3D implementiert werden zu können. Alle Individuen waren männlich (M.Heuschkel (M.Sc.) mit A.Flux (M.Sc.) und Dr. B. Grosskopf, persönliche Kommunikation, 18.11.2021).

3.1.2. Digitalisierung

Für die Digitalisierung der Skelette wurden drei Spiegelreflexkameras, ein Drehteller, zwei Softboxen und ein Scheinwerfer benötigt. Dabei standen für die Kameras zwei Nikon D7100 und eine Nikon D7500 zur Verfügung. Bei den Objektiven hingegen handelte es sich um welche des Modells AF-S DX NIKKOR 18-55 mm 1:3,5-5,6G VR sowie des Modells AF-S DX NIKKOR 18-140mm 1:3,5-5,6G ED VR. Die Kameras wurden hierbei zusammen mit dem Drehteller per USB-Kabel mit einem HP-Laptop des Modells ProBook6560b verbunden. Mittels der Software *StageOnAir Control*¹ [87] konnte der

¹<https://www.stageonair.com/software-stageonair-control/>

Drehteller gesteuert werden. Für die Ermöglichung der parallelen Bildaufnahme stand außerdem die freie Software *digiCamControl*² [24] zur Verfügung.

3.1.3. Software für die Annotationen

AnthroWorks3D. Für die Annotationen an den Mandibulae wurde die in der Hochschule Mittweida entwickelte Software *AnthroWorks3D* verwendet. Wie eingangs schon erwähnt wurde hierfür ein digitaler Zwilling eines physischen Skeletts erstellt. Dieser wurde anschließend in der virtuellen Untersuchungsumgebung in 3D dargestellt. Dies ermöglicht eine ortsunabhängige und parallele Untersuchung, auch wenn das Original bereits bestattet wurde. [31] Mittels dieser Software sind Punkt-, Linien- und Flächenmarkierungen möglich sowie Messungen von Abständen, Winkeln und Umfängen. Hierfür wurde anfangs ein Lenovo Thinkpad E590 mit einer Intel(R) UHD Graphics 620 als Grafikkarte verwendet, später ein Dell G3 15 mit den Grafikkarten Intel(R) UHD Graphics 630 und NVIDIA GeForce GTX 1650.

TurboCAD. Zum Vergleich für die Benutzerfreundlichkeit und Handlichkeit wurde außerdem das kostenpflichtige Programm *TurboCAD*³ [93] hinzugezogen. Dieses dient als Tool zum technischen Zeichnen. Annotationen sind damit ebenfalls möglich. Während der Arbeit mit TurboCAD wurde eine HP Z2 Tower G4 Workstation mit der Grafikkarte NVIDIA Quadro P2000 verwendet.

3.1.4. Messinstrumente

Für das Messen an einer physischen Mandibula wurden ein digitaler Messschieber von *POWERFIX* (siehe Abbildung 3.1) sowie ein digitaler Winkelmesser (siehe Abbildung 3.2) des gleichen Herstellers verwendet.



Abbildung 3.1.: Digitaler Messschieber des Herstellers POWERFIX.

²<https://digidcamcontrol.com/>

³<https://turbocad.de/>



Abbildung 3.2.: Digitaler Winkelmesser des Herstellers POWERFIX.

3.2. Methoden

In diesem Abschnitt wird der Vorgang bei der Skelettdigitalisierung näher beschrieben. Des Weiteren werden die Kriterien für die Auswahlprozesse des ersten Knochens, der verwendeten Landmarken und Messstrecken sowie der Schablone aufgezeigt. Anschließend wird das Verfahren für die Annotationen beleuchtet sowie für die Messungen am physischen Skelett. Das Kapitel endet mit den beschriebenen Methoden für die statistischen Analysen, den Fehlerberechnungen und den Views.

3.2.1. Skelettdigitalisierung

Die Digitalisierung erfolgte im Digitalisierungsraum der Hochschule Mittweida. Dort waren die Kameras und der Drehteller bereits aufgestellt. Die Softboxen und der Scheinwerfer, welcher unten positioniert war, mussten außerdem für ausreichend Beleuchtung sorgen. Die Kameraeinstellungen waren hierbei einer Anleitung von Fabian Schmiedel (B.Sc.) und Hanjo Tim Fritsch (B.Sc.) zu entnehmen. Dabei wurde der ISO-Wert auf 400 eingestellt, die Belichtungszeit auf 1/20 Sekunden und die Blendenöffnung auf 20f. Folgende Kamerapositionen wurden eingestellt: 45° von oben, 45° von unten und senkrecht zum Knochen. Die Bildbereiche der Kameras mussten so ausgerichtet werden, dass das Bild möglichst ausgefüllt wurde. Die Darstellung anderer Gegenstände wie (z.B. Softboxen) wurde weitestgehend vermieden. Bei dieser Einstellung drehte sich parallel der Drehteller auf höchster Stufe, damit erkannt werden konnte, ob der Knochen im Bild blieb. Danach wurden die Fotos synchronisiert aufgenommen. Hierbei wurde die Fotoanzahl auf 59 Fotos pro Kamera eingestellt, der Drehteller lief auf der niedrigsten Stufe und die Bilder wurden alle fünf Sekunden ausgelöst. Insgesamt benötigte dieser Vorgang vier Minuten. War ein Skelett fertig aufgenommen, so wurde dieses für die weitere Verarbeitung bis hin zum vollständigen digitalen 3D-Modell dem Medieninformatik-Team zur Verfügung gestellt. [32]

3.2.2. Kriterien für die Auswahlprozesse

Der erste Knochen. Da vorab nicht eingeschätzt werden konnte, wie lange die Untersuchung eines Knochens dauern würde, war die Entscheidung zur Wahl des ersten Knochens besonders wichtig. So sollte dieser bestimmte Anforderungen erfüllen. Um die Untersuchung der Symmetrie zu erleichtern, musste der Knochen auf dem Median liegen. Außerdem sollte er für den Anfang nicht zu detailreich sein sowie eine hohe Robustheit aufweisen und bei Ausgrabungen häufig vorhanden sein.

Die Entscheidung fiel auf den Unterkiefer. Dieser erfüllt alle oben genannten Kriterien, denn bei diesem handelt es sich um den Knochen mit der höchsten Robustheit des menschlichen Skeletts. Ist der Zustand des Unterkiefers gut erhalten, dann hält dieser länger als jeder andere Knochen. [46]

Anatomische Landmarken. Als erstes wurden die anatomischen Landmarken aus der TA herausgesucht und bewertet, ob diese für AnthroWorks3D definiert werden sollten. Dabei gab es folgende Kriterien:

- Sind diese in den meisten Literaturquellen vertreten?
- Sind diese in AnthroWorks3D einsehbar?
- Handelt es sich dabei um eine Variante?

Wurden beim Recherchieren Landmarken gefunden, die nicht in der TA enthalten waren, wurde überprüft, ob diese in anderen Literaturquellen vorkamen.

Nur wenige anatomische Landmarken wurden nicht genommen. Diese werden in Tabelle 3.1 präsentiert.

Tabelle 3.1.: Übersicht der anatomischen Landmarken, die nicht ausgewählt wurden mit Begründung [8],[67], [49], [70], [21], [26], [80], [88]

Anat. Strukturen	Begründung
Symphysis mandibulae	Nicht zu sehen.
Torus mandibulae	Nicht vorhanden in Kenhub, Prometheus, Gray und Waldeyer; in Feneis' Bild-Lexikon der Anatomie und Sobotta nur in Klammern.
Septa interradicularia	Bei vorhandenen Zähnen/zurückgebildeter Pars alveolaris/verwachsenen Alveolen nicht ersichtlich.
Tuberositas pterygoidea	Variabel vorkommend.
Tuberositas massetrica	Variabel vorkommend.
Canalis mandibulae	Nicht direkt zu sehen und eignet sich daher schlecht für die Markierung in <i>AnthroWorks3D</i> .
Crista temporalis	Nur in TA und FMA und in Feneis' Bild-Lexikon der Anatomie vorhanden.

Osteometrische Landmarken und Messstrecken. Hierbei war es das Ziel bereits etablierte osteometrische Landmarken zu setzen und neue zu definieren, welche als Basis für die Messstrecken dienen sollten. Für die bereits etablierten Landmarken waren Literaturrecherchen nötig. Bei den Messstrecken sollten diejenigen genommen werden, welche bei Diskriminanzfunktionen häufig verwendet wurden und am stärksten zum Dimorphismus beitragen. Auch für diese mussten ggf. die Anfangs- und Endpunkte als neue osteometrische Landmarken definiert werden. Neben dem Setzen der Landmarken sollte außerdem notiert werden, welche sich besonders gut eignen. Diese wurden nach vier Stufen bewertet:

- - = Messpunkt nicht setzbar, aufgrund von Fragmentierung
- 3 = schwer setzbar, da der Punkt nur schätzbar ist, aufgrund von keiner Ausprägung oder leichter Fragmentierung
- 2 = unsicher beim setzen, da teils sehr schwache Ausprägung des zugrunde liegenden Merkmals vorhanden ist
- 1 = leicht setzbar

Dieses Stufensystem sollte die zuverlässigsten Landmarken präsentieren. Anhand dieser sollten dann weitere Messstrecken hinzugefügt werden. Hierbei wurden zwischen der zuverlässigsten Landmarke und allen anderen Landmarken Messstrecken gebildet. Des Weiteren wurde auch die zweit-zuverlässigste Landmarke genommen. Diese sollte aber nur Messstrecken zu zwei gewählten Landmarken bilden. Anschließend wurde eine weniger zuverlässige Landmarke gewählt, welche zu drei bis vier anderen Landmarken eine Messstrecke bilden sollte. Das ganze sollte dazu dienen, um zu beobachten, wie sich diese beiden Landmarken von Individuum zu Individuum verhalten. Zuletzt sollte außerdem eine Art „Gesamtgröße“ der Mandibula ermittelt werden (siehe Abbildung 3.3). Diese sollte als ein-dimensionaler Ersatz für ein Volumen stehen, da das Volumen bisher nicht in AnthroWorks3D berechenbar war. Dabei war es die Idee, mehrere Messstrecken zu kombinieren, welche vorher ebenfalls bestimmt werden mussten.

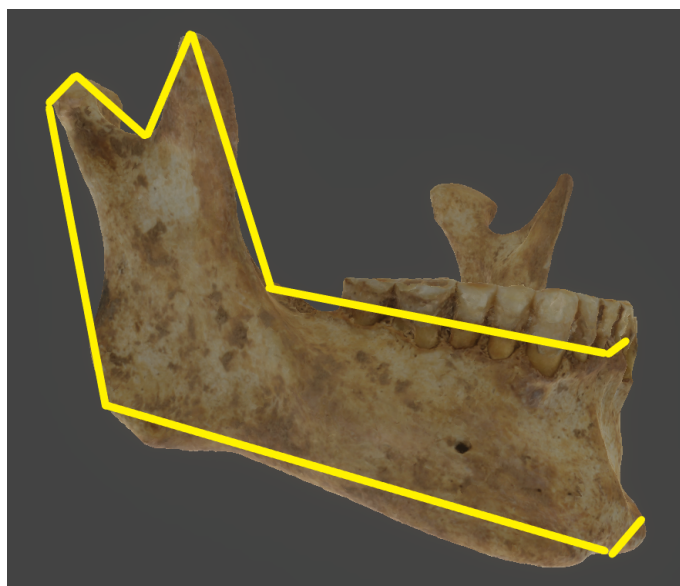


Abbildung 3.3.: Gesamtgröße als ein-dimensionaler Ersatz für das Volumen in gelben Linien dargestellt. Die Strecken sollen auch für die andere Seite der Mandibula gelten.

Für die osteometrischen Landmarken wurden die ausgewählt, welche in den Abbildungen 3.4 bis 3.6 zu sehen sind. Dabei sind die Landmarken Gonion (go), Mentale (ml), Pogonion (pg), Gnathion (gn), Condylion laterale (cdl), Condylion mediale (cdm), Coronion (cr), Linguale (li), Lingulare (lg) und Infradentale (id) sowie Condylion superior (cs) bereits etablierte. Die Landmarken Condylion posteriore (cdp), Punctum posterioris rami mandibulae anterioris (ppra), Punctum anterioris rami mandibulae posterioris (parp), Punctum humilis incisurae (phi) und Centrum fossae retromolaris (cfr) stellen selbst entwickelte dar. Im Anhang (Kapitel A.1 Überblick zu den Definitionen der osteometrischen Landmarken ab Seite 95) sind diese einzusehen.

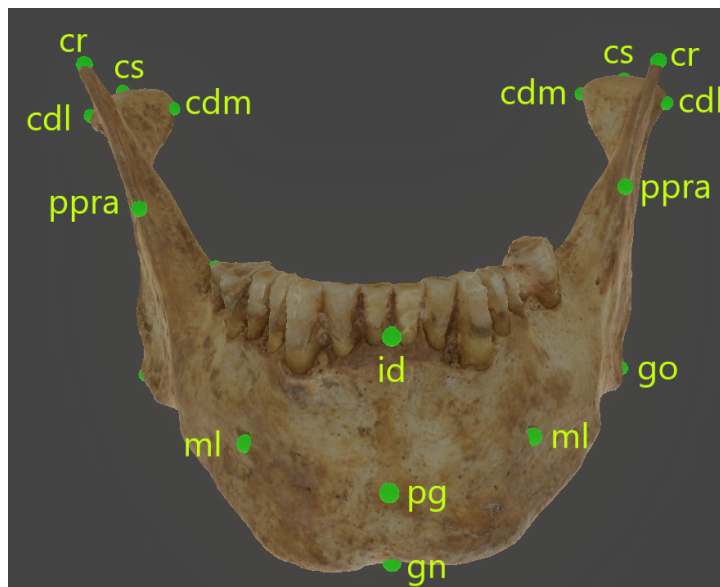


Abbildung 3.4.: Ausgewählte osteometrische Landmarken in anteriorer Ansicht.

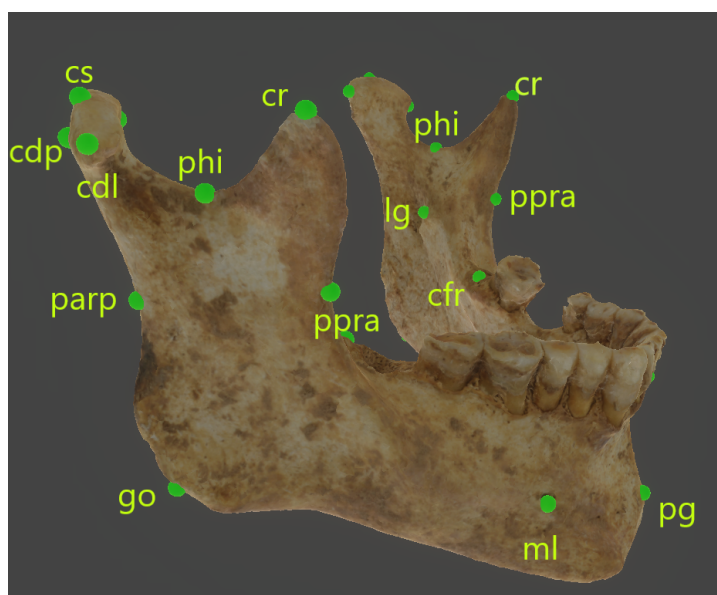


Abbildung 3.5.: Ausgewählte osteometrische Landmarken in lateraler Ansicht.

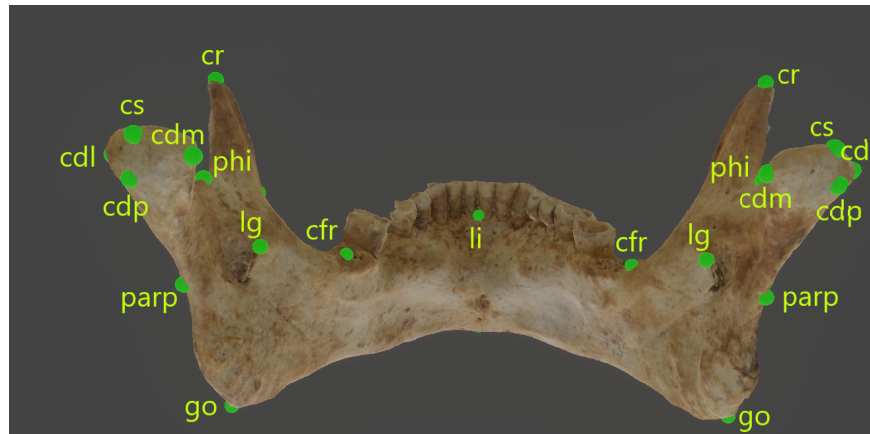


Abbildung 3.6.: Ausgewählte osteometrische Landmarken in posteriorer Ansicht.

Für die Bewertung der Landmarken nach Zuverlässigkeit wurde die Landmarke Mentale als die zuverlässigste eingestuft (siehe Tabelle 3.2). Auffällig ist außerdem, dass das Pogonion oft nur abschätzbar war.

Tabelle 3.2.: Übersicht zur Eignung der osteometrischen Landmarken pro Individuum mittels Zahlen von eins bis drei und einem Bindestrich: - = gar nicht setzbar, 3 = schwer setzbar, 2 = unsicher; 1 = leicht setzbar

Rö	id	go	ml	pg	gn	lg	li	cr	cdl	cdm	cdp	cs	cfr	phi	ppra	parp
6,2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6,3	1	2	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	2
7,1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
7,2	-	1	1	3	1	1	-	1	1	1	2	2	1	1	1	2
7,3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
8,2	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	2
8,3	1	3	1	3	2	3	1	1	1	3	1	2	1	1	1	1
8,4	1	2	1	3	2	1	1	-	-	1	1	2	1	3	-	2
10,4	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
14,2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
15,3	1	1	1	3	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2
29,13	1	2	1	3	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2

Für die zuverlässigste Landmarke, die zu allen anderen Landmarken eine Messstrecke bildet, wurde das rechte Mentale ausgewählt. Die zweit-zuverlässigste Landmarken war das linke Mentale. Dieses soll zu den mittig liegenden Landmarken Infradentale und Gnathion eine Messstrecke bilden. Die weniger zuverlässige Landmarke bildete das Infradentale. Für die Messstrecken, welche bei der Diskriminanzanalyse häufig betrachtet worden, wurden folgende gewählt pro Seite: Maße des Ramus mandibulae: die maximale

Länge (go-cs), die minimale Länge (co-cfr) sowie die minimale Breite (ppra-parp) und die Abstände beider Fortsätze (cs-cr). Weiterhin wurden Maße für den Abstand beider Rami mandibulae genommen: cdl-cdl, cdm-cdm und cr-cr. Die Breite des Caput mandibulae (cdl-cdm), Tiefe der Incisura mandibulae (phi-cs und phi-cr), Höhe des Unterkiefers am Mentum (gn-id), Länge des Unterkiefers (gn-go) und Gesamtbreite des Unterkiefers (go-go) wurden ebenfalls ausgewählt. Des Weiteren wurden auch die Anguli-Winkel und der Winkel go-gn-go als Maße genommen. Für die Gesamtgröße der Mandibula wurden noch einige Messstrecken ergänzt: cdp-cs, cfr-id sowie go-cdp. Die Messstrecken sind im Anhang (Kapitel [A.2 Ausgewählte Messstrecken](#), ab Seite 97) anhand einer physischen Mandibula (Rö-30,2) dargestellt. Da Rö-30,2 fragmentiert vorlag, wurden die fehlenden Messstrecken mit Hilfe von Rö-7,3 ergänzt.

Schablone. Die Schablone soll als „reale Durchschnittsmandibula“ dienen, um auf möglichst viele Mandibulae zu passen. Daher waren auch hier vorab festgelegte Kriterien notwendig. Die Mandibula sollte für diesen Zweck durchschnittlich groß sein. Das heißt, sie durfte nicht wesentlich größer oder kleiner als die Mandibula des Platzhalterskeletts sein. Darüber hinaus durfte sie keine Fragmentierungen aufweisen. Die anatomischen Landmarken sollten außerdem erkennbar ausgeprägt, aber auch nicht zu auffällig sein (z.B. nach außen gestülpte Anguli mandibularum).

3.2.3. Erstellung der Definitionen

In der Anatomie gibt es bisher keine standardisierten Definitionen zu den anatomischen Landmarken. Aus diesem Grund war hierbei das Ziel die anatomischen Landmarken herauszusuchen, ggf. Widersprüche aufzudecken und diese anschließend selbst anhand umfangreicher Literaturrecherchen zu definieren. Dies sollte dazu dienen, später die anatomischen Landmarken in AnthroWorks3D zu markieren, zu beschriften und gleichzeitig die Definition vorliegen zu haben. Nach der Auswahl der geeigneten anatomischen Landmarken wurde jede Information der jeweiligen Landmarke aus folgenden Quellen herausgesucht: TA [8], FMA [67], Feneis' Bild-Lexikon der Anatomie [21], Sobotta Band 3: Kopf, Hals und Neuroanatomie [70], Prometheus Band 3: Kopf, Hals und Neuroanatomie [80], Kenhub [49], Gray's anatomy for students [26] und Waldeyer - Anatomie des Menschen [88]. Aus diesen Informationen wurden anschließend die Definitionen (siehe [A.3 Überblick zu den Definitionen der anatomischen Landmarken](#) ab Seite 105) pro anatomische Landmarke entwickelt.

3.2.4. Annotationen

AnthroWorks3D. Die Dateien der 3D-Modelle der jeweiligen Individuen wurden über eine Cloud zur Verfügung gestellt. Bei Start von AnthroWorks3D musste zunächst der Name des aktiven Editors eingegeben werden. Anschließend konnte das 3D-Modell über den Pfad */Datei/Knochen importieren* importiert werden. Jedoch mussten dafür die Pfade für das Modell und die Textur getrennt angegeben werden. Bei der Bezeichnung konnte zwischen

den Knochen des Skeletts gewählt werden. Hierfür wurde die Mandibula ausgewählt. Danach fand die Kalibrierung statt (siehe Abbildung 3.7). Das bedeutet, der Knochen musste relativ an die Platzhalterversion angepasst werden mittels der entsprechenden Icons der Werkzeugleiste. Nach Beenden der Kalibrierung war eine Gesamtübersicht mit einem Platzhalterskelett (siehe Abbildung 3.8) und dem entsprechenden Knochen darin aktiv. Mit Klick auf den Knochen und dem entsprechenden Icon konnte zur Detailansicht gewechselt werden. In der Detailansicht war es nun möglich entsprechende Markierungen und Messungen durchzuführen. Erst später wurde in dieser Ansicht auch das Schablonen-Tool freigeschaltet (siehe 3.2.8 Views, Seite 43).

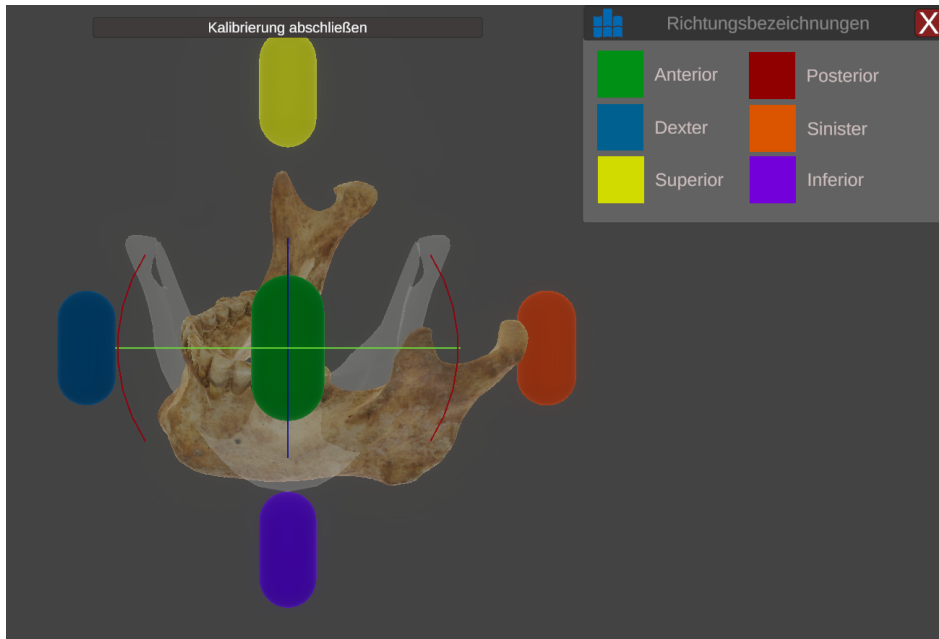


Abbildung 3.7.: Kalibrierung der Mandibula von RÖ-7,3 in AnthroWorks3D.

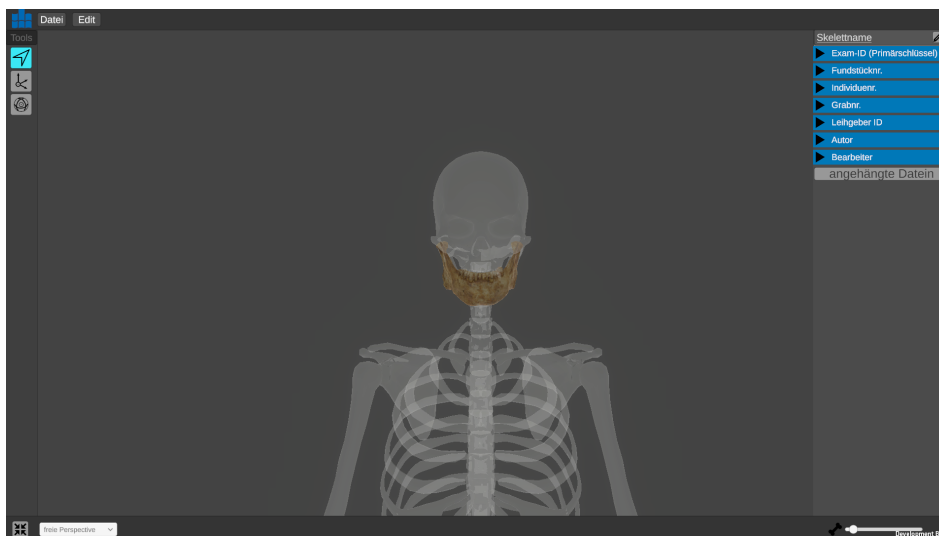


Abbildung 3.8.: Gesamtübersicht mit Platzhalterskelett in AnthroWorks und eingebetteter Mandibula von RÖ-7,3. Am linken Rand befindet sich die Werkzeugleiste, am rechten die auszufüllenden Informationen zum vorliegenden Skelett. In der unteren linken Ecke lässt sich in die Detailansicht zur weiteren Bearbeitung klicken.

Für die Markierungen waren Punkt-, Linien- und Flächenmarkierungen möglich. Die anatomischen Landmarken wurden mittels Linien- und Flächenmarkierungen annotiert, die osteometrischen Landmarken mit Hilfe der Punktmarkierungen. Nach jeder gesetzten Annotation öffnete sich ein Fenster und die Markierung erhielt eine fortlaufende Identifikationsnummer (ID) (siehe Abbildung 3.9). In dem Feld der Beschreibung wurden die jeweiligen Definitionen eingetragen. Eine spätere Änderung der Angaben war jederzeit möglich und wurde mit dem entsprechenden Zeitpunkt dokumentiert. Zunächst waren alle Markierungen grün, später wurde die Funktion der Mehrfarbigkeit hinzugefügt (siehe Abbildung 3.10). Dabei wurden die Farben zufällig verteilt. Die Zufallsverteilung fand nach jedem Programmneustart statt.

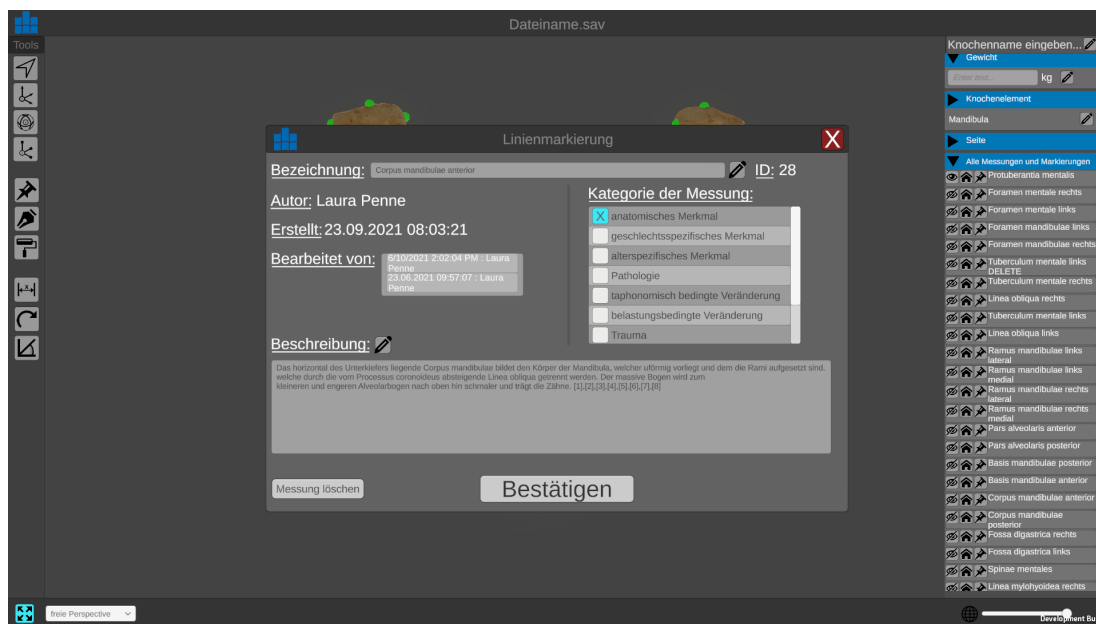


Abbildung 3.9.: Einstellungen und Notizen der Annotationen in AnthroWorks3D. Hierbei kann der Annotation eine Bezeichnung und Beschreibung gegeben werden. Die jeweilige Kategorie der Messung kann ebenfalls angekreuzt werden. Autor, Bearbeiter und Zeitpunkt der Erstellung werden automatisch eingetragen.

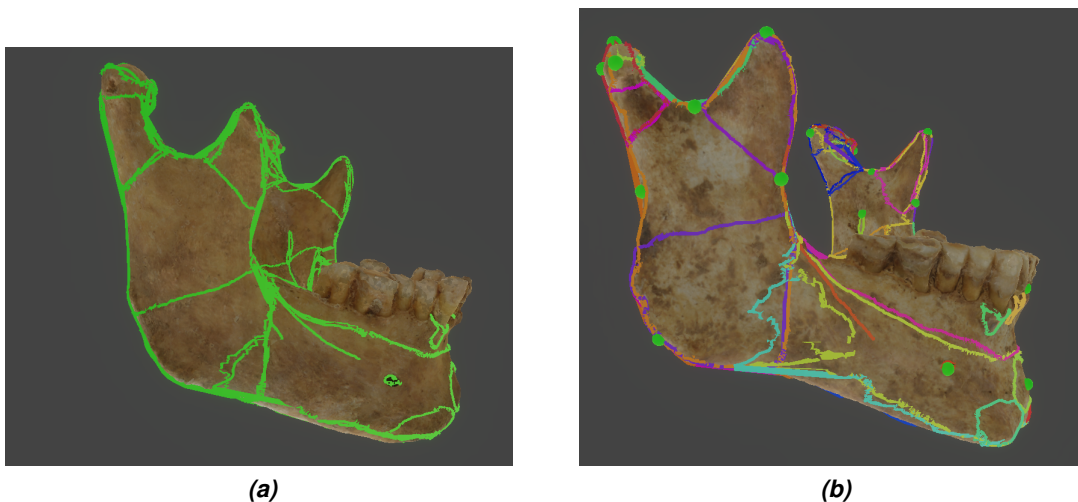


Abbildung 3.10.: Markierungen der anatomischen Landmarken in AnthroWorks3D.

TurboCAD. Um das Markierungsverfahren mit anderen Programmen zu vergleichen, wurde TurboCAD hinzugezogen. Für das Implementieren wurde hierfür die Objekt-Datei des 3D-Modells genommen. Die Software konnte nun daraus ein Volumenmodell kreieren, wodurch einzelne Linien oder Punkte bearbeitbar und markierbar waren. Doch auch das Auflegen einer Textur aus dem Programm war möglich, was das Erkennen der anatomischen Landmarken erleichterte. Auch hier konnten Linien und Punkte in unterschiedlichen Farben markiert werden (siehe Abbildung 3.11). Anschließend wurde die Markierung beschriftet, wobei die Definition mittels Hyperlinks in eine PDF-Datei geschrieben werden konnte (siehe Abbildung 3.12). Zudem waren auch hier Distanz- und Winkelmessungen möglich.

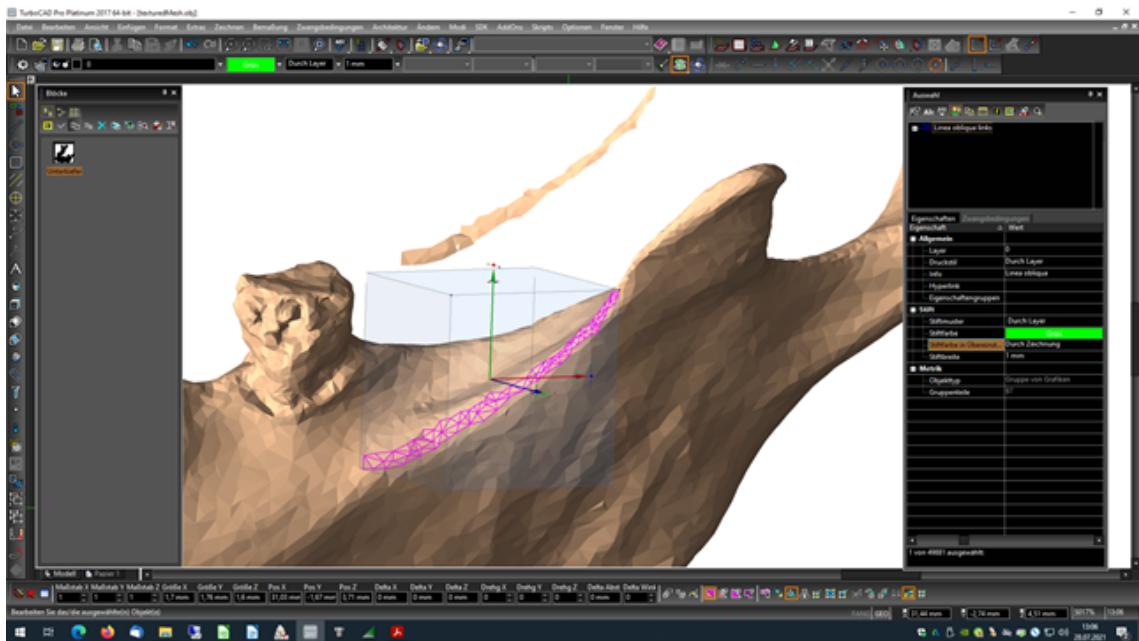


Abbildung 3.11.: Ausschnitt des 3D-Modells einer Mandibula in der Umgebung von TurboCAD mit dem Prozess der Markierung (siehe violette Hervorhebung) einer anatomischen Landmarke. Hierbei wurden jeweils die einzelnen Linien, Punkte oder Dreiecke einzeln markiert und zu einer anatomischen Landmarke (hier Linea obliqua) zusammengefasst. Die markierten Landmarken können dann als Kopie separiert werden (siehe obere Linie).

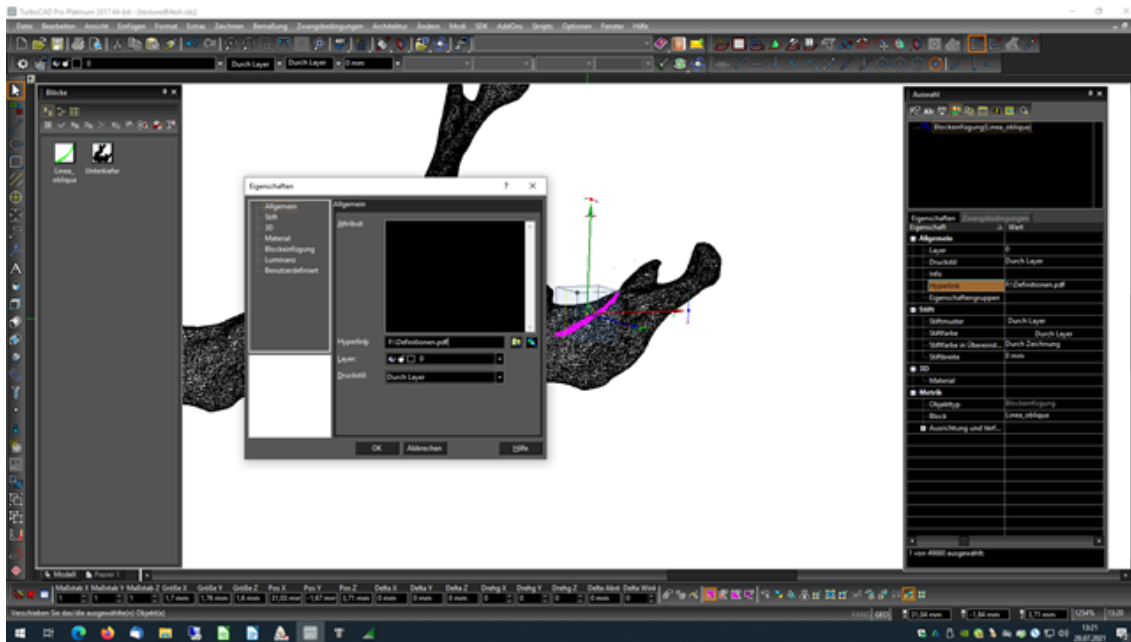


Abbildung 3.12.: Hinzufügen einer Definition mittels Hyperlink in eine PDF-Datei in TurboCAD. Im Hintergrund ist außerdem das Volumenmodell mit Markierung (siehe violette Hervorhebung) einer anatomischen Landmarke sichtbar.

3.2.5. Messungen

Die ausgewählten Messstrecken wurden an einer digitalisierten und an einer physischen Mandibula bestimmt, um die Messarten später hinsichtlich der Effizienz vergleichen zu können. Hierfür wurden zunächst die osteometrischen Landmarken gesetzt, um anschließend die Messungen zu ermöglichen. Die Landmarken und Messstrecken wurden zusätzlich von einer weiteren Person bestimmt, um die Methodik später evaluieren zu können. Eine Auswertung der Ergebnisse sollte anhand statistischer Analysen stattfinden. Die einzelnen Messstrecken wurden an das Medieninformatik-Team weitergeleitet, um deren Implementierung für die automatische Berechnung zu ermöglichen.

3.2.6. Statistische Analysen

Da durch die Messungen eine Reihe an Daten entstanden sind, wurden diese mittels der deskriptiven Statistik zur Überschaubarkeit beschrieben. Die deskriptive Statistik bereitet „unübersichtliche Datenmengen so [auf], dass wenige aussagekräftige Kenngrößen und/oder Grafiken entstehen“ [77].

Eines der häufigsten Verfahren zur Zusammenfassung von Daten sind Boxplot-Diagramme. Diese Art des Diagramms ist eine Darstellung der "fünf-Zahlen-Zusammenfassung". Es besteht aus einem minimalen und maximalen Bereich, einem oberen und unteren Quartil sowie dem Median. Dies ermöglicht die Verteilung eines Datensatzes zusammenzufassen. Darüber hinaus ist ein Vergleich zwischen mehreren Datensätzen möglich. Dabei wird

bei Boxplot-Diagrammen die Datenverteilung in Quartile (vier gleich große Teilmengen) aufgeteilt. Mittels eines Kastens werden die Positionen des oberen und unteren Quartils angegeben. Im Inneren befindet sich der innere Quartilsbereich. Dieser stellt den Bereich zwischen oberen und unteren Quartil dar und macht 50% der Verteilung aus. Die "Antennen" am Kasten (auch Whisker genannt) verlängern sich bis zu den Minimal- und Maximalwerten oder einem Vielfachen (z.B. 1,5) des inneren Quartilsbereichs, also den Extremen der Verteilung [29]. So können extreme Ausreißer entfernt werden. Die Linie im Inneren des Kastens stellt den Median dar. [71] In der Abbildung 3.13 ist ein Boxplot dargestellt.

In dieser Arbeit wurden die Analysen mit *Microsoft Excel*⁴ [27] durchgeführt. Die Boxplot-Diagramme in Excel ermöglichen außerdem die Darstellung des arithmetischen Mittels mit Hilfe eines Kreuzes im Kasten. Manuell lassen sich noch Datenbeschriftungen einfügen. Insgesamt wurden 60 Boxplots erstellt.

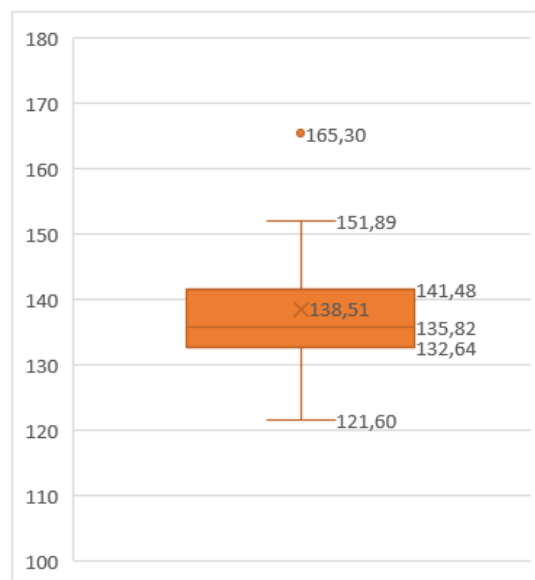


Abbildung 3.13.: Beispiel eines Boxplots. Erstellt mit Excel. Der Ausreißer ist hier mit einem Punkt angegeben, der Mittelwert mit einem Kreuz im Inneren des Kastens.

Wie bereits im Grundlagenteil beschrieben, ist ein häufig verwendetes Verfahren für die Geschlechtsbestimmung bei menschlichen Skeletten die metrische Diskriminanzfunktionsanalyse. Mit dieser ist es ebenso möglich Funktionen zu erstellen, die auf beschädigtes oder fragmentiertes Material angewendet werden können. [28]

Bei der Diskriminanzanalyse geht es um die Analyse von Gruppenunterschieden. Dabei wird die Unterschiedlichkeit von "zwei oder mehreren Gruppen hinsichtlich einer Mehrzahl von Variablen" untersucht. So kann überprüft werden, bezüglich welcher Variablen (z.B. Alter) sich zwei Gruppen unterscheiden. [4] Das Verfahren lässt sich in sechs Schritte unterteilen:

1. Definition der jeweiligen Gruppen mit Bestimmung der Gruppenanzahl

⁴<https://www.microsoft.com/de-de/microsoft-365/excel>

2. Diskriminanzfunktion formulieren mit vorheriger Festlegung der Merkmalsvariablen, die zur Gruppenunterscheidung beitragen könnten
3. Diskriminanzfunktion schätzen, um optimal zwischen den Gruppen zu trennen
4. Diskriminanzfunktion prüfen mittels Vergleich der Klassifizierung der untersuchten Objekte mit deren tatsächlicher Gruppenzugehörigkeit
5. Prüfung der Merkmalsvariablen hinsichtlich ihrer Trennfähigkeit
6. Klassifizierung neuer Elemente [4]

In der hier vorliegenden Arbeit konnten keine Diskriminanzfunktionen erstellt werden, da die notwendige zweite Gruppe (hier: weibliche Individuen) fehlte. Aus diesem Grund sei für eine detailliertere Beschreibung der einzelnen Schritte auf das Buch „Multivariate Analysemethoden - Eine anwendungsorientierte Einführung“ von Backhaus et al. [4] verwiesen.

So wurden im Zuge dieser Arbeit bereits etablierte Diskriminanzfunktionen für europäische und weiß-amerikanische Populationen herausgesucht, um eine Geschlechtsbestimmung durchzuführen. Manthey et al. [58] fanden heraus, dass die Crania einer deutschen Population aus dem 19. Jahrhundert denen der amerikanischen Population ähnlich sind [58]. Aus diesem Grund wurde die weiß-amerikanische Population von Giles [34] bei den Untersuchungen hinzugezogen. Darüber hinaus war es notwendig die Funktionen hinsichtlich ihrer verwendeten Messstrecken zu selektieren und die zu verwenden, die die gleichen Messstrecken nutzten wie in der hier vorliegenden Arbeit. Nach Implementierung der Funktionen aller digitalisierten Mandibulae erfolgte die Auswertung der Ergebnisse hinsichtlich der korrekten Klassifizierung. Die Diskriminanzfunktionen wurden anschließend nach ihrer Eignung für die vorliegende Population absteigend in einer Liste festgehalten. Diese wurde für die Implementierung in AnthroWorks3D an das Medieninformatik-Team weitergeleitet. Ziel war es, eine automatische Geschlechtsbestimmung durchführen zu können.

Bei den folgenden Diskriminanzfunktionen, welche ausgewählt wurden, ist anzumerken, dass die Längeneinheit der Messstrecken in mm angegeben werden muss.

Die erste Funktion (siehe Funktion 3.1) wurde von Barthélémy et al. [6] übernommen. Diese wurde für eine süd-westlich-französische Population aufgestellt. Positive Ergebnisse entsprechen männlichen Individuen:

$$\begin{aligned}
 & (\text{wenn } [go - go] > 105,92 - 5,1239 \\
 & \quad \text{dann } 2,858 * [go - go]) \\
 & \quad \text{sonst } 2,858 * [go - go] * 0) \\
 + & (\text{wenn } [id - gn] > 30,739 - 1,7637 \\
 & \quad \text{dann } 7,076 * [id - gn]) \\
 & \quad \text{sonst } 7,076 * [id - gn] * 0) \\
 & \quad -5,813
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Die nächsten Funktionen (Funktionen 3.2 bis 3.7) wurden von Vodanović et al. [95] für

eine kroatische Population aufgestellt:

$$\begin{aligned} \text{Funktion 2 : } & (([Angulus] * -0,12) + ([gn - go] * 0,21) + ([ppra - parp] * -0,05)) - 1,93 \\ & \text{wobei : männlich } > -0,4 \text{ und weiblich } < -0,4 \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Funktion 3 : } & ([go - go] * -0,12) + ([gn - go] * 0,2) - 3,14 \\ & \text{wobei : männlich } > -0,4 \text{ und weiblich } < -0,4 \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Funktion 4 : } & (([gn - go] * 0,18) + ([ppra - parp] * 0,12)) - 19 \\ & \text{wobei : männlich } > -0,31 \text{ und weiblich } < -0,31 \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Funktion 5 : } & ([gn - go] * 0,22) - 19,01 \\ & \text{wobei : männlich } > -0,3 \text{ und weiblich } < -0,3 \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \text{Funktion 6 : } & ([Angulus] * 0,17) - 20,43 \\ & \text{wobei : männlich } > 0,2 \text{ und weiblich } < 0,2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \text{Funktion 7 : } & ([ppra - parp] * 0,37) - 11,37 \\ & \text{wobei : männlich } > -0,22 \text{ und weiblich } < -0,22 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Weiterhin wurden zwei Diskriminanzfunktionen von Kranjoti et al. [51] für eine griechische Population genommen (siehe Funktion 3.8 und 3.9):

$$\begin{aligned} \text{Funktion 1 : } & 0,119 * [cdl - cdl] + 0,102 * [go - go] - 23,7144 \\ & \text{wobei : männlich } > 2,1; \text{ weiblich } < -2,5 \text{ und dazwischen indifferent} \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} \text{Funktion 2 : } & 0,116 * [cdl - cdl] + 0,114 * [go - go] + 0,081 * [id - gn] - 24,4011 \\ & \text{wobei : männlich } > 1,31 \text{ und weiblich } < 1,35 \end{aligned} \quad (3.9)$$

Marinescu et al. [59] stellten Diskriminanzfunktionen für eine rumänische Population auf. Dabei wurden fünf Funktionen genutzt (siehe Funktion 3.10 bis 3.14).

$$\begin{aligned} \text{Funktion 1 : } & ([id - gn] * 0,104) + ([go - go] * 0,12) + ([cdl - cdl] * 0,08) - 24,207 \\ & \text{wobei : männlich } > 0,989; \text{ weiblich } < -0,989; \text{ dazwischen indifferent} \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \text{Funktion 2 : } & ([id - gn] * 0,111) + ([go - go] * 0,16) - 19,037 \\ & \text{wobei : männlich } > 0,915; \text{ weiblich } < -0,915 \text{ und dazwischen indifferent} \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} \text{Funktion 3 : } & ([id - gn] * 0,353) - 10,855 \\ & \text{wobei : männlich } > 0,466; \text{ weiblich } < -0,466 \text{ und dazwischen indifferent} \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} \text{Funktion 4 : } & ([go - go] * 0,181) - 17,696 \\ & \text{wobei : männlich } > 0,87; \text{ weiblich } < -0,87 \text{ und dazwischen indifferent} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} \text{Funktion 5 : } & ([cdl - cdl] * 0,196) - 22,798 \\ \text{wobei : } & \text{männlich} > 0,678; \text{ weiblich} < -0,678 \text{ und dazwischen indifferent} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Die letzte Funktion stammt aus Giles [34]. Er untersuchte eine weiß-amerikanische und schwarz-amerikanische Population. Für die vorliegende Arbeit wurden jedoch nur Funktionen der weiß-amerikanischen Population benötigt. Hierfür konnte nur eine (siehe Funktion 3.15) genommen werden, da bei den anderen Funktionen Messstrecken dabei waren, die in der vorliegenden Arbeit nicht ausgewählt wurden.

$$\begin{aligned} \text{Funktion 5 : } & [id - gn] * 1,39 + [go - cs] * 2,304 + (go - go) \\ \text{wobei : } & \text{männlich} > 287,43 \text{ und weiblich} < 287,43 \end{aligned} \quad (3.15)$$

3.2.7. Messfehlerbestimmung

Die osteometrischen Untersuchungen weisen eine Fehlerspanne auf. So kann es bei wiederholtem Messen zu einer Variabilität der Messungen kommen, aufgrund der Diversität der physischen Merkmale der untersuchten Population. Die Messungsvariabilitäten werden durch Variationen bei der Technikausführung verursacht. Beispiele dafür sind Abweichungen bei der Markierung anatomischer Punkte oder eine Inkonsistenz der ausgeführten Messtechnik. [91]

Messfehlerkategorien. Die Messfehler werden in drei Kategorien unterteilt: Grobe, systematische und zufällige Fehler. Erstere geschehen durch die experimentierende Person selbst, durch z.B. fehlende Aufmerksamkeit, Irrtümer oder Fehlüberlegungen. Diese sind durch äußerste Sorgfalt oder Kontrollen durch Hinzuziehen einer weiteren Person vermeidbar. Aus diesem Grund wurde für die Messungen ebenfalls eine unabhängige Person hinzugezogen. Systematische Fehler entstehen dann, wenn der Messfehler für Messungen unter gleichen Bedingungen konstant bleibt und sich ebenfalls verändert, wenn sich die Bedingungen ändern. Diese sind bei wiederholtem Messen unter gleichen Versuchsbedingungen nicht sichtbar, machen das Ergebnis aber unrichtig. Dafür kann die Ursache bei allen einzelnen Elementen liegen, die bei der Messung mitwirken, wie z.B. im messenden Objekt, im Messinstrument, in der Umwelt oder beim Messverfahren. Daher werden in der vorliegenden Arbeit die einzelnen Messinstrumente mit ihren Fehlergrenzen angegeben. Dabei ist für AnthroWorks3D anzumerken, dass die Werte mindestens vergleichbar zu denen der physischen Messwerkzeuge sind (M. Heuschkel (M.Sc.), persönliche Kommunikation, 18.11.2021) [30]. Letztere treten immer auf und sind somit unvermeidbar. Die Ursachen wirken häufig in komplexer Weise zusammen. Im Gegensatz zu den systematischen Fehlern treten diese immer unterschiedlich auf. [44] Durch Messunsicherheiten führen diese zu einer Streuung um einen mittleren Wert [43]. Mittels einer Fehlerrechnung können diese erfasst werden. [43] Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit ebenfalls eine Fehlerberechnung durchgeführt.

Messunsicherheiten. Die Messunsicherheiten setzen sich aus systematischen und zufälligen Fehlern additiv zusammen, wobei sich letzterer aus dem Produkt der Stan-

Standardabweichung des Mittelwertes und der Vertrauensgrenze ergibt. Diese Unsicherheiten können absolut und relativ angegeben werden, wobei die absolute Messunsicherheit in derselben Einheit wie die Messgröße angegeben wird, die relative hingegen in Prozent. Dabei ermöglicht die relative Messunsicherheit eine Vergleichbarkeit zwischen Messunsicherheiten mit unterschiedlichen Einheiten. [44]

Genauigkeit und Präzision. Weiterhin finden die Genauigkeit und Präzision eines Experiments Relevanz. Erste stellt die „Abweichung des Messergebnisses vom wahren Wert“ dar. Letztere gibt das Messergebnis „ohne Bezug auf den wahren Wert“ an und ist ein Maß für die Reproduzierbarkeit. [44] Da der wahre Wert jedoch unbekannt ist, ist die Ermittlung der Genauigkeit nicht möglich, weswegen auf die Präzision zurückgegriffen werden muss.

Fehlerberechnung. Um die Fehlerspanne zu definieren, ist die verbreitetste Technik das *Technical Error of Measurements (TEM)* (oder zu deutsch: technische Messfehler). Dies ist ein Genauigkeitsindex und drückt die Messqualität sowie die Kontrolldimension aus. So ist es durch dieses Verfahren möglich einen Genauigkeitsgrad bei der Durchführung und Wiederholung von Messungen (ein sogenannter Intra-Evaluator) und beim Vergleich der Messungen zwischen verschiedenen messenden Personen (ein sogenannter Inter-Evaluator) zu prüfen. Der Fehlerindex wird von der *International Society standardization Advancement in Kinanthropometry (ISAK)* übernommen. Der TEM-Index spiegelt die Standardabweichungen zwischen wiederholten Messungen wider. Dabei wird zwischen Intra-Evaluator-Variabilität bzw. Intra-Observer-Error und Inter-Evaluator-Variabilität bzw. Inter-Observer-Error unterschieden. Ersteres bezieht sich auf wiederholte Messungen derselben Person oder Personengruppe und prüft, ob diese wiederholbar sind. Letzteres untersucht ob die Messungen am gleichen Objekt durch unterschiedliche messende Personen dasselbe Ergebnis haben. [91], [82]

In der hier vorliegenden Arbeit bestand die Stichprobe für die Fehlerrechnung aus 12 männlichen Mandibulae (Rö-6,2; Rö-6,3; Rö-7,1; Rö-7,2; Rö-7,3; Rö-8,2; Rö-8,3; Rö-8,4; Rö-10,4; Rö-14,2; Rö-15,3; Rö-29,13) der Skelettsammlung Rödelheim. Dabei wurden pro Individuum drei Messungen zu je 57 Messstrecken und drei Winkeln an unterschiedlichen Tagen durchgeführt. Für den Inter-Observer-Error wurde eine weitere Person hinzugezogen, welche nur an einem Individuum drei Messungen zu den oben genannten Messstrecken durchgeführt hat. Dafür wurde die Schablonen-Mandibula genommen.

Der TEM wurde wie folgt berechnet:

$$TEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{i1} - M_{i2})^2}{2N}} \quad (3.16)$$

wobei:

M_{i1} = Messreihe 1

M_{i2} = Messreihe 2

N = Anzahl der Messungen

i = Messung 1, 2, ..., N

Das Ergebnis war das absolute TEM. Dieser ist in derselben Maßeinheit wie die Messun-

gen und stellt die absolute Messunsicherheit dar. [23] Es kann auch „als Standardabweichung der Wiederholungsmessungen“ beschrieben werden. [82]

Danach wurde das *rTEM* bestimmt. Dabei handelt es sich um die relative Messunsicherheit. [82] Nützlich ist diese, um den *TEM* vergleichbar zu machen, da er unabhängig von jeder Metrik ist. Es wurde wie folgt berechnet [91]:

$$\text{relativer TEM} = \frac{TEM}{VAV} * 100 \quad (3.17)$$

wobei:

TEM = absoluter *TEM*

VAV = variabler Durchschnittswert

Der variable Durchschnittswert (*VAV*) gibt die Bildung des Mittelwerts aller Ergebnisse je Messreihe nach Ermittlung des arithmetischen Mittels der Messungen von Messreihe *i* an [91].

Grundsätzlich beschreibt das *rTEM* wie groß der Messfehler in Prozent ist. Dabei werden Werte bis ca. 5% in der anthropologischen Literatur als akzeptabel angesehen. [82] Da drei Messreihen durchgeführt wurden, aber nur mit zwei Messungen gerechnet werden konnte, wurden die Berechnungen gestaffelt (Messreihenangabe in römischen Ziffern): I-II, I-III und II-III.

Für den Inter-Observer-Error konnte analog zum Intra-Observer-Error vorgegangen werden. Hierbei wurden die Messreihen zwischen den Beobachtern verwendet. Auch hier mussten die Berechnungen gestaffelt werden (A und B stehen für die messenden Personen A und B): AI-BI, AI-BII, AI-BIII, AII-BI, AII-BII, AII-BIII, AIII-BI, AIII-BII und AIII-BIII.

Reliabilitätskoeffizient. Eine weitere Kenngröße ist der Reliabilitätskoeffizient *R*. Hierbei wird die Varianz zwischen den messenden Personen geschätzt, welche nicht auf Messfehler zurückzuführen sind. Die Werte liegen zwischen 0 (null Prozent zuverlässig) und 1 (100% zuverlässig). Bei einem Wert von 0,8 bedeutet das, dass 80% der Gesamtvariabilität einer echten Variation entsprechen. Die restlichen 20% sind hingegen auf Messfehler zurückzuführen. [23] Hier bei wird in der anthropologischen Literatur der Koeffizient $R \geq 0,95$ akzeptiert [82]. Dieser wurde wie folgt berechnet:

$$R = 1 - \frac{TEM^2}{SD^2} * 100 \quad (3.18)$$

wobei:

TEM = absoluter *TEM*

SD = gemeinsame Standardabweichung der beiden Messreihen

Die Berechnungen wurden hierbei ebenfalls gestaffelt, wie oben bereits für die Inter- und Intra-Observer-Error angegeben. Die Ergebnisse dazu werden im Kapitel 4.4 Fehlerberechnung ab Seite 56 dargestellt.

3.2.8. Views

Die Views sollen ein schnelleres Annotieren der an den häufigsten vorkommenden Merkmalen durch wenige Klicks ermöglichen. Dies sollte mit Hilfe der Schablone realisiert werden. Hierbei wurde zunächst die Mandibula implementiert und im Detailmodus das Schablonen- und View-Tool aktiviert. Dort konnte nun die Schablone in Breite, Tiefe und Länge auf die implementierte Mandibula angepasst werden (siehe Abbildung 3.14). Des Weiteren war es möglich die Position der Pins zu verändern. Dabei waren diese in unterschiedlichen Farbnuancen gefärbt. Je dunkler die Farbe, desto häufiger wurden sie für die Messstrecken benötigt. Nach Beenden des Vorgangs, stand die Verfeinerung der Landmarkensetzung in den Views im Mittelpunkt (siehe Abbildung 3.15). Dort konnten die einzelnen osteometrischen Landmarken feiner verschoben werden. Die Messstrecken dazu mussten ebenfalls einzeln an die neue Position geschoben werden. Wurden alle Views durchlaufen, konnten die Messstrecken in einer Übersicht überblickt und als csv-Datei heruntergeladen werden. Des Weiteren war es möglich die Diskriminanzanalysen durchzuführen. Dafür mussten die nötigen Messstrecken angeklickt werden. Diese wurden im oberen Menü aufgezeigt, um zu wissen, welche dafür benötigt wurden. Auch die Gesamtgröße konnte in diesem Menü ausgerechnet werden. Anschließend wurden die Resultate ausgegeben. Für die Diskriminanzfunktionen gab es folgende Kategorien: männlich (m), weiblich (f) und indifferent (d). Bei der Gesamtgröße wurde das Ergebnis eingeblendet.

Grundlage dafür waren die vorher gesetzten osteometrischen Landmarken. Die Speicherdatei mit den definierten Landmarken der „Durchschnittsmandibula“ musste daraufhin an das Medieninformatik-Team geschickt werden. Nachdem die geeignetste Sicht ausgewählt wurde, war es erforderlich die Koordinaten von Position und Rotation der Kamerasicht zu definieren und die entsprechende Perspektive zu benennen. Für eine osteometrische Landmarke konnten mehrere Ansichten ausgewählt werden. Anschließend wurden verschiedene Fotos der einzelnen Views gemacht: einmal mit Ausblendung der anatomischen Landmarken und einmal mit Einblendung derer. Nötig war dies, um die Fotos parallel eingeblendet zu sehen, wenn die nutzende Person die osteometrischen Landmarken in den Views bearbeitet. Dies soll im späteren Verlauf eine Orientierung für das Setzen der Landmarke für die nutzende Person darstellen. Anschließend war es die Aufgabe, einen Katalog zu erstellen. Hier wurden die osteometrischen Landmarken aufgelistet und mit ihrer Definition angegeben. Darunter befanden sich jeweils die Bilder der betreffenden Landmarke. Bei den Fotos mit Einblendung der anatomischen Landmarken wurde jede einzelne Struktur, die auf dem Bild zu sehen war, mit einer fortlaufenden Nummer gekennzeichnet. Die Definitionen dazu wurden ebenfalls hinzugefügt.

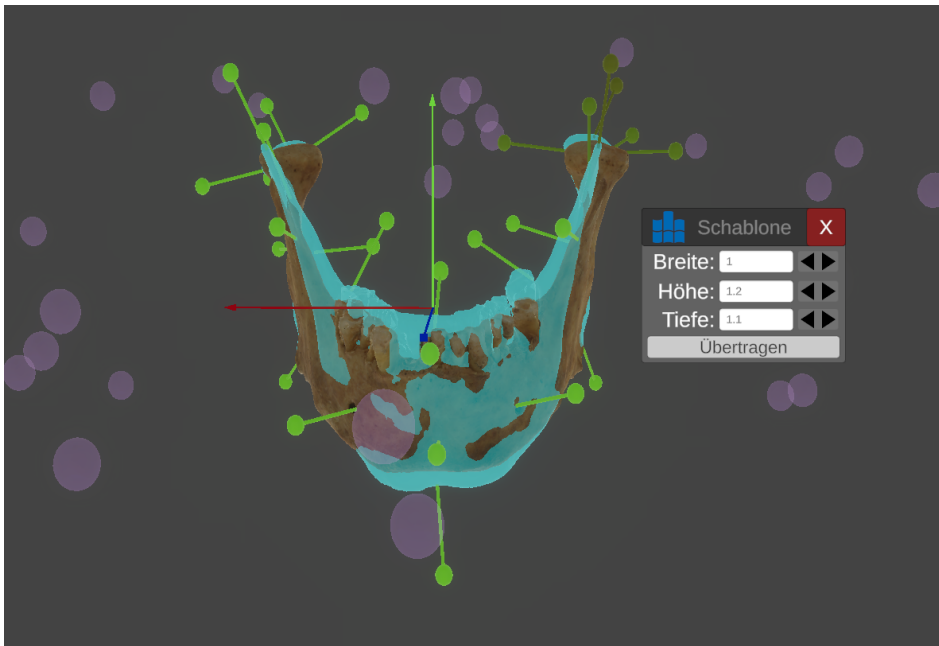


Abbildung 3.14.: Das Anpassen der Schablone (in hellblau) an eine Mandibula (Rö-6,2). Die Pins sind grün dargestellt. Die Kreise im Hintergrund sind die verschiedenen Kameraperspektiven für die Views.

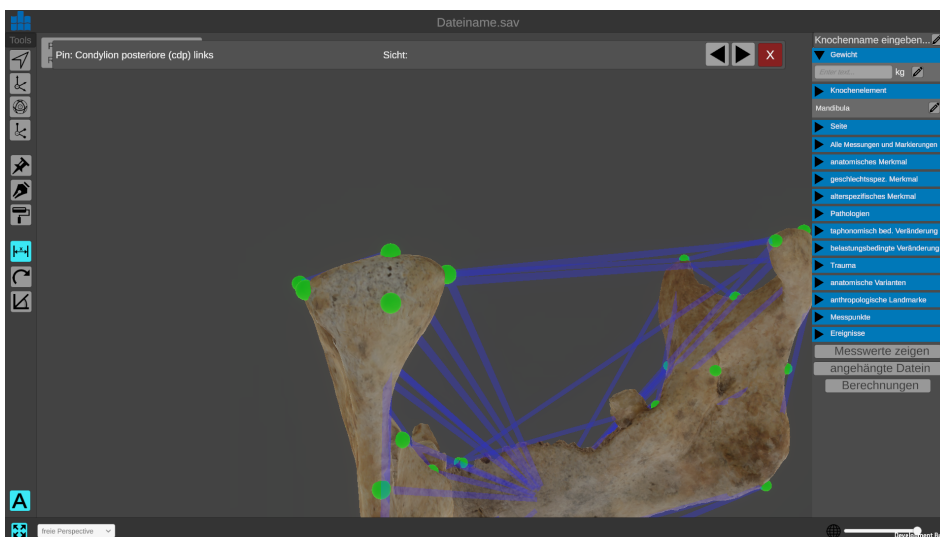


Abbildung 3.15.: Beispiel eines Views. Der zu korrigierende Punkt ist oben links angegeben. Die Beschreibung der Sicht muss noch erfolgen. Mittels der Pfeile ist ein Springen zur nächsten osteometrischen Landmarke möglich.

4. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse vorgestellt. Zunächst gibt es einen Überblick über die Auswahl der Schablonen-Mandibula. Anschließend werden die durchgeführten Annotationen präsentiert sowie die Ergebnisse der Messdurchführung einer weiteren Person. Danach wird der angefertigte Katalog vorgestellt und die Resultate der statistischen Analysen und Fehlerberechnungen dargelegt. Zum Schluss werden die vorgefundenen anatomischen Skelettvarianten der Mandibula aufgezeigt.

4.1. Auswahl der Schablone

Da die Mandibulae R \ddot{o} -7,1; R \ddot{o} -7,2; R \ddot{o} -8,2; R \ddot{o} -8,3; R \ddot{o} -8,4; R \ddot{o} -10,4 und R \ddot{o} -14,2 fragmentiert sind, konnten diese bereits zu Beginn ausgeschlossen werden. Die Individuen R \ddot{o} -6,2 und R \ddot{o} -29,13 weisen ausgestülpte Anguli mandibularum, also auffällige anatomische Landmarken, auf. Aus diesem Grund konnten diese ebenfalls ausgegrenzt werden. Bei der Mandibula von R \ddot{o} -15,3 sind keine Alveoli dentales vorhanden und somit auch die Septa interalveolaria nicht sichtbar. Das führte zum Ausschluss dieses Individuums für die Schablone. Übrig blieben die Individuen R \ddot{o} -6,3 und R \ddot{o} -7,3. Bei der Mandibula des Individuums R \ddot{o} -6,3 sind bestimmte anatomische Landmarken (z.B. Probuberantia mentales, rechtes Trigonum retromolare oder die Fovea sublingualis) wenig ausgeprägt. Da auch dies ein Kriterium war, konnte diese Mandibula ebenfalls ausgeschlossen werden. So fiel die Entscheidung für die Auswahl der Schablone auf die Mandibula des Individuums R \ddot{o} -7,3.

4.2. Katalogerstellung

Wie schon im Kapitel [3.2.8 Views](#) beschrieben, mussten vor der Erstellung des Katalogs die View-Koordinaten für die ideale Kameraperspektive der osteometrischen Landmarken herausgearbeitet werden (siehe Tabelle [4.1](#)).

Tabelle 4.1.: Auflistung der View-Koordinaten mit jeweiliger Beschreibung der Perspektive.

Landmarke	Position	Rotation	Perspektive
id	P(0.2, 151.7, 17.3)	R(0.0, 1.0, 0.0, 0.0)	anterior
go rechts	P(13.8, 149.7, 1.4) P(13.1, 148.1, -5.7)	R(0.0, 0.8, 0.0, -0.6) R(0.1, 0.5, 0.1, -0.8)	lateral dexter inferolateral dexter
go links	P(-13.0, 148.9, -1.4) P(-13.2, 148.2, -4.3)	R(0.1, -0.7, -0.1, -0.7) R(0.1, -0.6, -0.1, -0.8)	lateral sinister inferolateral sinister
ml rechts	P(7.6, 149.7, 11.6)	R(0.0, -0.9, 0.0, 0.4)	lateral dexter
ml links	P(-11.9, 150.3, 12.1)	R(0.0, -0.9, 0.0, -0.5)	lateral sinister
pg	P(-0.2, 149.7, 15.2)	R(0.0, -1.0, 0.0, 0.0)	anterior
gn	P(-0.1, 137.4, 7.3)	R(0.0, -0.8, -0.6, 0.0)	anteroinferior
lg rechts	P(-1.9, 157.3, -9.5)	R(0.2, 0.3, -0.1, 0.9)	medial dexter
lg links	P(5.4, 155.5, -5.9)	R(0.1, -0.5, 0.0, 0.9)	medial sinister
li	P(0.0, 155.0, -2.7)	R(0.2, 0.0, 0.0, 1.0)	posterior
cr rechts	P(-0.5, 163.1, -7.1)	R(0.3, 0.3, -0.1, 0.9)	medial dexter
cr links	P(-3.1, 164.8, -1.0)	R(0.5, -0.3, 0.2, 0.8)	superomedial sinister
cdl rechts	P(14.0, 157.9, -7.5)	R(0.1, -0.4, 0.1, 0.9)	posterolateral dexter
cdl links	P(-15.6, 156.0, -4.9)	R(0.0, 0.6, 0.0, 0.8)	posterolateral sinister
cdm rechts	P(-2.1, 156.6, -7.8)	R(0.0, 0.4, 0.0, 0.9)	posteromedial dexter
cdm links	P(-0.4, 156.9, -11.8)	R(0.0, -0.2, 0.0, 1.0)	posteromedial sinister
cdp rechts	P(-1.2, 158.4, -10.9) P(8.8, 158.0, -13.3)	R(0.1, 0.3, 0.0, 0.9) R(0.1, -0.1, 0.0, 1.0)	posteromedial dexter posterior
cdp links	P(-18.8, 156.1, -1.8) P(-12.0, 156.5, -14.2)	R(0.0, 0.7, 0.0, 0.7) R(0.0, 0.3, 0.0, 1.0)	posterolateral sinister posterior
cs rechts	P(9.6, 158.7, -10.1)	R(0.1, -0.2, 0.0, 1.0)	superoposterior
cs links	P(-7.5, 159.5, -8.7)	R(0.2, 0.2, 0.0, 1.0)	superoposterior
cfr rechts	P(2.0, 157.6, 0.0)	R(0.5, 0.4, -0.3, 0.7)	superior
cfr links	P(-0.7, 157.3, 0.4)	R(0.5, -0.5, 0.3, 0.7)	superior
phi rechts	P(1.1, 162.2, -2.4)	R(0.4, 0.5, -0.3, 0.7)	medial dexter
phi links	P(0.5, 161.9, -0.6)	R(0.3, -0.6, 0.3, 0.6)	medial sinister
ppra rechts	P(11.8, 150.7, 4.0) P(9.6, 152.1, 7.5)	R(-0.1, -0.8, -0.1, 0.6) R(0.0, -0.9, -0.1, 0.3)	lateral dexter anterolateral dexter
ppra links	P(-11.2, 152.7, 5.1) P(-7.4, 153.4, 8.4)	R(0.0, -0.9, -0.1, -0.5) R(0.0, -1.0, 0.0, -0.2)	lateral sinister anterolateral sinister
parp rechts	P(15.8, 153.1, 1.6) P(16.6, 153.3, -6.2)	R(0.0, -0.8, 0.0, 0.6) R(0.0, -0.6, 0.0, 0.8)	lateral dexter posterolateral dexter
parp links	P(-17.0, 154.8, -1.0) P(-15.5, 154.9, -7.6)	R(0.0, 0.7, 0.0, 0.7) R(0.1, 0.5, 0.0, 0.9)	lateral sinister posterolateral sinister

Für den Katalog wurde ein eigenes Dokument (siehe [A.4 Der Katalog](#) ab Seite 110) erstellt. Zunächst wurden die Definitionen der anatomischen Landmarken tabellarisch dargestellt. Diese sind nach einer fortlaufenden Nummer sortiert, wie sie in den später folgenden Bildern (siehe [Abbildung 4.1](#)) vorkamen. Anschließend folgt eine Übersicht aller osteometrischen Landmarken in Form von zwei Bildern aus der lateralen und posterioren Perspektive der Mandibula. Im darauffolgenden Abschnitt werden die osteometrischen Landmarken anhand des Beispiels der Schablonen-Mandibula präsentiert (siehe [Abbildung 4.1](#)). So wird zunächst die entsprechende Landmarke definiert. Im Anschluss folgen die Bilder aus jeder Kameraposition der Views: links die Position des jeweiligen Punktes und rechts mit Einblendung aller anatomischen Landmarken. Bei osteometrischen Landmarken, welche auf beiden Seiten der Mandibula vorkommen (z.B. Gonion), sind Bilder beider Seiten dargestellt und mit der Seitenlage rechts bzw. links beschrieben.

IEWS UND OSTEOMETRISCHE LANDMARKEN

INFRADENTALE (ID)

Bei dem Messpunkt **Infradentale** (kurz: id) handelt es sich um den Punkt zwischen den mittleren Incisivi, an dem die Vorderkante des Alveolarfortsatzes von der Mediansagittalebene geschnitten wird. Dieser liegt auf der anterioren Seite der Mandibula und ist Teil der Pars alveolaris. [9]

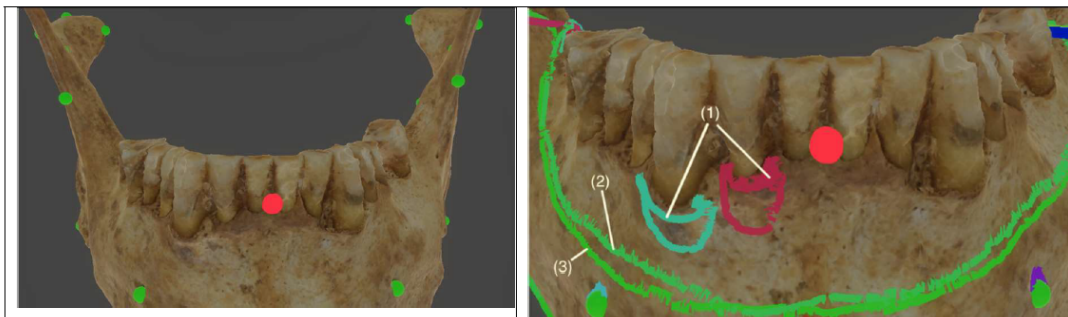


Abbildung 4.1.: Beispielintrag des Katalogs für die osteometrische Landmarke Infradentale (id).

4.3. Statistische Analysen

Wie schon im Methodenteil beschrieben, wurden für die deskriptive Statistik Boxplot-Diagramme zu jeder einzelnen Messstrecke erstellt (siehe [A.6 Boxplot-Diagramme](#), ab Seite 145). Dabei zeigen nur die Messstrecken id - cs links, id-cfr links, go-cs, go-cdp, und phi-cs sowie am rechten Angulus Ausreißer. Für die Abweichungen zwischen den Seiten der Messstrecken lässt sich sagen, dass diese für go-cdp und id-cfr am stärksten ausgeprägt sind und für cr-cfr und cdp-cs am geringsten (siehe [Abbildung 4.2](#)).

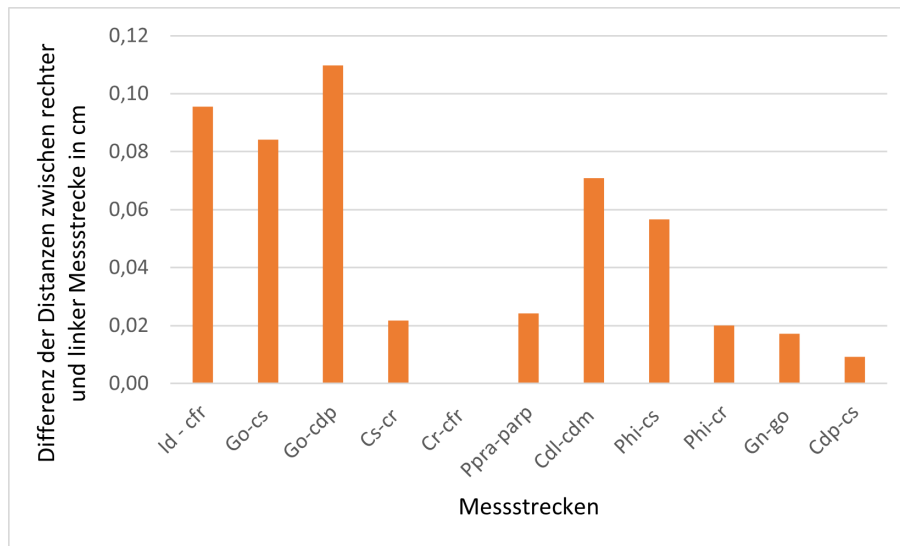


Abbildung 4.2.: Differenzen zwischen der rechten und linken Seiten von Messstrecken, die auf beiden Seiten vertreten sind. Vorher wurden die Mittelwerte aller Messreihen und dann aller Individuen ermittelt, um anschließend diese Differenz zu ermitteln.

Für jede Messstrecke wurden außerdem die arithmetischen Mittel und die Standardabweichungen in einem Diagramm gegenübergestellt (siehe Abbildung 4.3). Dabei ist die Standardabweichung für id - cs rechts am höchsten, gefolgt von den Messstrecken go-go, cdl-cdl und cr-cr. Die geringsten Standardabweichungen weisen id-cfr rechts, ml links - gn und cdp-cs links. Die geringsten Mittelwerte haben cdp-cs links sowie cdp-cs rechts, die höchsten ml rechts - cs links und ml rechts - cdl links. Die Mittelwerte zwischen rechts und links unterscheiden sich nur wenig.

Die Mittelwerte aller Messstrecken von allen Individuen wurden anschließend alle aufsummiert. Das wurde ebenso für die Mittelwerte aller Messreihen für die einzelnen Individuen durchgeführt. Im Anschluss daran wurden die absoluten Differenzen zwischen der Summe der Mittelwerte aller Individuen und der Summe für jedes einzelne Individuum ermittelt (siehe Tabelle 4.2). Jedoch konnten nicht bei allen Individuen (Rö-7,2; Rö-8,4 und Rö-30,2) alle Messstrecken gemessen werden. Um diese ebenfalls zu vergleichen, wurden in einem separaten Vergleich die nicht-vorhandenen Messstrecken für alle Individuen entfernt. Auch bei der Ermittlung der Summe der Mittelwerte aller Individuen wurden diese eliminiert, um die Vergleichbarkeit sicherzustellen.

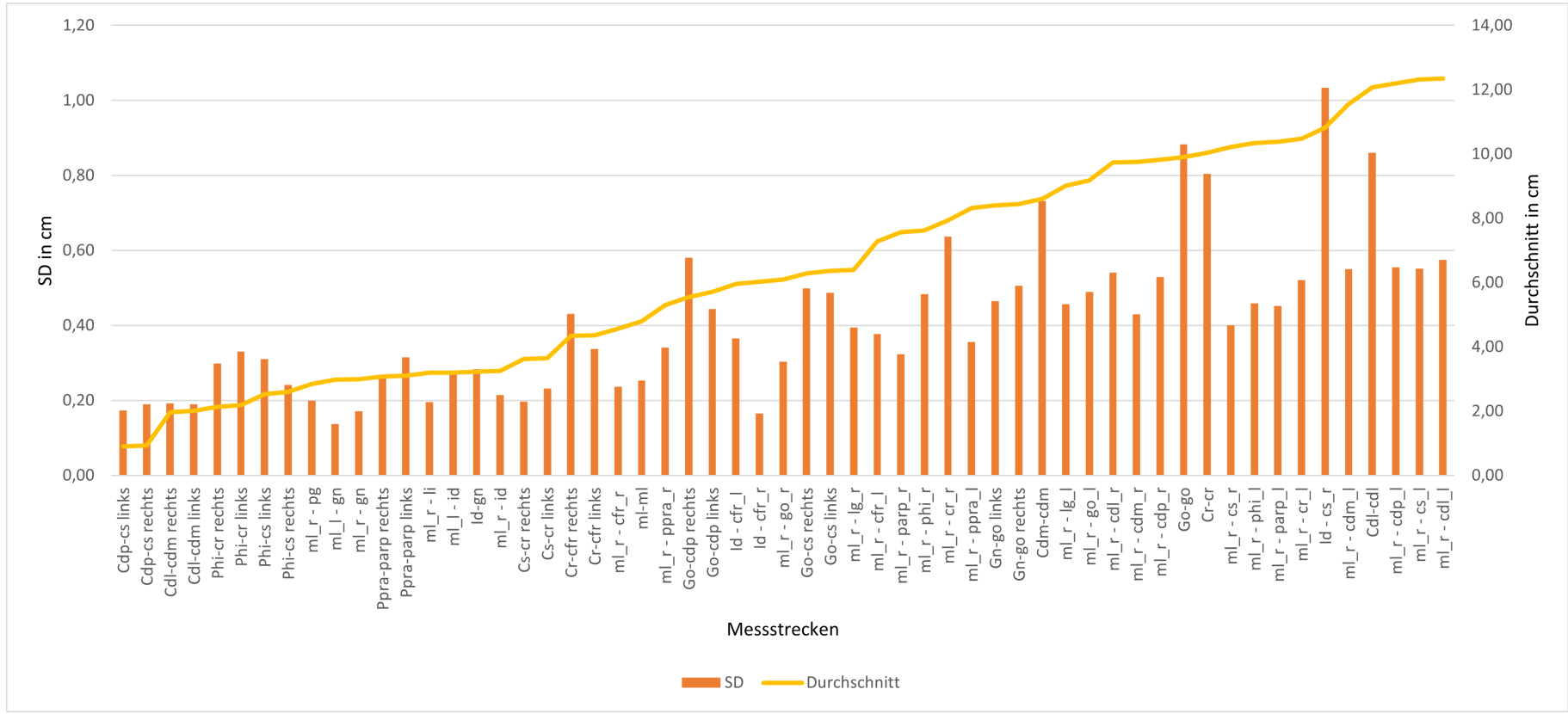


Abbildung 4.3.: Arithmetische Mittel und Standardabweichungen (SD) der einzelnen Messstrecken, wobei nach den Mittelwerten sortiert wurde. r = rechts, l = links.

Tabelle 4.2.: Die Ergebnisse der Abweichungen aller aufsummierten Messstrecken aller Individuen von den aufsummierten Messstrecken der einzelnen Individuen. \sum aller = Summe aller Messstrecken, abs. Differenz = absolute Differenz, \sum gemeinsam = Summe derjenigen Messstrecken, die bei allen Individuen gemeinsam vorhanden sind, Mittelwert Summe aller = Summe der Mittelwerte aller Messstrecken von allen Individuen, Mittelwert gemeinsame Summe = Summe der Mittelwerte aller gemeinsamen Messstrecken von allen Individuen.

Individuum	\sum aller	abs. Differenz	\sum gemeinsam	abs. Differenz
Rö-6,2	383,2	16,73	183,9	8,18
Rö-6,3	385,4	18,91	185,5	9,71
Rö-7,1	377,9	11,46	180,5	4,79
Rö-7,2			174,2	1,50
Rö-7,3	363,7	2,76	174,4	1,39
Rö-8,2	354,1	12,33	170,4	5,34
Rö-8,3	348,5	17,96	168,4	7,39
Rö-8,4			179,6	3,84
Rö-10,4	360,8	5,61	174,6	1,18
Rö-14,2	380,7	14,21	182,2	6,46
Rö-15,3	341,8	24,62	163,4	12,37
Rö-29,13	379,6	13,18	183,4	7,69
Rö-30,2			153,9	21,86
Mittelwert Summe aller			366,4	
Mittelwert gemeinsame Summe			175,5	

Die höchste Summe aller Messstrecken wurde für das Individuum Rö-6,3 ermittelt. Jedoch weist das Individuum Rö-15,3 die größte absolute Differenz auf und ist gleichzeitig die Mandibula mit der kleinsten Summe. Die kleinste absolute Differenz hat die Schablonen-Mandibula Rö-7,3. Das ist bei der Summe der gemeinsamen Messstrecken jedoch anders. Zwar hat das Individuum Rö-6,3 auch hier die größte Summe, aber das Individuum Rö-30,2 ist hierbei die Mandibula mit der größten absoluten Differenz und gleichzeitig die mit der kleinsten Summe. Die kleinste absolute Differenz hingegen weist das Individuum Rö-10,4.

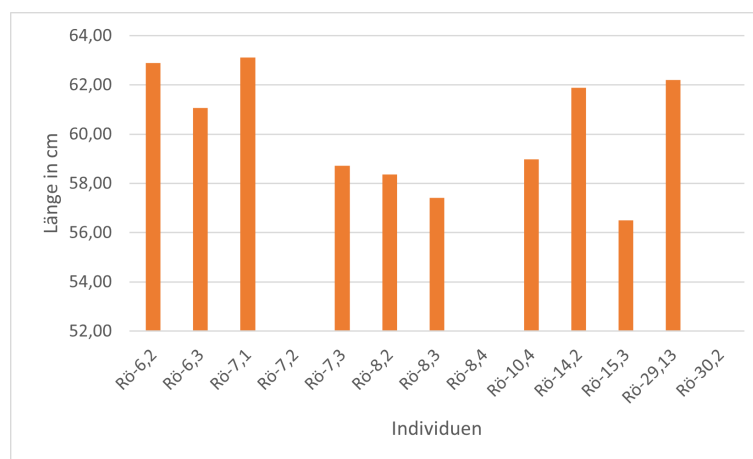


Abbildung 4.4.: Ermittelte Gesamtgrößen der Mandibulae der einzelnen Individuen.

Darüber hinaus wurden die „Gesamtgrößen“ (siehe Methodenteil, Seite 29) berechnet und gegenübergestellt. Für die Individuen Rö-7,2; Rö-8,4 und Rö-30,2 konnten diese jedoch aufgrund fehlender Messungen nicht ermittelt werden. Hierbei sind die Gesamtgrößen der Individuen Rö-7,1 und Rö-6,2 am größten, für die Individuen Rö-8,3 und Rö-15,3 am kleinsten (siehe Abbildung 4.4). Die Durchschnittsgesamtgröße liegt bei 60,11.

Des Weiteren wurde untersucht, ob bestimmte Messstrecken auf Zusammenhänge untereinander deuten. Dabei wurden Trendlinien hinzugefügt, die mit „Linear (Messstrecke)“ angegeben sind. Beispielhaft wurden die Messstrecken ml rechts - go rechts und ml rechts - go links gegenübergestellt (siehe Abbildung 4.5), um die Veränderungen der Gonia in Bezug auf das Mentale zu analysieren. Beide Trendlinien sind monoton steigend.

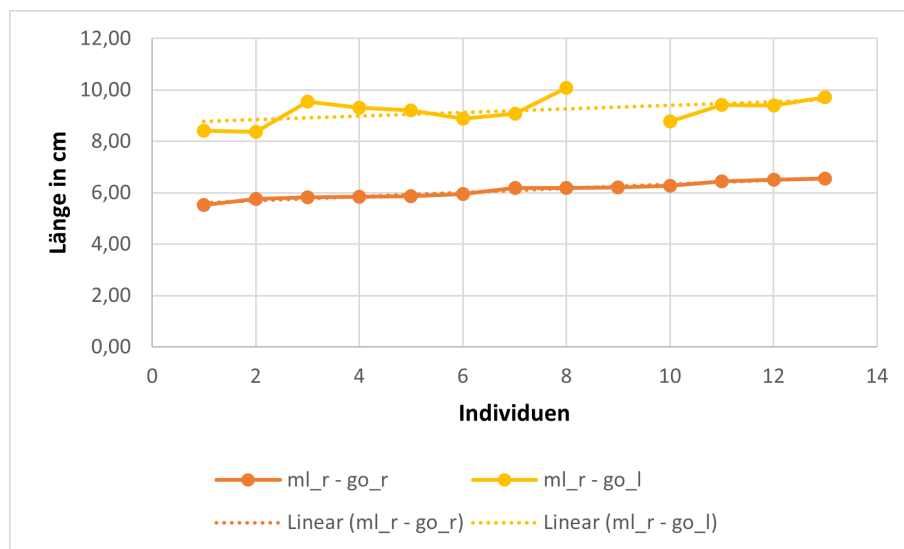


Abbildung 4.5.: Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken ml rechts - go rechts (ml_r-go_r) und ml rechts - go (ml_r-go_l) links mit eingezeichneten linearen Trendlinien, wobei die Werte für ml rechts - go rechts aufsteigend sortiert wurden.

Weiterhin wurden die Beziehungen zwischen der maximalen Ramushöhe und der minimalen Höhe bzw. Breite des Ramus mandibulae verglichen. Für die maximale Ramushöhe (go-cs) im Vergleich zur Höhe des anterioren Ramus (cr-cfr) sind die Trendlinien monoton steigend, für die minimale Ramushöhe jedoch stärker (siehe Abbildung 4.6). Während die maximale Ramushöhe im Vergleich zur kleinsten Breite des Ramus (ppra-parp) leicht monoton fallend ist, ist die Ramusbreite hier monoton steigend (siehe Abbildung 4.7).

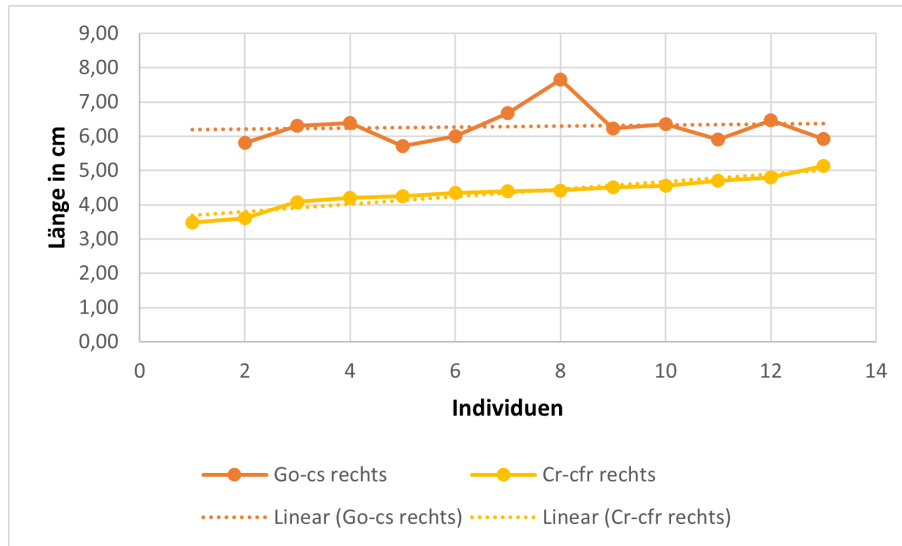


Abbildung 4.6.: Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken go-cs rechts und cr-cfr rechts mit eingezeichneten linearen Trendlinien, wobei die Werte für go-cs rechts aufsteigend sortiert wurden.

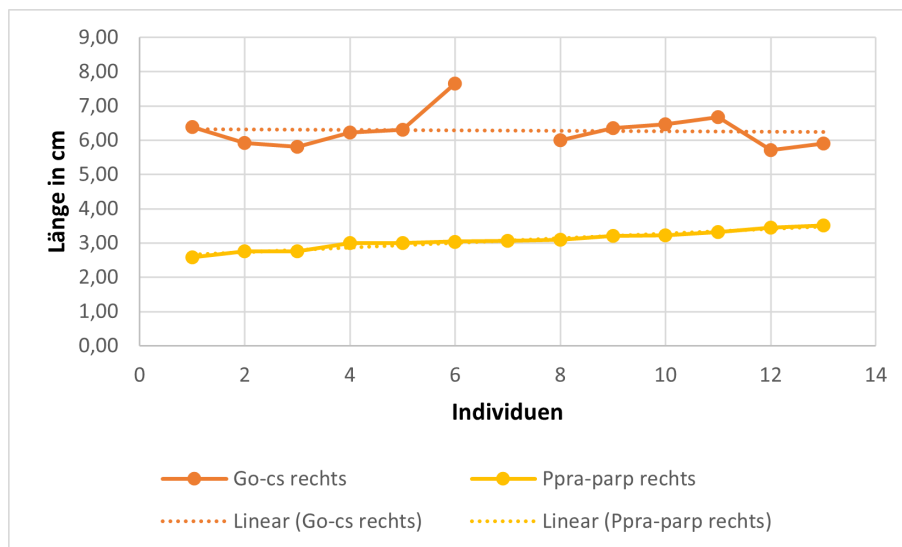


Abbildung 4.7.: Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken go-cs rechts und ppra-parp rechts mit eingezeichneten linearen Trendlinien, wobei die Werte für ppra-parp rechts aufsteigend sortiert wurden.

Zudem wurden die Maße der Kinnhöhe (id-gn) mit denen der Höhe des lateralen Ramus bzw. maximalen Ramushöhe (go-cs), der maximalen Corpuslänge (gn-go) sowie der Breite der Mandibula an den Processi condylaria (cdl-cdl) miteinander verglichen. Die Trendlinien sind dabei für die Kinnhöhe, Ramuslänge und Ramushöhe monoton steigend, für die Breite der Mandibula hingegen monoton fallend (siehe Abbildung 4.8).

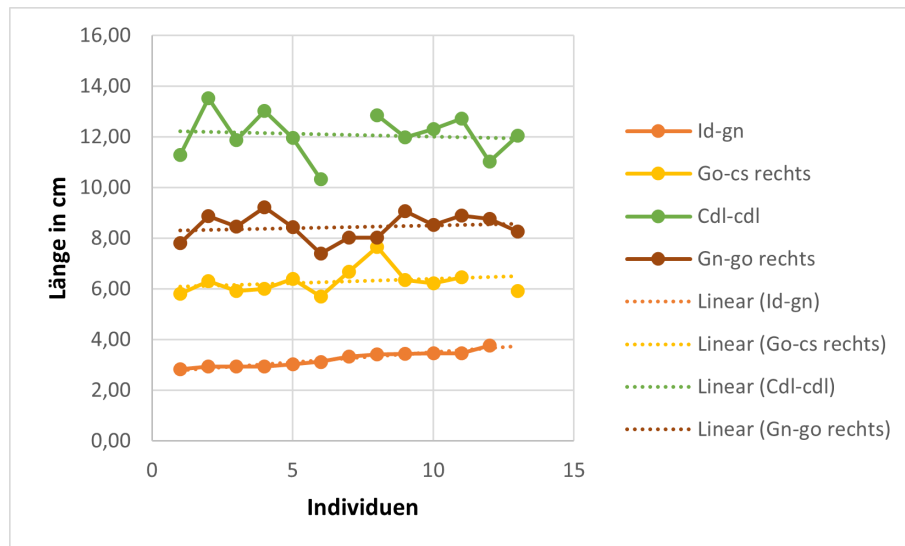


Abbildung 4.8.: Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken id-gn, go-cs rechts, gn-go rechts und cdl-cdl mit eingezeichneten linearen Trendlinien, wobei die Werte für die Kinnhöhe id-gn aufsteigend sortiert wurden.

Darüber hinaus wurden die unterschiedlichen Messstrecken der Breite (go-go, cdl-cdl, cdm-cdm, cr-cr) der Mandibula miteinander verglichen. Dabei sind für alle Breiten der Trendlinien monoton steigend, wenn auch unterschiedlich stark (siehe Abbildung 4.9). Die Messstrecke cdl-cdl steigt hierbei am stärksten, die Messstrecke cr-cr hingegen am geringsten.

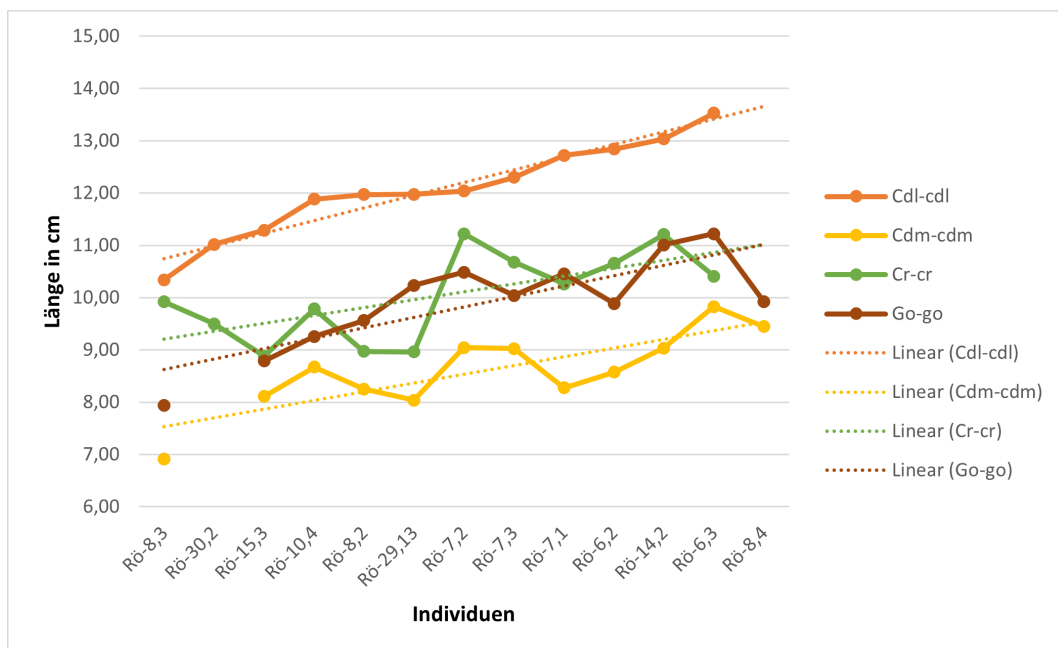


Abbildung 4.9.: Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken go-go, cdl-cdl, cdm-cdm und cr-cr mit eingezeichneten linearen Trendlinien, wobei die Werte für cdl-cdl aufsteigend sortiert wurden.

Zuletzt wurden die Maße am oberen Ramus mandibulae (cs-cr, phi-cs und phi-cr) miteinander verglichen. Dabei sind die Trendlinien für cs-cr und phi-cs monoton steigend, für phi-cr hingegen monoton fallend (siehe Abbildung 4.10).

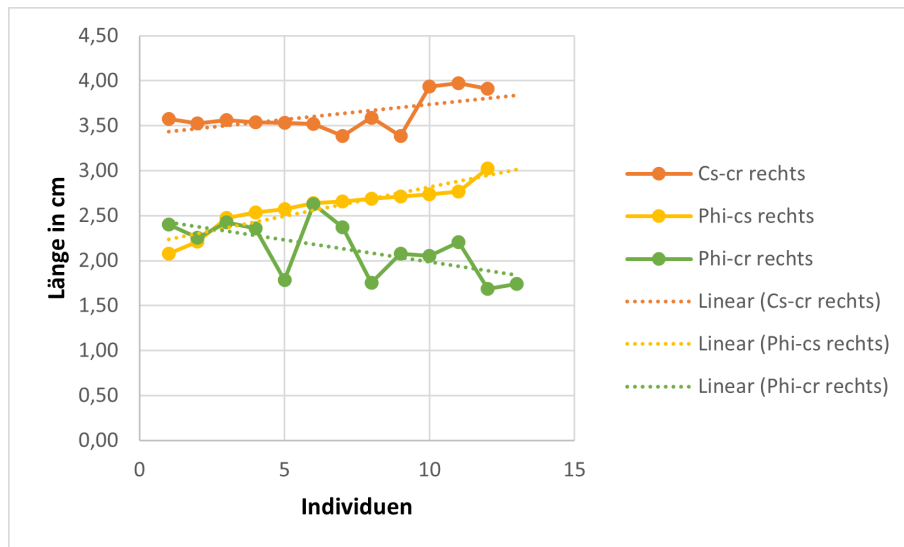


Abbildung 4.10.: Gegenüberstellung zwischen den Messstrecken cs-cr, phi-cs und phi-cr mit eingezeichneten linearen Trendlinien, wobei die Werte für phi-cs aufsteigend sortiert wurden.

Für die Geschlechtsbestimmung wurden verschiedene Diskriminanzfunktionen (siehe 3.2.6 Statistische Analysen ab Seite 36) herausgesucht und an den 12 Mandibulae getestet. Dabei ergab die Mehrzahl der Ergebnisse der Diskriminanzfunktionen für die Individuen R \ddot{o} -8,3; R \ddot{o} -10,4 und R \ddot{o} -15,3 weiblich, für R \ddot{o} -8,2 indifferent und für die restlichen männlich (siehe Tabelle 4.3). Auffällig sind außerdem die Funktionen zwei und drei von Vodanović et al. [95]. So teilt die zweite alle Individuen als weiblich ein, die dritte alle als männlich.

Da bei der zweiten Funktion von Vodanović et al. [95] alle Individuen falsch klassifiziert wurden, wurde diese Funktion nicht an das Medieninformatik-Team für AnthroWorks3D weitergegeben. Bei der automatischen Berechnung der Diskriminanzfunktionen wurde außerdem das Individuum R \ddot{o} -7,3 nicht miteinbezogen, da es sich hierbei um die Schablone selbst handelt. Die Ergebnisse der automatisch berechneten Diskriminanzfunktionen weichen von denen der händisch berechneten teilweise ab (siehe Tabelle 4.4). Auffällig hierbei sind die zahlreichen unterschiedlichen Ergebnisse am Individuum R \ddot{o} -6,3. Bei den automatisch berechneten Funktionen wurde dieses insgesamt als weiblich eingestuft, statt männlich. Des Weiteren erzielte die vierte Funktion von Vodanović et al. [95] die meisten unterschiedlichen Ergebnisse zwischen beiden Verfahren.

Tabelle 4.3.: Ergebnisse der ausgewählten Diskriminanzfunktionen an den 12 Mandibulae. Bezeichnungen: m = männlich, w = weiblich, d = indifferent. Bei Lücken konnten die Funktionen nicht ausgeführt werden, aufgrund fehlender Daten bei den Messstrecken durch Fragmentierungen.

Funktion	Individuen der Rödelheimer Sammlung (Rö)												
	6,2	6,3	7,1	7,2	7,3	8,2	8,3	8,4	10,4	14,2	15,3	29,13	
Barthélémy et al. [6]	m	m	m		m	m	m	m	m	m	w	m	
Kranioti et al. [51]	1:	w	m	d	d	d	d	w		d	m	d	w
	2:	m	m	m		m	m	w		m	m	w	m
Vodanović et al. [95]	2:	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	3:	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
	4:	w	m	m	m	m	w	w	w	w	m	w	m
	5:	w	m	m	w	m	w	w	w	w	m	w	m
	6:	m	m	w	m	m	m	m	m	m	m	m	m
	7:	m	w	m	m	w	w	m	m	w	m	w	m
	1:	m	m	m	w	m	d	w	w	d	m	w	m
Marinescu et al. [59]	2:	d	m	m	w	d	d	w	d	w	m	w	m
	3:	m	w	m	w	m	d	d	m	w	d	w	m
	4:	d	m	m	m	d	d	w	d	w	m	w	d
	5:	m	m	m	m	m	d	w	w	d	m	d	d
	2:	m	m	m		m	w	w	m	w	m	w	m
Giles [34]	2:	m	m	m		m	w	w	m	w	m	w	m
Gesamtergebnis:		m	m	m	m	m	d	w	m	w	m	w	m

Tabelle 4.4.: Ergebnisse der automatisch berechneten ausgewählten Diskriminanzfunktionen an 11 Mandibulae. Bezeichnungen: m = männlich, w = weiblich, d = indifferent. Es sind nur diejenigen notiert, welche ein anderes Ergebnis hatten als die der händisch berechneten Diskriminanzfunktionen (siehe Tabelle 4.3).

Funktion		Individuen der Rödelheimer Sammlung (Rö)											
		6,2	6,3	7,1	7,2	7,3	8,2	8,3	8,4	10,4	14,2	15,3	29,13
Kranioti et al. [51]	1:	d			m	-							d
Vodanović et al. [95]	3:		w			-							
	4:	m	w			-	m		m	m			
	5:	m	w			-	m			m			
Marinescu et al. [59]	1:					-							d
	2:					-							d
	3:		w			-				d			
	5:					-						w	
Giles [34]	2:		w			-							w
Gesamtergebnis:			w			-	m		m	w/m			

4.4. Fehlerberechnung

Um die Qualität der Messungen sicherzustellen, wurden die TEMs sowie die Reliabilitätskoeffizienten bestimmt. Wie schon im Kapitel 3.2.7 Messfehlerbestimmung (ab Seite 40) beschrieben, gelten Werte unter fünf Prozent beim rTEM und über 0,95 beim Reliabilitätskoeffizienten als akzeptabel.

Händisch-digitale Messungen. Zunächst wurden die 60 Messungen einschließlich der Winkel an 12 digitalen Mandibulae jeweils dreimal durchgeführt (siehe im Anhang Tabelle A.3, Seite 133). Dies geschah an unterschiedlichen Tagen. Auffällig ist hierbei der rTEM bei der Messstrecke cdl-cdm der linken Seite zwischen den Messreihen I-III und II-III, welche als einzige den Wert von fünf Prozent übersteigen. Der dazu gehörige Reliabilitätskoeffizient beträgt 0,35 bzw. 0,31. Das bedeutet, dass 65% bzw. 69% auf Messfehler zurückzuführen sind. Zwischen den Messreihen I-II liegt dieser jedoch bei 0,97. Auf der rechten Seite derselben Messstrecke sind die Werte ebenfalls im akzeptablen Bereich mit rTEM-Werten zwischen 1,26 und 1,42 und Reliabilitätskoeffizienten von 0,98. Die Winkel haben ebenfalls zu niedrige Reliabilitätskoeffizienten, liegen bei den rTEM-Werten allerdings im akzeptablen Bereich.

Die Mittelwerte aller rTEM und Reliabilitätskoeffizienten zusammen sind im akzeptablen Bereich (siehe Tabelle 4.5). Insgesamt liegt die Spanne der rTEM zwischen 0,17% (II-III) und 7,98% (II-III), die Reliabilitätskoeffizienten hingegen zwischen 0,31 (II-III) und eins. Die Standardabweichungen sind zwischen II-III und zwischen I-III am höchsten.

Insgesamt befinden sich 100% der r_{TEM} -Werte und 85-90% der Reliabilitätskoeffizienten je Messreihenpaar im akzeptablen Bereich.

Tabelle 4.5.: Lageparameter aller r_{TEM} (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den Messreihen I-II, I-III und II-III aller vermessenen Individuen. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messreihe	I-II		I-III		II-III	
	r_{TEM}	R	r_{TEM}	R	r_{TEM}	R
Durchschnitt	1,01	0,97	1,10	0,96	0,93	0,97
Standardabweichung	0,85	0,05	1,14	0,09	1,15	0,09
Maximum	4,31	1,00	7,66	1,00	7,98	1,00
Minimum	0,21	0,76	0,24	0,36	0,17	0,31

Werden die Unterschiede zwischen beiden Seiten der Messstrecken dargestellt, ist zu erkennen, dass auch hier die Messstrecke cdl-cdm zwischen II-III und zwischen I-III die größte Differenz aufweist (siehe Abbildung 4.11). Aber auch die Messstrecken phi-cr, gn-go, cdp-cs und die Winkel der Anguli weisen auffällige Unterschiede auf. Jedoch sind bei diesen die Differenzen zwischen den Intra-Oberserver-Error nicht so hoch, wie bei cdl-cdm. Die geringsten Unterschiede befinden sich bei id-cfr.

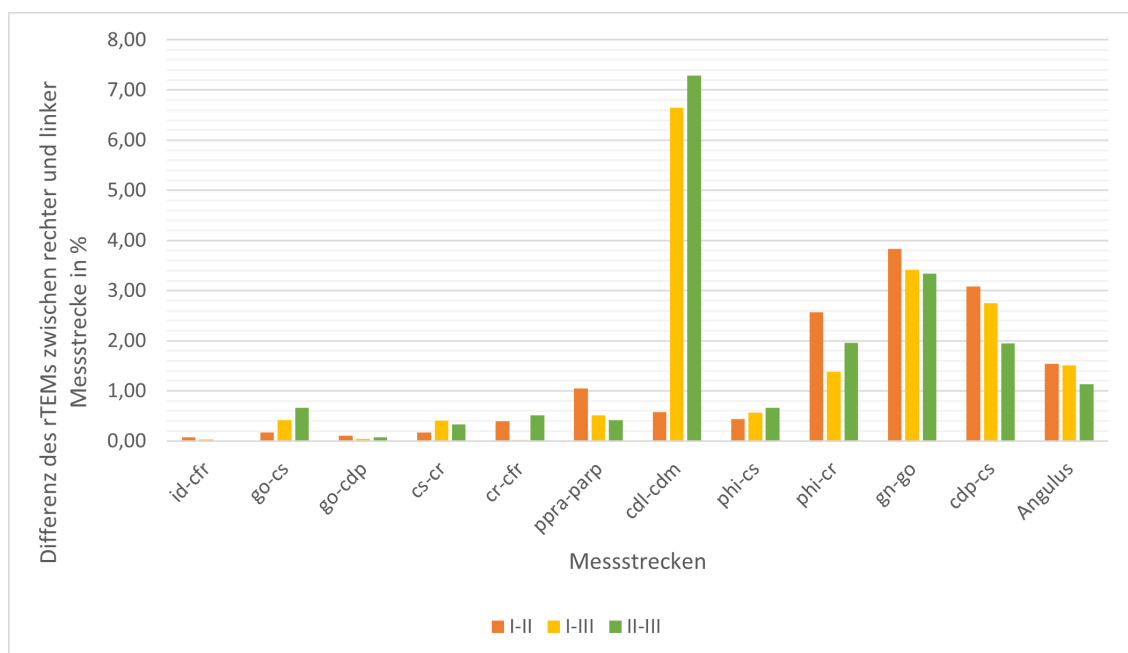


Abbildung 4.11.: Übersicht zu den Differenzen des r_{TEM} s zwischen rechter und linker Seite für alle Messreihen des Intra-Oberserver aller Individuen.

Vergleich zwischen händisch-digitaler und händisch-physischer Messung. Des Weiteren wurden ausgewählte Messstrecken zwischen der händisch gemessenen digitalen und der händisch gemessenen physischen Schablonen-Mandibula (Rö-7,3) miteinander verglichen. Auch hier soll somit die Qualität zwischen zwei verschiedenen Messmethoden

sichergestellt werden (siehe Tabellen A.4 bis A.6, ab Seiten 135). Die $rTEM$ -Werte befinden sich alle im akzeptablen Bereich. Das gilt jedoch nicht für die Reliabilitätskoeffizienten. Auffällig ist hierbei die Messstrecke ml(r)-parp(l), welche die niedrigsten Werte aufweist.

Die Mittelwerte aller $rTEM$ und Reliabilitätskoeffizienten zusammen befinden sich im akzeptablen Bereich (siehe Tabellen 4.6 bis 4.8). Insgesamt liegt die Spanne der $rTEM$ -Werte zwischen null Prozent und 7,6% (dl-pIII), die der Reliabilitätskoeffizienten hingegen zwischen 0,84 (dl-pIII und dll-pl) und eins. Insgesamt befinden sich 100% der $rTEM$ -Werte und 89-100% der Reliabilitätskoeffizienten je Messreihenpaar im akzeptablen Bereich.

Tabelle 4.6.: Lageparameter aller $rTEM$ (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den Messreihen dl-pl, dl-pII und dl-pIII des Individuums RÖ-7,3. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messreihe	dl-pl		dl-pII		dl-pIII	
	$rTEM$	R	$rTEM$	R	$rTEM$	R
Durchschnitt	0,75	0,98	1,04	1,00	0,81	0,98
Standardabweichung	0,51	0,03	1,33	0,00	0,84	0,04
Maximum	1,75	1,00	5,50	1,00	3,74	1,00
Minimum	0,00	0,89	0,00	0,98	0,00	0,84

Tabelle 4.7.: Lageparameter aller $rTEM$ (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den Messreihen dll-pl, dll-pII und dll-pIII des Individuums RÖ-7,3. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messreihe	dll-pl		dll-pII		dll-pIII	
	$rTEM$	R	$rTEM$	R	$rTEM$	R
Durchschnitt	1,06	0,98	1,00	0,98	1,10	0,98
Standardabweichung	0,92	0,04	0,91	0,02	1,61	0,03
Maximum	3,88	1,00	3,88	1,00	7,60	1,00
Minimum	0,02	0,84	0,03	0,94	0,24	0,87

Tabelle 4.8.: Lageparameter aller *rTEM* (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (*R*) zwischen den Messreihen dIII-pl, dIII-pII und dIII-pIII des Individuums RÖ-7,3. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messreihe	dIII-pl		dIII-pII		dIII-pIII	
	<i>rTEM</i>	<i>R</i>	<i>rTEM</i>	<i>R</i>	<i>rTEM</i>	<i>R</i>
Durchschnitt	0,91	0,98	0,88	0,98	0,97	0,98
Standardabweichung	0,58	0,03	0,57	0,01	1,12	0,03
Maximum	2,29	1,00	1,98	1,00	5,25	1,00
Minimum	0,03	0,90	0,06	0,96	0,00	0,86

Messungen der hinzugezogenen Person. Nachdem die Schablonen-Mandibula RÖ-7,3 ausgewählt wurde, sollte eine weitere Person die digitalen Messungen an dieser durchführen. Die osteometrischen Landmarken wurden dabei jeweils neu gesetzt. Die Messungen fanden an unterschiedlichen Tagen statt. Hierfür wurde ebenfalls der Intra-Oberserver-Error bestimmt (siehe Tabelle A.7, ab Seite 138). Auffällig sind hierbei die Messstrecken go-cs, go-cdp und cdp-cs beider Seiten, die v.a. zwischen I-III und II-III mit *rTEM*-Werten 8,44% bis 23,03% im nicht akzeptablen Bereich liegen. Zudem ist zu erkennen, dass es mehr *rTEM*-Werte im nicht akzeptablen Bereich (15-20% je Messreihenpaar) gibt als bei den Fehlerberechnungen zuvor.

Tabelle 4.9.: Lageparameter aller *rTEM* (in %) zwischen den Messreihen I-II, I-III und II-III des Individuums RÖ-7,3. Gemessen von einer hinzugezogenen Person (L. Paris).

Messreihe	I-II	I-III	II-III
	<i>rTEM</i>	<i>rTEM</i>	<i>rTEM</i>
Durchschnitt	2,12	3,00	3,43
Standardabweichung	2,41	4,43	5,35
Maximum	9,54	19,65	23,03
Minimum	0,02	0,06	0,01

Die Mittelwerte aller *rTEM* zusammen befinden sich im akzeptablen Bereich (siehe Tabellen 4.9). Insgesamt liegt die Spanne der *rTEM*-Werte zwischen 0,01% (II-III) und 23,03% (II-III). Die größten Standardabweichungen liegen zwischen II-III.

Werden auch hier die Unterschiede zwischen beiden Seiten der Messstrecken dargestellt, ist zu sehen, dass die Differenzen bei II-III am höchsten waren mit Ausnahme der Messstrecken id-cfr, go-cs und phi-cs sowie dem Angulus (siehe Abbildung 4.12). Die geringsten Unterschiede gibt es hingegen bei I-II. Die Messstrecke gn-go weist die höchste Differenz auf, id-cfr die geringste. Letztere deckt sich mit der aus der Fehlerberechnung zwischen allen Individuen (siehe Abbildung 4.12).

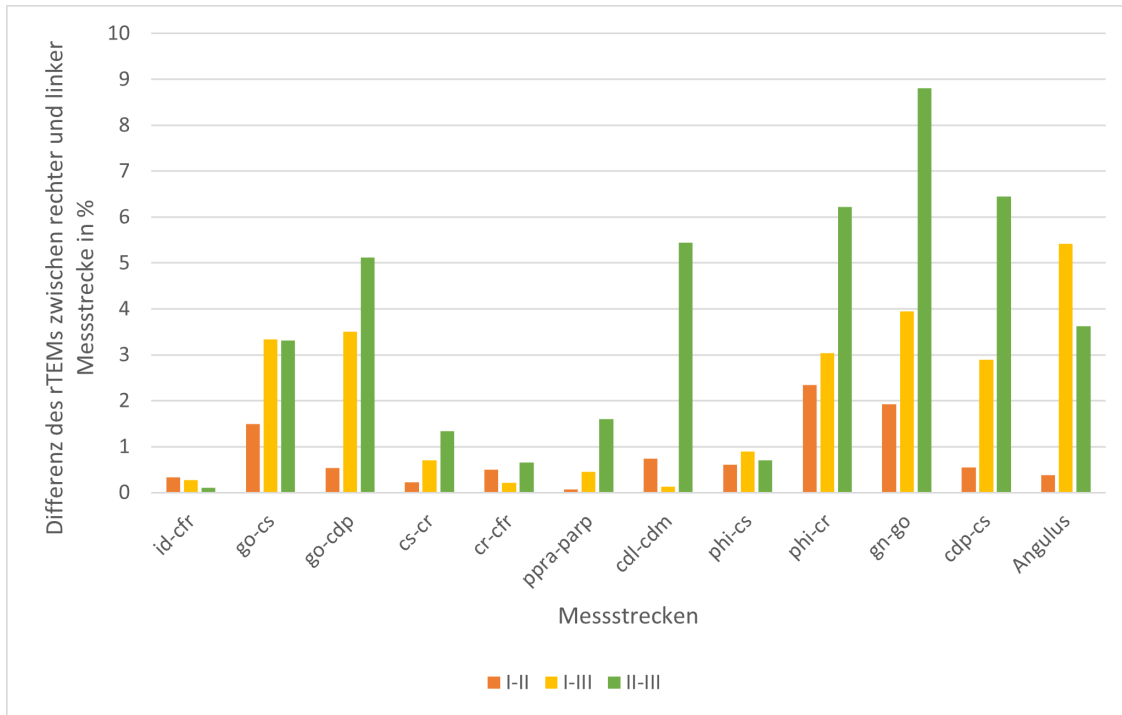


Abbildung 4.12.: Übersicht zu den Differenzen des *rTEMs* zwischen rechter und linker Seite für alle Messreihen des Intra-Observer-Errors des Individuums R \ddot{o} -7,3. Gemessen von der hinzugezogenen Person (L. Paris).

Vergleich der Messfehler zwischen zwei Personen. Nachdem die Messreihen-Messung der hinzugezogenen Person erfolgte, wurde anschließend der Intra-Observer-Error sowie der Inter-Observer-Error ermittelt (siehe Tabelle A.8). Auffällig sind hierbei die Messstrecken go-cs, go-cdp, cdl-cdm und v.a. cdp-cs, welche Werte bis zu 39,05% (AII-BI aufweisen) und damit weit über dem akzeptablen Bereich liegen. Auch wenn diese Messstrecken im Großteil zu große Werte haben, gibt es dort auch welche, die im akzeptablen Bereich sind (z.B. cdp-cs (I) mit 1,91% bei AI-BII).

Tabelle 4.10.: Lageparameter aller *rTEM* (in %) bezüglich des Inter-Observer-Errors des Individuums R \ddot{o} -7,3. zwischen den Messreihen AI-BI, AI-BII, AI-BIII, AII-BI, AII-BII, AII-BIII, AIII-BI, AIII-BII und AIII-BIII. Dabei handelt es sich bei A und B um zwei verschiedene messende Personen. B ist hierbei die hinzugezogene Person.

Messreihe	AI-BI	AI-BII	AI-BIII	AII-BI	AII-BII	AII-BIII	AIII-BI	AIII-BII	AIII-BIII
Durchschnitt	3,63	2,95	4,24	3,82	3,19	4,65	3,75	3,10	4,57
SD	5,82	5,10	6,41	6,34	5,79	6,80	5,90	5,37	6,55
Maximum	33,93	31,86	24,30	39,05	37,02	25,40	35,94	33,89	25,40
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,14	0,02	0,00

Die Mittelwerte aller *rTEM* zusammen sind im akzeptablen Bereich (siehe Tabelle 4.10). Insgesamt liegt die Spanne der *rTEM*-Werte zwischen null Prozent und 39,05% (AII-BI) und somit höher als bei den Fehlerberechnungen zuvor. Die größten Standardabweichungen

chungen liegen zwischen dl-pII. Insgesamt befinden sich 75-87% der r_{TEM} -Werte je Messreihenpaar im akzeptablen Bereich.

Werden die Differenzen zwischen beiden Seiten der Messstrecken veranschaulicht, ist erkennbar, dass es die größten Unterschiede bei den Messstrecken gn-go und cdl-cdm gibt (siehe Abbildung 4.13). Auffällig sind hierbei die Differenzen bei cdl-cdm zwischen AIII-BIII und zwischen AI-BIII, welche gegenüber den anderen Messreihenpaare deutlich größer sind. Bei den Messstrecken gn-go, ppra-parp und phi-cs sind diese ebenfalls zusammen mit AI-BIII größer, als die der anderen Messreihenpaare. Auch am Angulus gibt es große Unterschiede zwischen den Seiten. Bei cdp-cs gilt das nur für das Messreihenpaar AI-BIII. Die geringsten Unterschiede zwischen den Seiten befinden sich bei den Messstrecken cs-cfr und id-cfr.

Vergleich zwischen händisch digitaler und automatisch digitaler Messung. Zuletzt wurden die automatisch berechneten Distanzen der Messstrecken mit den händisch ermittelten der digitalen Mandibulae aller Individuen, außer der Schablone RÖ-7,3 selbst miteinander verglichen (siehe Tabelle A.9, ab Seite 143). Da bei den automatisch berechneten nur eine Messreihe vorlag, wurden bei den händisch ermittelten die Durchschnitte der Werte pro Messstrecke genommen. Die Winkel wurden nicht miteinbezogen, da diese bisher nicht automatisiert berechnet werden konnten. Auffällig sind die Messstrecken cs-cr (r) mit einem Reliabilitätskoeffizienten von 0,24 und einem r_{TEM} von 12,96% sowie cdp-cs (r) mit einem Reliabilitätskoeffizienten von 0,28 und einem r_{TEM} von 16,54%. Die linke Messstrecke von cs-cr hingegen liegt beim r_{TEM} mit 2,86% im akzeptablen Bereich, der Reliabilitätskoeffizient mit 0,83 nicht. Dieser ist jedoch fast das dreieinhalbfache größer als rechts. Bei der Messstrecke cdp-cs liegt auch die rechte Seite mit einem r_{TEM} von 12,21% und einem Reliabilitätskoeffizienten von 0,57 im nicht akzeptablen Bereich. Jedoch ist der Reliabilitätskoeffizient doppelt so hoch wie auf der rechten Seite. Des Weiteren ist auch die Messstrecke go-cs rechts auffällig mit einem Reliabilitätskoeffizienten von 0,28 und einem r_{TEM} von 9,85%. Auf der linken Seite hingegen liegt der r_{TEM} mit 3,71% im akzeptablen Bereich, der Reliabilitätskoeffizient bei 0,81.

Während der Mittelwert aller r_{TEM} zusammen im akzeptablen Bereich liegt, trifft das für den Reliabilitätskoeffizienten nicht zu (siehe Tabelle 4.11). Der minimalste Reliabilitätskoeffizient von 0,24 ist von allen bisher aufgezeigten Fehlerberechnungen der geringste, was für den maximalsten r_{TEM} nicht gilt.

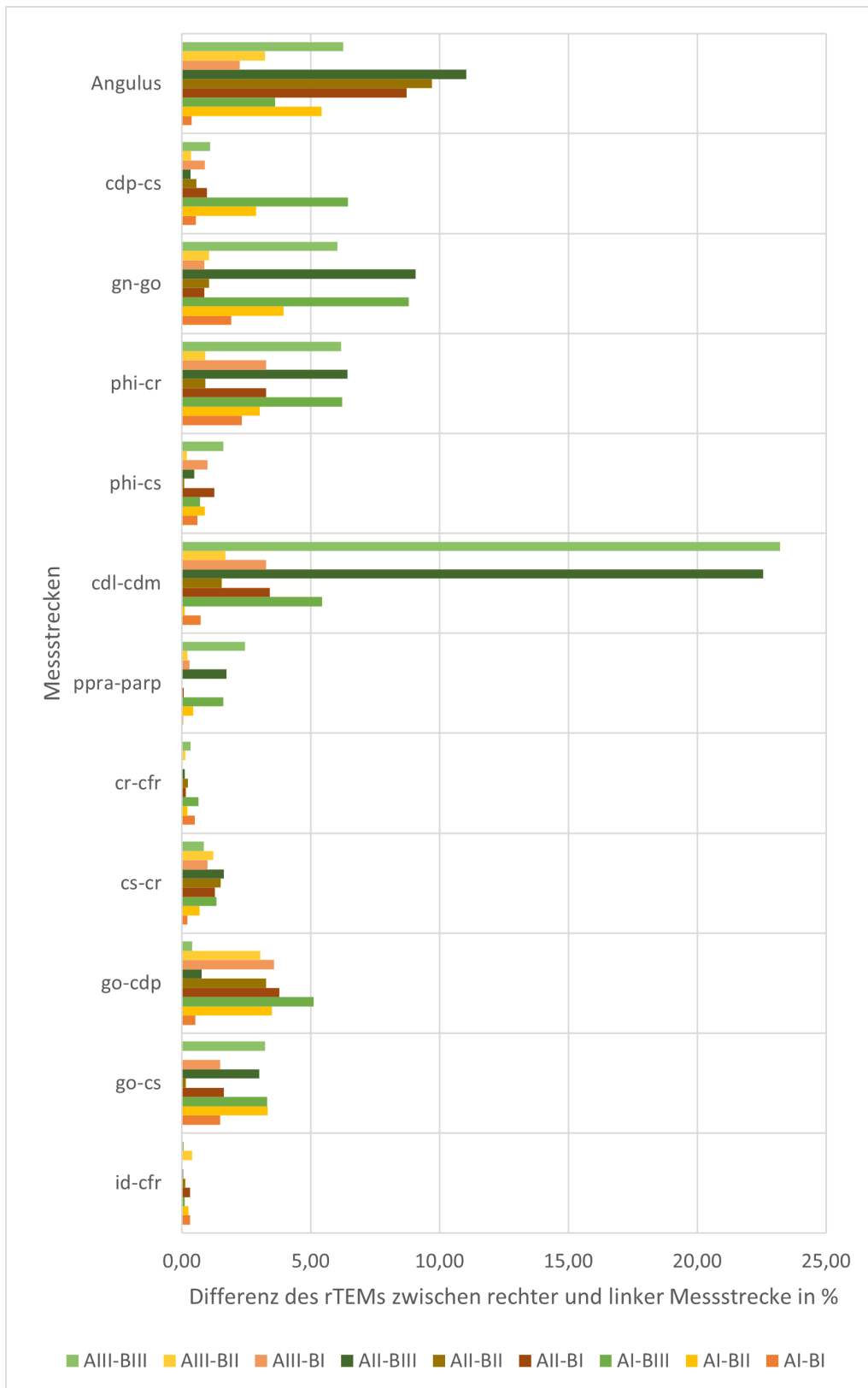


Abbildung 4.13.: Übersicht zu den Differenzen des *rTEMs* zwischen rechter und linker Seite für alle Messreihen des Inter-Observer Errors des Individuums Rō-7,3.

Tabelle 4.11.: Lageparameter aller *rTEM* (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (*R*) zwischen den automatisch generierten Messungen von AnthroWorks3D und den händischen in AnthroWorks3D. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

	<i>rTEM</i>	<i>R</i>
Durchschnitt	3,07	0,83
Standardabweichung	3,22	0,19
Maximum	16,54	0,99
Minimum	0,35	0,24

Werden die Unterschiede zwischen der rechten und linken Seite der Messstrecken dargestellt, ist sichtbar, dass im Vergleich zu den anderen Fehlerberechnungen die Messstrecke ppra-parp die geringste Differenz aufweist (siehe Abbildung 4.14). Die höchsten Unterschiede sind bei go-cs und cs-cr erkennbar.

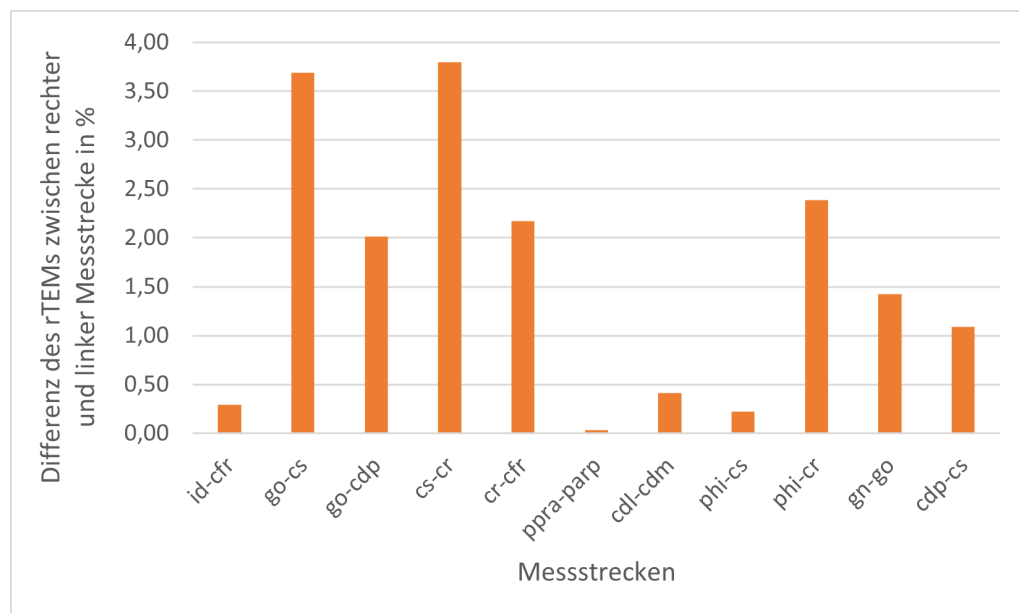


Abbildung 4.14.: Übersicht zu den Differenzen des *rTEMs* zwischen rechter und linker Seite des zwischen allen automatisch und händisch gemessenen digitalen Mandibulae, bis auf die Schablonen-Mandibula R6-7,3 selbst.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Mittelwerte aller *rTEM*-Werte sich zusammen in einem Bereich zwischen 1,01% und 4,65%, die Reliabilitätskoeffizienten zwischen 0,83 und eins bewegen. Insgesamt liegen die Werte für den *rTEM* des Intra-Observer-Errors aller händisch digital gemessenen Individuen am niedrigsten, für den Inter-Observer-Error am höchsten. Die Reliabilitätskoeffizienten sind beim Intra-Observer-Errors aller händisch digital gemessenen Individuen am höchsten, beim Vergleich zwischen den händisch und automatisch ermittelten Messstrecken am geringsten. Dabei ist anzumerken, dass der Reliabilitätskoeffizient jedoch nicht für alle Fehlerberechnungen ermittelt werden konnte.

4.5. Anatomische Skelettvarianten der Mandibula

Während der Untersuchungen an den Mandibulae zeigten sich außerdem einige anatomische Skelettvarianten.

Das Individuum RÖ-6,2 weist leicht ausgeprägte ausgestülpte Anguli mandibularum auf und eine Tuberositas massetrica und pterygoidea sowie einen Bilobat.

An der Mandibula von RÖ-6,3 sind ebenfalls eine Tuberositas massetrica und ausgestülpte Anguli mandibularum sichtbar.

RÖ-7,1 zeigt ein Bilobat auf. Die Anguli mandibularum sind ausgestülpt und eine Tuberositas pterygoidea ist erkennbar. Des Weiteren sind an den medialen Rami mandibularum sowie im Lingualbereich akzessorische Foramina zu finden. Das linke Foramen mentale ist im Vergleich zu den anderen Individuen relativ groß ausgeprägt. Neben diesem ist ebenfalls ein akzessorisches Foramen sichtbar.

Die Mandibula RÖ-7,2 weist ebenfalls eine Tuberositas massetrica und pterygoidea sowie akzessorische Foramina auf. Diese befinden sich am linken Foramen mandibulae, auf der medialen Seite der Rami mandibulae, an der superioren Spina mentalis sowie am rechten Caput mandibularis.

Bei RÖ-7,3 ist ebenfalls eine Tuberositas massetrica und pterygoidea sichtbar. Des Weiteren ist ein wenig ausgeprägter Torus mandibularis zu erkennen. Das Mentum weist außerdem eine leicht quadratische Form auf. Im Bereich der linken Linea obliqua befindet sich zudem ein akzessorisches Foramen.

RÖ-8,2 weist eine Tuberositas massetrica auf. Des Weiteren befinden sich im Bereich des Trigonum retromolare auf beiden Seiten akzessorische Foramina sowie den medialen Rami mandibularum, der superioren Spina mentalis und dem linken Caput mandibularis. Letzterer ist außerdem eingekerbt.

Die Mandibula von RÖ-8,3 hat ebenfalls akzessorische Foramina im Bereich des Trigonum retromolare sowie der medialen Rami mandibularum. Darüber hinaus ist eine Tuberositas pterygoidea erkennbar.

RÖ-8,4 weist ebenfalls eine Tuberositas massetrica und pterygoidea auf. Das linke Foramen mentale ist außerdem im Vergleich zu den anderen Individuen relativ groß. Auf der rechten Seite liegt ein geteiltes Foramen mentale vor. Im Lingualbereich befinden sich akzessorische Foramina.

Weiterhin könnte das Mentum von RÖ-14,2 auf ein Bilobat hinweisen. Die Spinae mentales desselben Individuums sind außerdem leicht hervorstehend. Zudem ist eine Tuberositas pterygoidea und massetrica erkennbar. Auf der Fovae pterygoidea befinden sich akzessorische Foramina.

Das Individuum RÖ-15,3 hat am zweiten Prämolaren der rechten Seite lateral einen Haken. Das Mentum weist eine weniger ausgeprägte quadratische Form auf und könnte daher auf einen Bilobat hinweisen. Auf der linken Seite ist eine Tuberositas massetrica und pterygoidea zu erkennen.

An der Mandibula von RÖ-29,13 befinden sich ausgestülpte Anguli mandibularum, welche besonders auf der rechten Seite ausgeprägt sind. Auch hier ist eine Tuberositas massetrica und pterygoidea zu sehen.

Bei den anatomischen Skelettvarianten dieser Stichprobe lässt sich Folgendes zusammenfassen: Die meisten weisen eine Tuberositas massetrica und/oder pterygoidea auf. Des Weiteren sind akzessorische Foramina häufig zu beobachten. Außerdem sind ausgestülpte Anguli mandibularum sowie Bilobaten weniger vorkommend als die oberen genannten Varianten. Ein Torus mandibularis ist derweil nur einmalig vorhanden.

5. Diskussion

In diesem Abschnitt werden zunächst die in den Grundlagen erwähnten Nomenklaturen **TA** und **FMA** miteinander verglichen. Anschließend werden die Evaluationen, Messfehler und Fehlerquellen sowie statistischen Analysen ausgewertet und diskutiert. Im Anschluss soll die Variabilität der Mandibula hinsichtlich des Einflusses auf AnthroWorks3D analysiert werden.

5.1. Vergleich TA und FMA

Wie im Kapitel [2.2 Nomenklaturen und anatomische Fachsprache](#) (ab Seite 5) bereits beschrieben, gibt es für die Anatomie bewährte Nomenklaturen. Zum Einen die **TA** und zum Anderen die umfangreiche Ontologie **FMA**. Beide Nomenklaturen haben ihre Vor- und Nachteile. Jedoch sollte sich für eine der beiden für die Arbeit mit AnthroWorks3D entschieden werden. In diesem Abschnitt sollen die Vor- und Nachteile dieser Nomenklaturen gegeneinander abgewogen werden.

Die **TA** umfasst alle allgemein anerkannten anatomischen Einheiten bis in die kleinsten Strukturen in Latein und Englisch. Darüber hinaus beinhaltet diese auch Eponyme und eine kleine Anzahl an Synonymen. Jedoch sind veraltete Begriffe aus früheren Terminologien, Akronyme sowie andere Sprachen nicht vorhanden. Das **FMA** hingegen ist die umfangreichste anatomische Terminologie in Form einer Ontologie und bietet im Gegensatz zur **TA** Übersetzungen an. [36] Im Zuge der Entwicklungen der Definitionen für die anatomischen Landmarken, war jedoch auffällig, dass das Suchen mit deutschen Begriffen zu keinem Erfolg führte. Verwendet wurden hierfür das Bioportal¹ [11] und OntologySearch² [68]. Auch die Suche mittels lateinischer Bezeichnungen gestaltete sich bei beiden Webseiten schwierig. Dass das **FMA** ein weniger gutes Übersetzungsinstrument ist, konnten Gobèe et al. [36] bestätigen: Bei dem eigens entwickelten Begriff „Temporal region“ sind alle englischen sowie französischen Begriffe vorhanden, nicht aber die lateinische Bezeichnung „Regio temporalis“. Ein Verweis auf das Konzept der **TA** ist dabei auch fehlend. [36]

Weiterhin sind in dem **FMA** 90% der Begrifflichkeiten neu konstruiert worden, welche in der **TA** nicht vorhanden sind und zu Verwirrungen bei Anwendenden führen können [76]. Das Herausfiltern gewöhnlicher Begriffe wie „Neuraxis“ ist ebenfalls fehlend. Allerdings befinden sich auch in der **TA** unbegründete Entscheidungen, die die Anwendenden verwirren können. So ist eine unwillkürliche Nutzung von Singular- und Pluralformen erkennbar [36]. Auch im Zuge dieser Arbeit war dies auffällig. So wurden die Foramina mentalia als „Foramen mentale“ aufgeführt, jedoch anstelle des Jugum alveolaris die Pluralform „Juga alveolaria“. Für die Mandibula war erkennbar, dass Landmarken, die maximal zweimal vorkommen im Singular stehen, während Landmarken, die öfters vorkommen, in der

¹<https://bioportal.bioontology.org/ontologies/FMA>

²<https://www.ebi.ac.uk/ols/ontologies/fma>

Pluralform auftreten. Eine offizielle Erklärung gibt es jedoch nicht. Aus diesen beiden Beispielen der Mandibula ist auch ersichtlich, dass manche Landmarken nur in ihrer generischen Form auftreten (Juga alveolaria), andere aber in einer seitenbezogenen bzw. lateralisierten Form (Foramen mentale). Bei anderen Landmarken treten teilweise auch beide Varianten auf, wie z.B. die Lunge oder die Herzkammern.

Ein weiteres Problem der TA ist, dass einzelne Landmarken aus nummerierten Reihen unterschiedlich beschrieben werden: So sind bei manchen alle Instanzen aufgezählt (z.B. bei den Phalanges), bei anderen aber nur einige (z.B. bei den Costae oder Vertebrae). Weitere Nachteile der TA sind, dass diese online nicht frei verfügbar und nicht für die digitale Handhabung gedacht ist. [36] Im Gegensatz dazu bietet die Ontologie durch die Beziehung zwischen Konzepten eine wichtige Dimension des Wissens. Die Kommunikation zwischen Menschen derselben Anwenderdomäne soll erleichtert werden [22]. Durch die oben genannten Probleme, die Verwirrungen bei den Anwendern stiften, ist dies im Bezug auf das FMA fraglich. Jedoch eignet sich dieses zur digitalen Handhabung. Ermöglicht wird dies, da Ontologien computerlesbar bereitgestellt werden und somit flexibel und wiederverwendbar auf unterschiedlichen Ebenen und Informationssystemen sind. [22]

Wie schon in den Grundlagen erwähnt, ist das FMA bereits sehr detailliert, weist dennoch diverse Lücken auf und muss in bestimmten Bereichen noch verfeinert werden [63]. Doch auch die TA ist noch lückenhaft aufgrund einer nur kleinen Anzahl an Synonymen und den fehlenden Akronymen auf. Die Ergänzung bereitet sich jedoch schwierig, da beide Nomenklaturen nicht leicht erweiterbar sind. Ein weiteres Problem sind Variationen, die aufgrund ihrer klinischen Bedeutung eigene Bezeichnungen in der klinischen Praxis bekommen haben. In der TA und FMA sind diese nicht vorzufinden. [36] Außerdem wurde in der Praxis festgestellt, dass die TA nicht richtig befolgt wird [66]. Ein striktes Befolgen einer Terminologie scheint unwahrscheinlich [52], sodass dies auch auf das FMA übertragen werden könnte. Moereke und Ceusters [65] stellten außerdem fest, dass in der klinischen Praxis für jede Struktur fünf bis sieben Synonyme in Verwendung sind. Sie erklärten außerdem, dass dabei jeder seine eigenen bevorzugten Begriffe hat. [65] Jeder Mensch hat eine persönliche Vorliebe [7]. Die verwendete Sprache ist nicht kontrollierbar [9]. So stellten auch Gobée et al. fest [36], dass es unmöglich ist, Menschen auf nur eine Gruppe von bestimmten Bezeichnungen zu beschränken. Die parallele Benutzung mehrerer Begriffe ist nicht aufzuhalten. Das Projekt *AnatomicalTerms*³ [35] soll diesen Umstand umgehen, indem Synonyme von anderen qualifizierten Personen eingetragen werden können. [36] Jedoch ist die Anzahl der Synonyme gering (für eine Sprache maximal zwei). So ist für den Begriff „Mandibula“ keine deutsche Bezeichnung zu finden, jedoch bei der detaillierteren Landmarke „Basis mandibulae“.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass beide Nomenklaturen Vor- und Nachteile haben. Die TA ist durch ihre chronologische Beschreibung für die Anwendenden übersichtlich gestaltet und beinhaltet alle anatomischen Einheiten bis ins Detail auf Englisch und Latein, was bei der Arbeit mit der Mandibula bestätigt werden kann. Doch nur durch das FMA kann eine größtmögliche Wissensrepräsentation durch die Ontologie erreicht werden,

³<https://www.anatomicalterms.info/?concept=6291&term=27004>

da die anatomischen Landmarken in vielen, teilweise komplexen Zusammenhängen und Beziehungen zueinander stehen. Nur durch ein Netzwerk ist dies darstellbar. Da bei der Arbeit jedoch auffiel, dass die lateinischen Bezeichnungen mitunter fehlten und die anatomischen Landmarken der Mandibula in der TA übersichtlicher gestaltet waren, wurde primär die TA genutzt. Dennoch sollte das FMA nicht vernachlässigt werden, aufgrund der oben benannten Gründe und Vorteile einer Ontologie.

Das Problem der Variationen und vielen Synonyme kann bisher jedoch mit keinem der Nomenklaturen umgangen werden. Dafür braucht es in Zukunft eine eigene Lösung.

5.2. Auswertung der Evaluationen

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Funktionen von AnthroWorks3D evaluiert. Neben dem Markieren und Setzen der Landmarken wird auch auf das Messen im Vergleich zu einer physischen Mandibula thematisiert. Im Anschluss wird die automatische und händische Annotation einer digitalen Mandibula verglichen.

5.2.1. Markieren der anatomischen Landmarken

Nachdem die zu markierenden anatomischen Landmarken selektiert wurden, stand die Annotation an der digitalen Mandibula aus. Dieser Prozess konnte leider nicht immer exakt vorgenommen werden, da das Erfühlen bzw. Ertasten der anatomischen Landmarken nicht möglich war. Diese Schwierigkeit stellt ein Problem bei der digitalen Arbeit dar, das nicht behebbar ist. Dennoch bietet der digitale Zwilling den Vorteil, dass unbeschädigt Markierungen vorgenommen werden können ohne das Objekt nachhaltig zu verändern. So kann dies anschließend auch als Lehrmaterial im Bereich der Anatomie dienen. Des Weiteren ist es möglich die Durchführung beliebig oft zu wiederholen.

Definitionen. Wie bereits erwähnt, gibt es bisher keine standardisierten Definitionen bei anatomischen Landmarken. Aus diesem Grund wurden mehrere Anatomie-Atlanten ausgewählt, um aus ihnen geeignete selbst zu entwickeln. Dabei gab es folgende Auffälligkeiten:

- Die Markierung der Landmarken erfolgte größtenteils nur mittels Punktdarstellung (siehe Abbildung 5.1), obwohl es sich dabei um drei-dimensionale Strukturen handelt.
- Eine detaillierte und exakte Beschreibung zu den Landmarken fehlte häufig.
- In englischsprachigen Anatomie-Atlanten wurden anstatt der lateinischen Begriffe die Englischen verwendet.

Dies führte zu Schwierigkeiten bei der Eingrenzung der anatomischen Landmarken. Die selbst entwickelten Definitionen und Markierungen sollen eine zukünftige Einarbeitung vereinfachen und können als exakte Orientierung dienen.

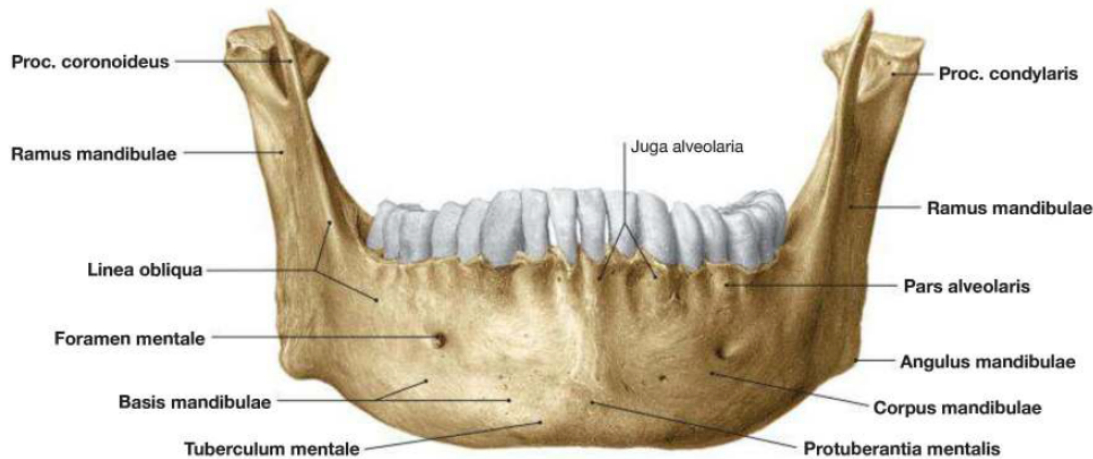


Abbildung 5.1.: Markierung der anatomischen Landmarken der Mandibula mittels Punkt und Pfeil. Ansicht anterior. Übernommen aus: Sobotta Band 3 [70]

Probleme beim Markieren. Das Markieren der anatomischen Landmarken in AnthroWorks3D gestaltete sich jedoch schwierig, da diese als Freihandlinie mit der Computermaus gesetzt werden mussten. Dadurch waren die Linien etwas zitterig. Ein Grafiktablet könnte dafür eine Lösung darstellen. Des Weiteren waren Markierungen mit gleichzeitiger Rotation der Mandibula nicht möglich, wodurch Landmarken, die aus mehreren Perspektiven zu sehen sind, in ihre einzelnen Ansichten aufgeteilt werden mussten. Dieses Problem ergab sich bei folgenden Landmarken: Ramus mandibulae, Basis mandibulae, Corpus mandibulae, Pars alveolaris, Angulus mandibulae, Processus coronoideus, Processus condylaris sowie Collum mandibulae. Dadurch wurden die Linien auch unsauber und teilweise inkorrekt (siehe Abbildung 5.2). Zudem muss bei den Flächenmarkierungen darauf geachtet werden, dass diese, wie in einem Kreis, in sich geschlossen werden. Wird also der Anfangspunkt der Markierung am Ende nicht wieder getroffen, so erfolgt dies automatisch durch die Software. Dies kann zu Fehlern führen. Aufgrund dessen wurde für die Pars alveolaris und dem Corpus mandibulae eine Linienmarkierung gewählt. Weiterhin muss ebenfalls darauf geachtet werden, dass die Markierung genau an der gezielten Stelle durchgeführt wird. Bei Ausrichtung der Mandibula in die laterale Ansicht, verdeckt der Ramus mandibulae der anderen Seite den vorderen. So kann es schnell passieren, dass ein Punkt des hinteren Ramus beim Markierungsprozess getroffen wird. Dadurch entsteht eine Linie zwischen den Rami mandibularum, die falsch ist. Insgesamt dauerten die Markierungen für ein Individuum zwischen 45 und 60 Minuten.

Fehlermeldungen. Darüber hinaus traten während der Bearbeitung einige Fehler und Probleme auf. So äußerte sich das Erste direkt am Anfang, indem die Markierungen nach der Speicherung nicht mehr sichtbar waren. Da dies nach erster Korrektur seitens des Medieninformatik-Teams nicht beseitigt werden konnte, wurde es anschließend mit einer Fehlermeldung bei kritischen Fehlern erweitert und konnte behoben werden. Das sollte eine schnellere Korrektur ermöglichen. Weiterhin stellte sich heraus, dass es für die Arbeit mit AnthroWorks3D eine entsprechende Grafikkarte braucht. Die Grafikkarte Intel(R) UHD Graphics 620 des Lenovos reichte für die detaillierte Anzeige nicht aus und äußerte sich mit schwarzen Pixeln im Bild. Später traten neue Probleme auf: Beim Laden

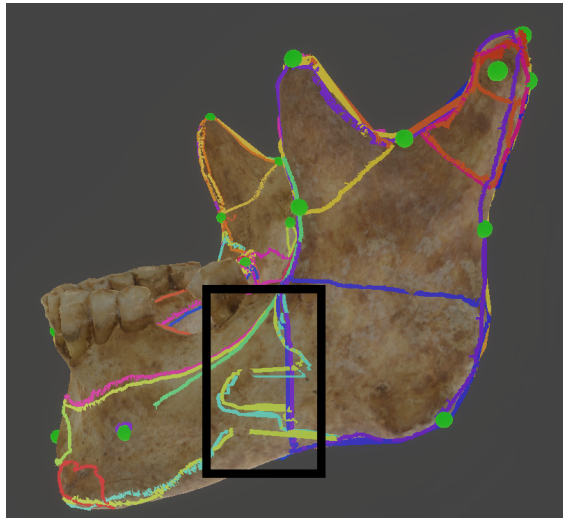


Abbildung 5.2.: Entstehung unsauberer Markierungen (siehe schwarzer Kasten). Hier trifft es die Landmarken Basis mandibulae und Corpus mandibulae. Ansicht lateral.

der Speicherdatei war das Modell, welches mehrere Texturen beinhaltete, mit weißen Pixeln versehen. Außerdem wurden die Markierungen aus der Speicherdatei erneut nicht angezeigt bzw. befanden sich an einer Stelle, an der sie nicht sein sollten. Ein neues Build behob dieses Problem. Später funktionierte das Löschen von Annotationen im Nachhinein nicht. Auf der rechten Seitenleiste wurde dies entfernt, aber nicht auf dem Modell. Dazu musste dieses mal etwas manuell an der Speicherdatei geändert werden. Nach Behebung dieses Problems war das für einige, bereits gesetzte Annotationen (Rö-7,1 und Rö-7,2) noch immer nicht möglich. Daher wurde an diese in Großbuchstaben „delete“ (löschen) geschrieben. Zwischendurch kam es zum Problem, dass die Speicherdatei nicht geladen werden konnte. Dies wurde schnell behoben. Bei wenigen Individuen braucht es für das Importieren mehrere Texturen. Auch dies war anfangs problematisch beim Implementieren. Diese Funktionen wurden später hinzugefügt.

Während der gesamten Bearbeitung bildete das Individuum Rö-25,1 eine Ausnahme. Die Mandibula lag zweiteilig vor. Die Markierungen wurden dennoch vorgenommen für jedes einzelne Fragment. Später stellte sich heraus, dass für das Zusammenfügen beide Teile in je eine Objekt-Datei geteilt werden mussten. Mit AnthroWorks3D war dies nicht möglich. Daher wurde die Open Source Software *Blender*⁴ [12] genutzt. Diese sollten dann jeweils einzeln in AnthroWorks3D importiert werden. Dennoch gab es beim Laden weitere Probleme. So waren die Markierungen zwar zu sehen, aber das Modell war unsichtbar. Aus diesem Grund konnte im weiteren Verlauf daran nicht mehr weitergearbeitet werden.

TurboCAD. Aufgrund dieser Probleme beim Annotieren der anatomischen Landmarken, wurde für den Vergleich die Software TurboCAD hinzugezogen. Da anfangs die Markierungen in AnthroWorks3D nur einfarbig (grün) waren, stellten die verschiedenen Farben in TurboCAD einen Vorteil dar. Auch die direkten Beschriftungen an den Landmarken sind ein positiver Aspekt (siehe Abbildung 5.3), um die anatomischen Landmarken direkt zuordnen zu können. Die Markierung der Linea obliqua, wie sie schon in Abbildung 3.11

⁴<https://www.blender.org/>

zu sehen war, dauerte jedoch im Vergleich zu AnthroWorks3D länger. So betrug die Zeit in AnthroWorks3D nur einige Sekunden, in TurboCAD jedoch ein paar Minuten. Dafür konnte die Markierung exakter erfolgen. Beim Ramus mandibulae war dies jedoch anders: In AnthroWorks3D musste dessen Markierung aufgeteilt werden in zwei Ansichten (lateral und medial), aufgrund der fehlenden Rotationsmöglichkeit während des Markierungsprozesses. Aus diesem Grund konnte diese Landmarke nicht exakt dargestellt werden. Das gestaltete sich in TurboCAD anders und schneller: So konnte mit gedrückter Maustaste die Landmarke markiert werden. Dabei wurde der gesamte „Körper“ des Ramus mandibulae eingeschlossen. Das führte zu einer korrekten Markierung dieser Landmarke.

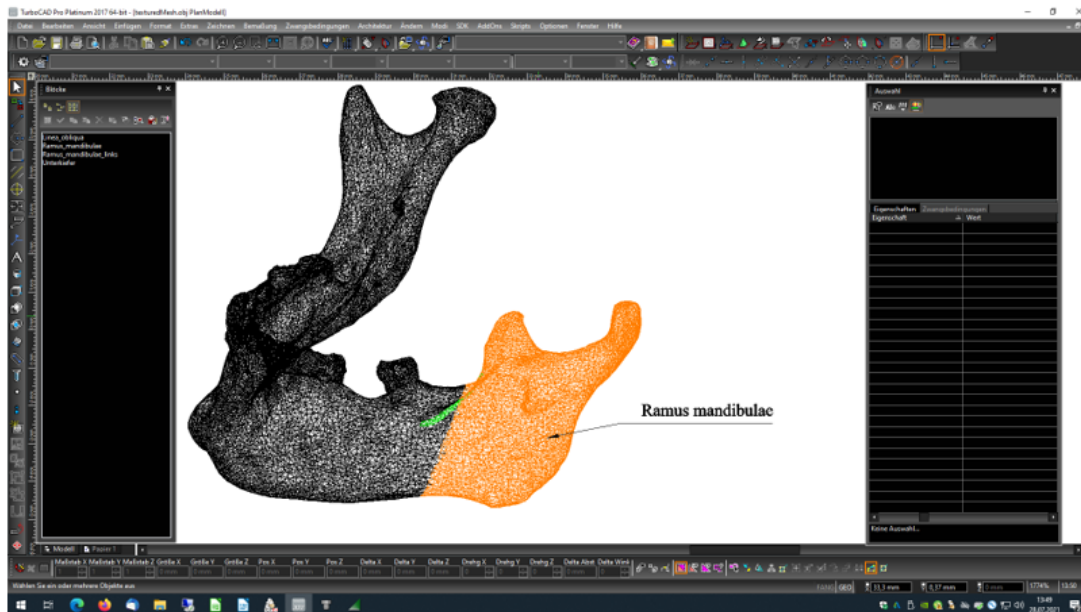
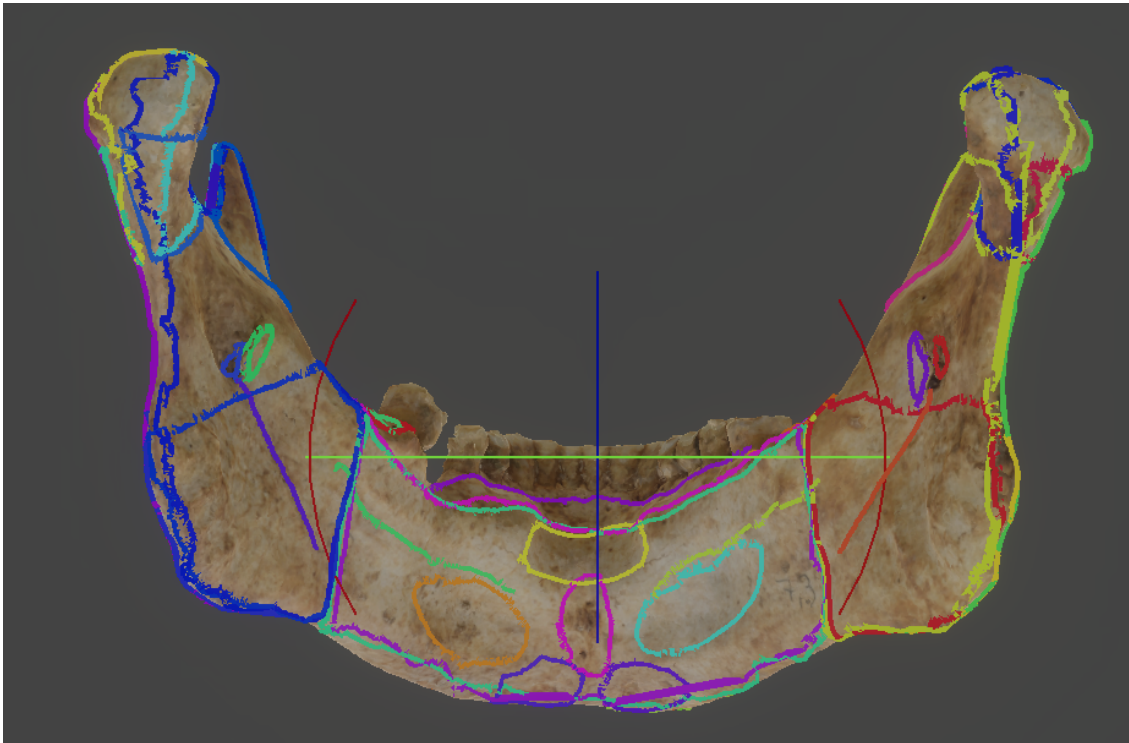


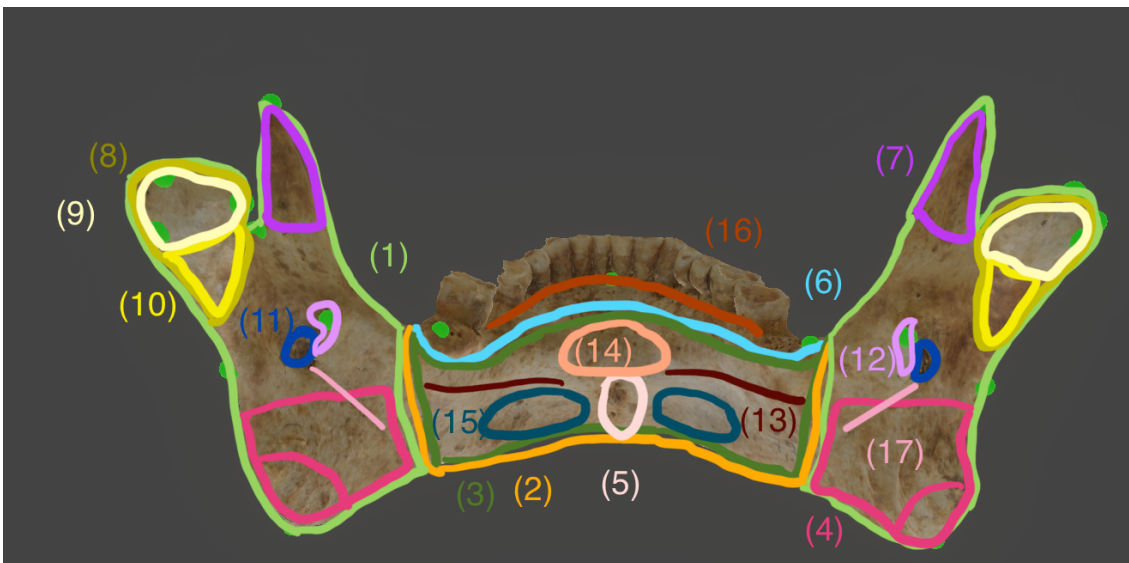
Abbildung 5.3.: Markierung und Beschriftung eines Teils der Mandibula in TurboCAD.

Jedoch traten auch Schwierigkeiten bei der Arbeit mit TurboCAD auf. Durch die Komplexität und Möglichkeiten der Funktionen des Programms ist eine lange Einarbeitungszeit nötig. Im Rahmen dieser Arbeit konnte diese umgangen werden mit Hilfe einer Person, die im Technikbereich mit diesem Programm arbeitet. Doch da auch Funktionen, wie das Einfügen der Definitionen, ergänzt werden sollten, war auch hierbei noch zusätzliche Zeit notwendig. Da die Mandibula außerdem ein weitaus detaillierteres Objekt als die der Bauteile darstellt, war deutlich mehr Rechenaufwand erforderlich. Aufgrund dessen musste das Vorhaben der Annotation einer kompletten Mandibula abgebrochen werden, da die Software immer größere Zeiten zum Laden brauchte. Der Intel(R) Core(TM) i7-8700K Prozessor mit 3,70 GHz und einem 16 GB Arbeitsspeicher ist dafür nicht mehr ausreichend. Insgesamt dauerte dieses „Experiment“ einen gesamten Arbeitstag.

Außerdem wurde eine „Idealmarkierung“ an Bildern der Mandibula vorgenommen (siehe Abbildung 5.4). Wie dabei zu erkennen ist, sind die Markierungen mittels iPad sauberer und genauer. Zudem sind gleiche Landmarken in derselben Farbe.



(a) Markierungen der anatomischen Landmarken durch AnthroWorks3D. Ansicht posterior



(b) Markierungen der anatomischen Landmarken mittels iPad. Ansicht posterior. (1) Ramus mandibulae, (2) Corpus mandibulae, (3) Basis mandibulae, (4) Angulus mandibulae, (5) Spinae mentales, (6) Pars alveolaris, (7) Processus coronoideus, (8) Processus condylaris, (9) Caput mandibulae, (10) Collum mandibulae, (11) Foramen mandibulae, (12) Lingula mandibulae, (13) Linea mylohyoidea, (14) Fovea sublingualis, (15) Fovea submandibularis, (16) Arcus alveolaris, (17) Sulcus mylohyoidea.

Abbildung 5.4.: Gegenüberstellung der (a) Ist-Markierung mit einer (b) Soll-Markierung.

Auch bei der Erstellung des Katalogs traten Probleme auf (siehe Abbildung 5.5). Da jede Markierung einer anatomischen Landmarke zugeordnet werden musste, ergaben sich hier Schwierigkeiten beim Erkennen und Zuordnen. In anderen Fällen gab es zusätzlich dazu noch Farbdopplungen, was die korrekte Zuweisung erschwerte und zur Unübersichtlichkeit beitrug. Dies sollte in AnthroWorks3D noch überarbeitet werden.

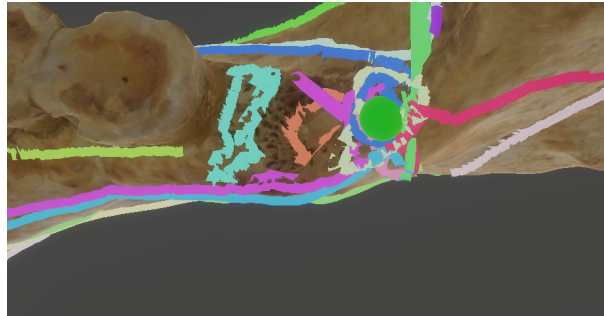


Abbildung 5.5.: Überlappende Markierungen an der osteometrischen Landmarke cfr.

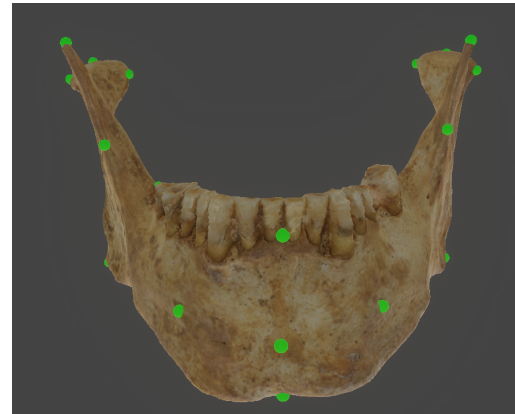
Schlussendlich gibt es hinsichtlich der Annotationen der anatomischen Landmarken einige Probleme, die noch behoben werden müssen. So könnten Markierungen, wie sie in TurboCAD möglich sind, ergänzt werden. Da ein Volumenmodell zu einem erhöhten Rechenaufwand führt, müsste hierbei ein Kompromiss gefunden werden. Dabei dürfte es auch ausreichen, wenn der „gesamte Körper“ markiert (s.o. Ramus mandibulae, Seite 72), werden könnte. Inwieweit dies realistisch ist, muss ebenfalls überprüft werden. Darüber hinaus könnten statt der zufällig-verteilten Farben bei jeder Implementierung der Knochen fest definierte Kolorierungen verwendet werden. So würden insgesamt weniger Farben gebraucht werden, wodurch Farbdopplungen und nur feine Nuancenunterschiede zwischen diesen vermieden werden könnten. Des Weiteren sollten ebenfalls sich überschneidende oder nahe beieinander liegende Landmarken starke Kontraste zueinander aufweisen.

5.2.2. Setzen der osteometrischen Landmarken

Das Setzen der osteometrischen Landmarken erfolgte ohne weitere Zwischenfälle und dauerte 20 bis 25 Minuten. Um die Qualität der Definitionen dieser Landmarken gewährleisten zu können, wurden diese von einer weiteren Person an der Schablonen-Mandibula RÖ-7,3 durchgeführt. Der besagten Person stand dafür nur die Definitionen der anatomischen und osteometrischen Landmarken zur Verfügung. Darüber hinaus erhielt sie die Mandibula mit bereits annotierten anatomischen Landmarken für die bessere Orientierung. Anschließend wurden die Annotationen miteinander verglichen (siehe Abbildungen 5.6 bis 5.8). Folgende Landmarken wurden falsch gesetzt: gn, id, go, ppra, cdl, cdm, cdp, parp, cs, lg und li. Insgesamt wurden 120 Minuten gebraucht. Außerdem wurde angegeben, dass die Fachsprache Probleme bereitet hat und somit Schwierigkeiten beim Verstehen der Definitionen auftraten. Später wurden der Person Bilder zu den Messpunkten gegeben, wodurch die Setzung der Landmarken korrekt erfolgte. Daraus ist zu entnehmen, dass die annotierten Bilder aus mehreren Perspektiven für das Verständnis notwendig sind, v.a. für Laien. Das betont auch die Bedeutung des erstellten Katalogs.

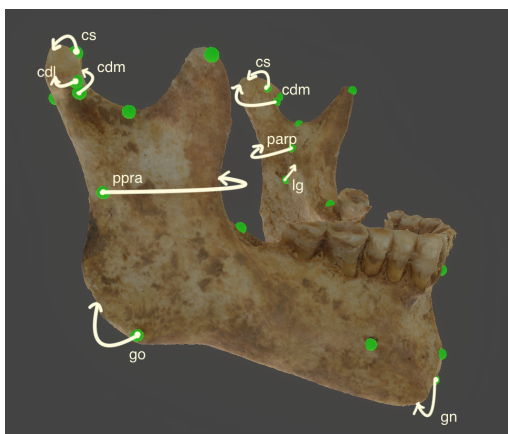


(a) Markiert von einer weiteren Person. Die falsch gesetzten Punkte sind beschriftet und der Pfeil zeigt an, wo sie hätten sein müssen.

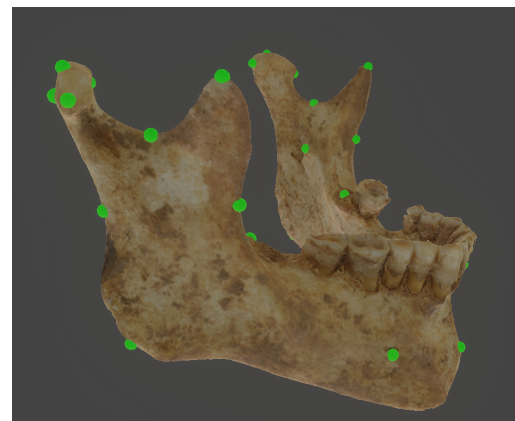


(b) Richtig gesetzte Landmarken.

Abbildung 5.6.: Gegenüberstellung der osteometrischen Landmarken in anteriorer Ansicht.

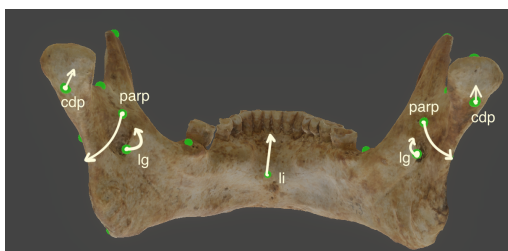


(a) Markiert von einer weiteren Person. Die falsch gesetzten Punkte sind beschriftet und der Pfeil zeigt an, wo sie hätten sein müssen.

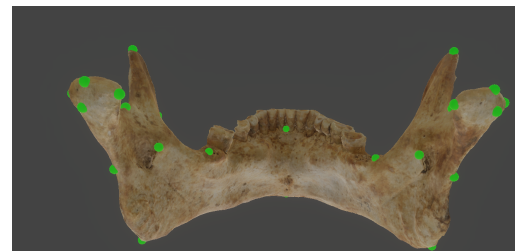


(b) Richtig gesetzte Landmarken.

Abbildung 5.7.: Gegenüberstellung der osteometrischen Landmarken in lateraler Ansicht.



(a) Markiert von einer weiteren Person. Die falsch gesetzten Punkte sind beschriftet und der Pfeil zeigt an, wo sie hätten sein müssen.



(b) Richtig gesetzte Landmarken.

Abbildung 5.8.: Gegenüberstellung der osteometrischen Landmarken in posteriorer Ansicht.

Unabhängig der Bewertung der osteometrischen Landmarken wurde eine weitere Anmerkung weitergereicht. So stockte die Software mehrmalig bei Nutzung des Touchpads auf. Diese Information wurde an das Medieninformatik-Team weitergegeben. aufhängen

5.2.3. Messen einer physischen und digitalen Mandibula

Wie schon im Kapitel 3.2 *Methoden* (ab Seite 27) erläutert, lag die physische Mandibula des Individuums RÖ-30,2 fragmentiert vor. Aus diesem Grund konnten nicht alle Messungen vorgenommen werden. Die fehlenden wurden am Individuum RÖ-7,3 durchgeführt, um die Fotos für jede Messstrecke zu haben (siehe A.2 *Ausgewählte Messstrecken* ab Seite 97). Des Weiteren konnten diese ebenfalls mit denen der digitalen Mandibula desselben Individuums verglichen werden. Bei den Messungen wurden jeweils die Zeitaufwände ermittelt (siehe Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1.: Vergleich des Zeitaufwandes der Annotationen und Messungen zwischen physischer und digitaler Mandibula. Durch die Digitalisierung dauert die Bearbeitung bei einer digitalen Mandibula länger. Die Messungen allein sind allerdings bei der physischen Mandibula zeitaufwendiger.

Schritte	Physische Mandibula	Digitale Mandibula
Auslegen	2 min	2 min
Photogrammetrie	entfällt	10 min
Berechnung	entfällt	4 h
Kalibrierung	entfällt	2 min
Setzung osteometrischer Landmarken	entfällt	20-25 min
Messungen pro Durchlauf	45 Minuten	25-30 min
Diskriminanzanalyse	20-30 min	20-30 min
Summe	67-77 min	69-89 min + 4 h 10 min (Digitalisierungsaufwand)

Zwar ist der Zeitaufwand einschließlich der Digitalisierung bei der digitalen Mandibula insgesamt länger, dafür aber bei wiederholtem Messen genauer (siehe digitaler Anhang). Außerdem waren bestimmte Messstrecken händisch schwieriger zu entnehmen. Das war bei Folgenden der Fall: ml-li, ml-cfr, id-cfr und cs-cfr. Dabei ist anzumerken, dass die osteometrische Landmarke cfr mit dem Messschieber generell schlecht erreichbar war. Die Winkel der Anguli mandibularum waren jedoch mit dem Winkelmesser leichter und genauer zu messen als mit AnthroWorks3D. Das liegt daran, dass der Basalrand der Mandibula auf den Winkelmesser gelegt werden konnte (siehe Abbildung A.44). Für AnthroWorks3D wäre eine solche Funktion ebenfalls hilfreich, um auch den Reliabilitätskoeffizienten bzw. das TEM zu reduzieren.

Weiterhin sei auf die Vorteile eines digitalen Knochens für das Messen verwiesen. Durch

Abrutschen bei den Messungen ist eine Beschädigung am Knochen möglich (z.B. Kratzspuren, Fragmentierungen). Jeder Knochen verschleißt, wenn er mehrmals von einer oder mehreren Personen zu Analysen verwendet wird. Das war ebenfalls während der Arbeit an den Mandibulae beobachtbar und äußerte sich darin, indem sich kleine Knochenpartikel vom Knochen ablösten. Dies war unvermeidbar. Diese Arten der Beschädigungen sind nur mit einem digitalen Zwilling zu verhindern. Darüber hinaus kann daran beliebig oft ohne nachhaltige Schäden oder Veränderungen am Objekt gearbeitet werden.

5.2.4. Automatische und händische Annotation einer digitalen Mandibula

Bei der Evaluation der automatischen Annotation wurden alle Mandibulae, bis auf die Schablonen-Mandibula (Rö-7,3) selbst, für die Zeitmessung neu implementiert. Nach der erfolgreichen Implementierung und Kalibrierung erfolgte das Nutzen des neu integrierten Schablonen-Tools. Die Schablone sowie die Pins wurden angepasst. Anschließend stand die Korrektur der osteometrischen Landmarken in den Views im Vordergrund. Die Diskriminanzfunktionen wurden ebenfalls berechnet.

Schablone. Die Schablone-Mandibula eignete sich nur begrenzt. Der Großteil der osteometrischen Landmarken musste trotz Größenanpassung der Schablone verschoben werden. Besonders auffällig waren die Processi coronoidea und Processi condylaria, da diese in der Morphologie starke Abweichungen aufwiesen.

Pin-Verschiebung. Beim Verschieben der Pins musste darauf geachtet werden, dass diese die Landmarke nicht neben die Mandibula „schießen“. Bei Landmarken wie phi war das komplizierter, da der Knochen an der Incisura mandibulae dünner ist, als an der restlichen Mandibula. In wenigen Fällen führte es dazu, dass der Knochen vom Pin nicht getroffen wurde und der Pin somit automatisch gelöscht wurde. Das sollte vermieden werden, da die Punkte sowie die Messstrecken sonst hätten neu definiert werden müssen und die Löschung nicht rückgängig zu machen war. Wenn es jedoch dazu kam, wurde der Schablonen-Prozess wiederholt. Bei folgenden Mandibulae war das der Fall: Rö-6,2; Rö-6,3; Rö-14,2 und Rö-29,13.

Bei Punkten wie das cfr kam es außerdem dazu, dass die Schablone die Landmarke überdeckte. Dafür waren jedoch die Views von Vorteil, um dies zu korrigieren. Weiterhin ist anzumerken, dass v.a die Landmarken an den Capitis mandibularum angepasst werden mussten, besonders für eine Seite der Mandibula. Passte die Schablone annähernd auf die eine Seite, war das jedoch häufig nicht der Fall für die andere. Auffällig war die Variabilität für die osteometrische Landmarke cr, aufgrund der unterschiedlichen Morphologie der Processi coronoidea. So konnten diese weitaus kürzer, länger, breiter, runder oder spitzer als die der Schablone sein. Teilweise war es auch der Fall, dass sie weiter nach innen oder außen ragten. Da die Pins nur innerhalb der Schablone verschoben werden konnten, war dies an dieser Landmarke problematisch und musste teilweise gezielt an eine andere Stelle des Knochens platziert werden, um eine Löschung zu vermeiden.

Die osteometrischen Landmarken eigneten sich somit unterschiedlich gut für die automatische Annotation und können daher in eine Rangfolge der Eignung gebracht werden:

- | | | |
|---------|-----------------|----------------------|
| 1. ml | 4. id, li | 7. cdp |
| 2. pg | 5. lg, ppra, gn | 8. cs, cdl, cdm, phi |
| 3. parp | 6. cfr, go | 9. cs |

Das Beenden der Schablonen- und Pinanpassung musste schließlich im Programm bestätigt werden. Wurden bestimmte Landmarken nicht getroffen, öffnete sich anschließend ein Fenster mit den aufgelisteten Landmarken, die nun automatisch gelöscht waren. Nun war es jedoch unmöglich zur Schablonenanpassung zurückzukehren, weswegen die Landmarken und Messstrecken entweder neu definiert oder alles von Neuem bearbeitet werden musste. Hier wäre es praktikabel ein Zurückkehren zur Anpassung zu ermöglichen.

Views. In den Views konnten nun die Landmarken mit gedrückter Maustaste zur richtigen Stelle und dem entsprechendem Werkzeug-Icon gezogen werden. Die Messstrecken mussten anschließend einzeln verschoben werden. Dieser Vorgang kann dazu führen, dass die Endpunkte der Messstrecke nicht immer exakt den Mittelpunkt der osteometrischen Landmarke treffen. Ein zusammenhängendes Verschieben aller Endpunkte der Messstrecken zusammen mit der osteometrischen Landmarke wäre an dieser Stelle wünschenswert und sollte noch in die Software implementiert werden.

Distanzberechnungen. Die Berechnungen der Distanzen erfolgte automatisch bei jeder Verschiebung. Für die Diskriminanzfunktionen mussten die einzelnen Messstrecken, wie bereits im Kapitel [Views](#) (ab Seite 43) erwähnt, herausgesucht werden. Bei den Diskriminanzfunktionen gab es außerdem Messstrecken ohne Seitenbezug (z.B. go.gn). Für diese konnte die nutzende Person die Seite selbst wählen.

Zeitaufwand. Zudem stellte sich heraus, dass durch die automatische Annotation trotz der notwendigen Korrektur bei den osteometrischen Landmarken Zeit gespart werden kann (siehe Tabelle 5.2). Auch ohne Digitalisierungsprozess schneidet diese zeitlich besser ab, als die händische Messung der physischen Mandibula (siehe Tabelle 5.1). So beträgt die Zeitersparnis zwischen letzteren beiden 37 bis 47 Minuten. Des Weiteren ist ersichtlich, dass der gesamte automatische Annotationsprozess ähnlich viel Zeit wie eine Messung pro Durchlauf der händischen Annotation in Anspruch nimmt und 15 Minuten schneller ist, als eine Messung pro Durchlauf an der physischen Mandibula. Je nachdem wie viele Messdurchläufe stattfinden sollen, kann die Zeit der Digitalisierung aufgeholt werden und am Ende zeitlich effektiver sein als die Messungen der physischen Mandibula.

Table 5.2.: Vergleich des Zeitaufwandes der Annotationen und Messungen zwischen händischer und automatischer Annotation an einer digitalen Mandibula. Die automatische Annotation ist zeiteffizienter als die händische Annotation. Die Zeitersparnis erfolgt hauptsächlich durch die Automatisierung der Distanzberechnung zwischen den Landmarken.

Schritte	Automatische Annotation	Händische Annotation
Auslegen	2 min	2 min
Photogrammetrie	10 min	10 min
Berechnung	4h	4 h
Kalibrierung	2 min	2 min
Setzung osteometrischer Landmarken	20 min	20-25 min
Messungen pro Durchlauf	automatisch	25-30 min
Diskriminanzanalyse	10 min	20-30 min
Summe	30 min + 4 h 10 min (Digitalisierungsaufwand)	59-79 min + 4 h 10 min (Digitalisierungsaufwand)

5.3. Messfehler und Fehlerquellen

Für die Qualitätssicherung wurden die Fehlerberechnungen mit der am weit verbreitetsten Technik des TEMs durchgeführt [91], [82]. Weiterhin wurden die Reliabilitätskoeffizienten bestimmt, wobei die Varianz der messenden Personen geschätzt wird, welche nicht auf Messfehler zurückzuführen ist [23]. Wie bereits erwähnt gelten Werte unter fünf Prozent beim rTEM und über 0,95 beim Reliabilitätskoeffizienten in der Literatur als akzeptabel [82], wohingegen Perini et al. [91] eine Ausnahme bilden. Hier wurden die Werte für den rTEM zwischen erfahrenen und unerfahrenen messenden Personen sowie zwischen Intra- und Inter-Error-Observer unterschieden. In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse aus dem Kapitel 4.4 Fehlerberechnung (ab Seite 56) diskutiert.

Händisch digitale Messungen. Für die 60 händisch-digital vorgenommenen Messungen aller Individuen liegen insgesamt nur zwei über den akzeptablen fünf Prozent für die Messstrecke cdl-cdm links. Mit 7,98% (II-III) und 7,66% (I-III) liegen diese außerdem deutlich über den Werten der rechten Seite. Zudem sind hierbei auch die Reliabilitätskoeffizienten auffällig niedrig mit 0,311 (II-III) und 0,36 (I-III). Da diese Werte für das Messreihenpaar I-II nicht zutreffen, ist davon auszugehen, dass sich die Abweichung in der dritten Messreihe befindet. Das deckt sich mit den Messungen des Individuums RÖ-8,3 für diese Messstrecke. So wurden für die erste Messreihe 16,7 mm, für die zweite 16,4 mm und für die dritte 24,3 mm gemessen. Für die rechte Seite bewegen sich die Werte zwischen 17,7 mm und 18,2 mm. Wird das Individuum RÖ-8,3 für die Messreihenpaare I-III und II-III der Messstrecke cdl-cdm entfernt, liegen die Werte des rTEMs bei 1,45% und 1,63%, die Reliabilitätskoeffizienten bei 0,96 und 0,97 und damit im akzeptablen Bereich. Dieser

Messfehler könnte aufgrund von einer „Messmüdigkeit“ an diesem Individuum aufgetreten sein. Ebenfalls ist ein Tippfehler bei der ersten Ziffer denkbar.

Die gleiche Problematik befindet sich auch bei der Messstrecke ml(r)-cr(r) (siehe [A.3](#), ab Seite 133). Jedoch sind hierbei die rTEM-Werte im akzeptablen Bereich. Auffällig ist bei dieser Messstrecke, dass bei dem Individuum RÖ-7,1 der rechte Processus coronoideus nicht exakt an den Ramus mandibulae geklebt wurde. Das kann der Grund für den nicht akzeptablen Reliabilitätskoeffizienten sein.

Für die Messstrecken ml(r)-parp(r), ml(l)-gn sowie id-cs(l) sind die Reliabilitätskoeffizienten bei den Messreihenpaaren I-II und I-III im nicht akzeptablen Bereich, wobei das auf Messfehler in der ersten Messreihe zurückzuführen ist. Hierbei könnte die Unsicherheit beim ersten Durchlauf der Grund gewesen sein, die sich mit den nächsten Durchläufen legte. Außerdem ist anzumerken, dass zwischen dem Messen der ersten Messreihe und den weiteren Messreihen ein Zeitabstand von zwei Monaten lag.

Die Winkel weisen hingegen bei allen Messreihenpaare zu niedrige Reliabilitätskoeffizienten auf. Daraus kann entnommen werden, dass diese nicht eindeutig definiert sind oder die Messung in AnthroWorks3D in Bezug auf Winkeln fehlerhaft ist. Erwähnenswert sind hierbei auch die Schwierigkeiten beim Messen der Anguli in AnthroWorks3D. Für Winkel müssen drei Punkte gesetzt werden, wobei der Winkel an der Stelle des zweiten Punktes gemessen wird. Da diese Punkte jedoch nicht in der Definition enthalten sind und die Anguli teils ausgestülpt oder teilweise minimale Verschleißspuren aufweisen, führte das zu Unsicherheiten während des Setzens. Um dieses Problem zu umgehen, müssen diese Punkte entweder in der Definition aufgenommen oder das Verfahren der Winkelmessung in AnthroWorks3D geändert werden, wie schon im Abschnitt [5.2.3 Messen einer physischen und digitalen Mandibula](#) (Seite 76) erwähnt.

Vergleich zwischen händisch-digitaler und händisch-physischer Messung. Bei den ausgewählten Messstrecken zwischen der händisch-digital und physisch gemessenen Mandibula von RÖ-7,3 gibt es wenige nicht akzeptable Reliabilitätskoeffizienten. Wie bereits in den Ergebnissen beschrieben, ist die Messstrecke ml(r)-parp(l) aufgrund ihrer niedrigen Reliabilitätskoeffizienten auffällig. Die benannte Messstrecke sorgte ebenfalls für die größten Differenzen zwischen beiden Verfahren (siehe Tabelle 5.3). Das kann mit der besseren Einschätzung Landmarkenlage von parp bei der physischen Messung begründet werden. Hierbei kann die Mandibula während der Bestimmung dieser Landmarke beliebig gedreht und ertastet werden, was bei der Arbeit mit AnthroWorks3D nicht möglich ist.

Tabelle 5.3.: Differenzen der Messreihenmittelwerte zwischen der händisch digital und der physisch gemessenen Mandibula R \ddot{o} -7,3. (r) = rechts, (l) = links. Werte angegeben in cm.

Messstrecke	Differenz	Messstrecke	Differenz
ml(r)-go(r)	0,10	go-cdp (l)	0,11
ml(r)-go(l)	0,10	cs-cr (r)	0,05
ml(r)-cdm(r)	0,04	ppra-parp (l)	0,04
ml(r)-cs(r)	0,14	cdm-cdm	0,08
ml(r)-parp(l)	0,26	cdl-cdm (r)	0,00
id-gn	0,03	phi-cs (r)	0,08
id-cfr(r)	0,03	gn-go (l)	0,02
id-cfr(l)	0,06	cdp-cs (r)	0,04
go-cs (r)	0,18	go-go	0,15

Messungen der hinzugezogenen Person. Für die Intra-Observer-Error der hinzugezogenen Person konnte kein Reliabilitätskoeffizient bestimmt werden, da nur ein Individuum (R \ddot{o} -7,3) gemessen wurde. Dadurch war die Ermittlung der Variation innerhalb mehrerer Individuen nicht möglich. Auffällig hierbei ist, dass sich 15-20% der rTEM-Werte im nicht akzeptablen Bereich befinden, wobei diese Anteile für die ersten Fehlerberechnungen (s.o.) geringer waren. Die hohen rTEM-Werte zeigten Messunsicherheiten bei den Messstrecken go-cs, go-cdp, cdl-cdm und cdp-cs. Da diese bei den Messreihenpaaren I-III und II-III am höchsten waren, kann davon ausgegangen werden, dass die Messfehler in der dritten Messreihe auftraten, was sich mit den aufgenommenen Daten deckt. Bei der Messstrecke cdl-cdm(r) bestehen die Messunsicherheiten in der ersten Messreihe, bei den Messstrecken go-cs und go-cdp bei allen und bei ml(r)-go(r) in der zweiten. Werden die Mittelwerte aller rTEM-Werte zusammen (siehe Tabelle 4.9, Seite 59) berechnet, ist zu erkennen, dass diese bei den Messreihenpaaren I-III und II-III am höchsten sind. Daraus kann geschlossen werden, dass die dritte Messreihe die meisten Messfehler beinhaltet. Grund dafür könnte eine „Messmüdigkeit“ sein. Weiterhin ist auffällig, dass tendenziell Messstrecken mit der osteometrischen Landmarke go im nicht akzeptablen Bereich liegen. Das deutet darauf, dass es v.a. bei dieser Landmarke Unsicherheiten beim Setzen gab.

Erwähnenswert ist außerdem, dass die hinzugezogene Person unerfahren war. Wie eingangs schon beschrieben, wurden die rTEM-Werte bei Perini et al. [91] zwischen erfahren und unerfahren unterschieden. Eine unerfahrene Person kann dabei mehr Messfehler machen als eine erfahrene. Allerdings wurde dies auf die entsprechenden Messungen angepasst. Dieses Prinzip könnte auch hier vollzogen werden.

Vergleich der Messfehler zwischen zwei Personen. Auch beim Inter-Observer-Error konnten keine Reliabilitätskoeffizienten ermittelt werden, da nur Messungen des Individuums R \ddot{o} -7,3 miteinander verglichen wurden. Wie schon bei den Ergebnissen erwähnt, sind die rTEM-Werte der Messstrecken go-cs, go-cdp, cdl-cdm und v.a. cdp-cs beim Inter-Observer-Error auffällig groß. Das kann v.a. daran liegen, dass schon die Intra-Observer-Error der hinzugezogenen Person an denselben Messstrecken auffallend hoch waren. Darüber hinaus sind die Abweichungen der Messreihenmittelwerte zwischen beiden Personen bei diesen Messstrecken hoch, wobei hier auch die Messstrecken cdl-cdl

und der rechte Angulus nicht unerwähnt bleiben sollten (siehe Tabelle 5.4). Das könnte an unterschiedlichen Vorstellungen der Lage der osteometrischen Landmarken liegen. Des Weiteren ist ebenfalls auffällig, dass es bei den Messstrecken go-cdp und cdp-cs im Mittel deutliche Unterschiede zwischen der rechten und linken Seite gab (siehe Abbildung 5.9). Grund dafür könnten Messunsicherheiten auf einer der beiden Seiten sein. Ebenfalls weist auch der Angulus (r) eine hohe Differenz zwischen beiden Personen auf, der auf der linken Seite nur halb so hoch ist (siehe Tabelle 5.4). Das könnte ebenso auf Messunsicherheiten und die oben genannten Problematiken zurückzuführen sein. Darüber hinaus ist auch hier zu erkennen, dass v.a. Messstrecken mit involvierter osteometrischer Landmarke go auffällig sind. Daraus kann geschlossen werden, dass es Unterschiede beim Setzen dieser Landmarke gab. Dennoch muss auch auf die Messunsicherheiten der hinzugezogenen Person an diesem Punkt hingewiesen werden.

Tabelle 5.4.: Differenzen der Messreihenmittelwerte beider Personen an der Mandibula R \ddot{o} -7,3. (r) = rechts, (l) = links. Werte angegeben in cm, Winkel in $^{\circ}$. Fett markiert sind diejenigen, die auffällig hoch sind.

Messstrecke	Differenz	Messstrecke	Differenz	Messstrecke	Differenz
ml-ml	0,02	ml(r)-cfr(l)	0,06	cr-cfr (l)	0,00
ml(r)-id	0,05	ml(r)-phi(r)	0,01	ppra-parp (r)	0,14
ml(r)-gn	0,04	ml(r)-phi(l)	0,02	ppra-parp (l)	0,10
ml(r)-go(r)	0,41	ml(r)-ppra(r)	0,02	cdl-cdl	0,60
ml(r)-go(l)	0,34	ml(r)-ppra(l)	0,08	cdm-cdm	0,26
ml(r)-pg	0,01	ml(r)-parp(r)	0,23	cr-cr	0,05
ml(r)-lg(r)	0,04	ml(r)-parp(l)	0,17	cdl-cdm (r)	0,35
ml(r)-lg(l)	0,06	ml(l)-id	0,08	cdl-cdm (l)	0,48
ml(r)-li	0,10	ml(l)-gn	0,11	phi-cs (r)	0,07
ml(r)-cr(r)	0,10	id-gn	0,29	phi-cs (l)	0,13
ml(r)-cr(l)	0,02	id-cs (l)	0,01	phi-cr (r)	0,09
ml(r)-cdl(r)	0,26	id-cfr(r)	0,03	phi-cr (l)	0,07
ml(r)-cdl(l)	0,33	id-cfr(l)	0,00	gn-go (r)	0,59
ml(r)-cdm(r)	0,10	go-cs (r)	0,78	gn-go (l)	0,73
ml(r)-cdm(l)	0,32	go-cs (l)	0,82	cdp-cs (r)	0,35
ml(r)-cdp(r)	0,29	go-cdp (r)	1,09	cdp-cs (l)	0,09
ml(r)-cdp(l)	0,06	go-cdp (l)	0,73	go-go	0,23
ml(r)-cs(r)	0,08	cs-cr (r)	0,07	Angulus (r)	17,05
ml(r)-cs(l)	0,15	cs-cr (l)	0,18	Angulus (l)	8,45
ml(r)-cfr(r)	0,07	cr-cfr (r)	0,01	go-gn-go	3,92

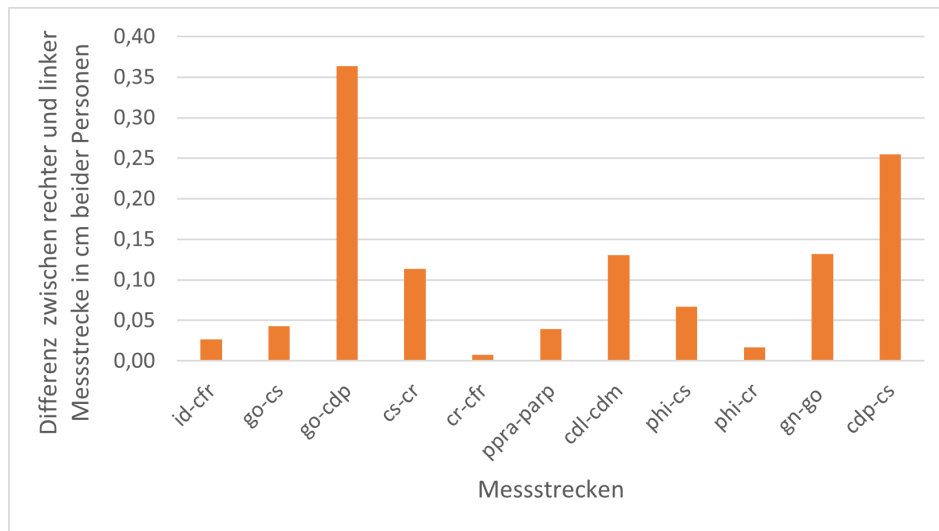


Abbildung 5.9.: Übersicht zu den Differenzen der rechten und linken Seite. Hierfür wurden die Mittelwerte der drei Messreihen jeder Person genommen und die Differenzen jeder Messstrecke zwischen den Personen ermittelt (siehe Tabelle 5.4). Anschließend wurden die Differenzen zwischen rechts und links ermittelt.

Vergleich zwischen händisch digitaler und automatisch digitaler Messung. Auch beim Vergleich der automatisch berechneten Distanzen der Messstrecken mit den händisch ermittelten der digitalen Mandibulae aller Individuen, befinden sich Ausreißer beim Reliabilitätskoeffizienten. Wie auch schon in den Ergebnissen erwähnt, weisen die Messstrecken ml(r)-go(r), cs-cr (r), cdp-cs (r) und go-cs die niedrigsten Reliabilitätskoeffizienten auf (siehe Tabelle A.9, ab Seite 143). Das deckt sich mit den Differenzen zwischen den händisch und automatisch ermittelten Messstrecken (siehe Abbildung A.46, Seite 144). Werden die Differenzen zwischen händischer und automatischer Ermittlung für jedes Individuum einzeln dargestellt, ist auffällig, dass v.a. die Differenzen beim Individuum RÖ-6,3 hoch sind (siehe Tabelle 5.5). Aber auch bei den Individuen RÖ-6,2; RÖ-8,4 und RÖ-29,13 ist der überwiegende Teil hoch. Das deckt sich größtenteils mit den Anteilen der Summen aller Messstrecken-Differenzen zu jedem Individuum (siehe Abbildung 5.5). Ausnahme bildet hier das Individuum RÖ-8,4. Bezogen auf die Summe aller Messstrecken-Differenzen nimmt es nur einen geringen Anteil ein.

Dass die Unterschiede beim Individuum RÖ-6,3 so groß sind, könnte auf Unsicherheiten beim Setzen der osteometrischen Landmarken zurückzuführen sein. Diese Mandibula weist ausgestülpte Anguli mandibularum auf. Aus diesem Grund können Fehler bei der Landmarke go aufgetreten sein, aufgrund des dadurch erfolgten Abschätzens. Weiterhin war auffällig, dass die Schablone darauf nicht gut anpassbar war und die Landmarken cfr und pg aufgrund einer geringen Ausprägung ebenfalls nur abschätzbar waren. Um das genauer zu untersuchen bedarf es weitere Untersuchungen durch z.B. hinzuziehen einer weiteren Person speziell für dieses Individuum. Dort könnte analysiert werden, ob diese Problematik auch hier auftritt.

Weiterhin ist auffällig, dass es v.a. die rechte Seite betrifft, was ebenfalls auf Messunsicherheiten zurückzuführen sein kann. Durch Seitenunterschiede (z.B. mit unterschiedlich

starker Ausprägung der Landmarken) ist es möglich, dass diese Unsicherheiten zustande kamen. Insgesamt lässt sich sagen, dass Messstrecken, die die osteometrische Landmarke cfr enthalten einen niedrigen Reliabilitätskoeffizienten haben. Grund dafür kann sein, dass die anatomischen Landmarken bei den Mandibulae mit automatischer Setzung nicht markiert waren. Bei manueller Markierung wurde diese immer genutzt. Da die anatomischen Landmarke nicht auf die Schablone übertragen wurden und die Zeit des Verfahrens gemessen werden musste, fand eine erneute Kalibrierung der Mandibulae statt. Darüber hinaus weisen Messstrecken mit den osteometrischen Landmarken go und gn ebenfalls niedrigere Reliabilitätskoeffizienten auf. Erwähnenswert ist hierbei die Tabelle 3.2 (Seite 31), da diese häufig als unsicher angemerkt wurden. Auffällig sind hierbei jene Individuen mit ausgestülpten Anguli mandibularum. Die Mandibulae mit den größten Differenzanteilen (siehe Abbildung 5.10) weisen diese anatomische Skelettvariante ebenfalls auf.

Tabelle 5.5.: Übersicht zu den Differenzen aller einzelnen Individuen aller auffälligen Messstrecken. Fett markiert sind diejenigen, welche die höchsten Werte aufweisen. MW = Mittelwert der Differenzen aller Individuen, Messstr. = Messstrecke, RÖ = Individuum aus der Rödelheimer Skelettsammlung.

Messstr./RÖ	6,2	6,3	7,1	7,2	8,2	8,3	8,4	10,4	14,2	15,3	29,13	MW
ml(r) - go(r)	0,43	1,70	0,06	0,06	0,11	0,12	0,37	0,07	0,34	0,05	0,45	0,34
go-cs (r)	0,58	2,61	0,04	0,05	0,01	0,03	0,35	0,09	0,51	0,01	0,66	0,45
go-cdp (r)	0,64	1,67	0,38	0,28	0,04	0,11	0,19	0,30	0,65	0,37	0,38	0,45
cs-cr (r)	0,02	2,22	0,04	0,19	0,07	0,03	0,27	0,23	0,16	0,11	0,14	0,32
gn-go rechts	0,66	1,04	0,11	0,06	0,15	0,16	0,28	0,08	0,61	0,11	0,40	0,33
gn-go links	0,52	0,21	0,07	0,16	0,39	0,57	0,01	0,75	0,03	0,33	0,59	0,33

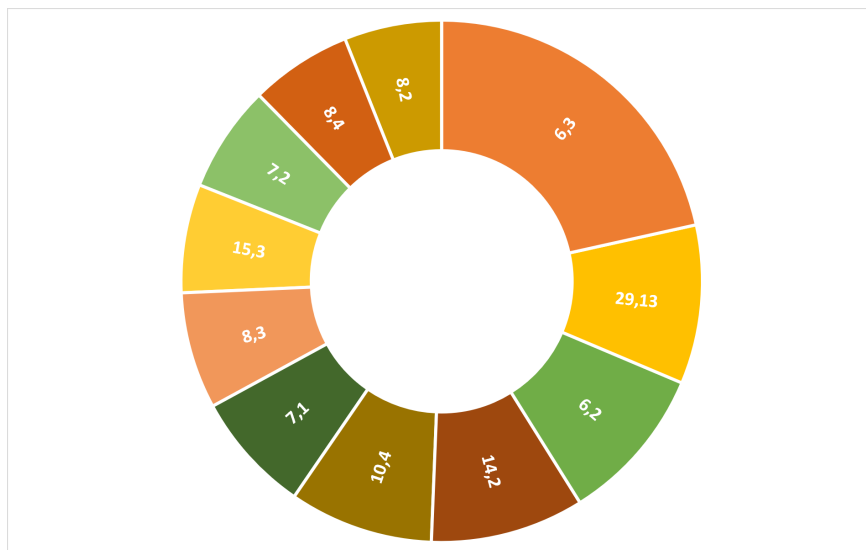


Abbildung 5.10.: Übersicht der Differenzanteile zu jedem Individuum zwischen den händisch und automatisch ermittelten Messstrecken pro Individuum. Dabei wurden zunächst die Differenzen aller Messstrecken für jedes Individuum berechnet. Anschließend wurden pro Individuum alle Messstrecken summiert, um jenes zu ermitteln, welches die höchsten Differenzen aufweist.

Die Landmarke cs hingegen ergibt mit der Landmarke ml zusammen einen hohen Reliabilitätskoeffizienten, in Kombination mit cr und go jedoch nicht. Zudem ist es empfehlenswert die automatischen Messungen genauso oft durchzuführen wie die händischen. Weiterhin ist anzumerken, dass die Bearbeitung der Mandibulae bei der automatischen Annotation einige Wochen später stattfand. Hierbei könnte es hilfreich sein, die osteometrischen Landmarken an der händisch-digitalen Mandibula erneut zu setzen, um die Variationen des Setzens zu untersuchen.

Zusammenfassung. Zusammenfassend lässt sich Folgendes sagen: Für die händisch-digital vorgenommenen Messungen sind die Intra-Observer-Error überwiegend unauffällig, außer für die Messstrecke cdl-cdm (l), aufgrund eines Messfehlers in der dritten Messreihe. Die Reliabilitätskoeffizienten befinden sich ebenfalls überwiegend im akzeptablen Bereich. Bei den meisten auffälligeren Messstrecken ist zu Beginn eine Unerfahrenheit zu vermerken. Des Weiteren gab es Schwierigkeiten beim Ermitteln der Anguli. Die Messfehler sind für diese Fehlerberechnung insgesamt am niedrigsten. Beim Vergleich zwischen der digital und physisch gemessenen Mandibula ist die Messstrecke ml(r)-parp(l) auffällig. Grund dafür kann die bessere Einschätzung der Landmarkenlage sein. Bei den Messstrecken go-cs, go-cdp, cdl-cdm und cdp-cs der hinzugezogenen Person können Messunsicherheiten zu vermerkt werden, die auch bei der Ermittlung des Inter-Observer-Error markant sind. Auch hier stellen sich Messstrecken mit der Landmarke go als auffälliger heraus. Das trifft außerdem auf den Vergleich zwischen der händisch-digitalen und automatischen Ermittlung der Messstrecken zu. Dort ist das Individuum R \ddot{o} -6,3 auffällig, welches für die höchsten Differenzen zwischen beiden Verfahren sorgt. Hierfür wäre das Hinzuziehen einer weiteren Person, das Durchführen mehrerer Messreihen an den automatisch ermittelten sowie eine erneute Messung an den händisch-digitalen Mandibulae empfehlenswert.

5.4. Statistische Analysen

Boxplot-Diagramme. Die Boxplot-Diagramme (siehe [A.6 Boxplot-Diagramme](#), ab Seite 145) geben für jede einzelne Messstrecke alle wichtigen Lageparameter wieder. Ausreißer zeigen dabei die Messstrecken id - cs rechts, id-cfr links, go-cs, go-cdp, und phi-cs sowie am rechten Angulus. Den außerhalb des Whisker liegenden Punkt der Messstrecke id - cs rechts bildet das Individuum R \ddot{o} -30,2. Das kann auf einen Messfehler während der Messung am physischen Skelett hinweisen. Jedoch ist es ebenso möglich, dass es sich um eine tatsächliche Abweichung handelt. Für die Ausreißer der Messstrecke id - cfr links sind die Individuen R \ddot{o} -7,3 und R \ddot{o} -8,2 verantwortlich, die zwar auch auf der rechten Seite die niedrigsten Werte aufweisen, sich dort jedoch nicht im Ausreißerbereich befinden und 0,5 cm länger sind. Das könnte ebenso auf tatsächliche Messunterschiede hindeuten, wobei die Differenz relativ groß ist. Eine Erklärung dazu könnte sein, dass es mehrere Individuen in der Nähe dieses Bereichs gibt. Um dies genauer einzugrenzen, muss eine detailliertere Untersuchung mit einer größeren Stichprobe erfolgen. Bei der maximalen Ramushöhe go-cs ist das Individuum R \ddot{o} -6,2 für beide Seiten ein Ausreißer. Für die Messstrecke go-cdp lässt sich feststellen, dass das Individuum R \ddot{o} -6,2 ebenfalls einen

Ausreißer darstellt. Jedoch sind die Unterschiede zwischen rechts und links mit 0,54 cm relativ hoch. Auch hier könnte eine Erklärung dafür sein, dass es noch mehrere Individuen in der Nähe dieses Bereichs gibt, was dringend mit einer größeren Stichprobe untersucht werden sollte. Somit lässt sich sagen, dass das Individuum R \ddot{o} -6,2 im Vergleich zur restlichen Stichprobe relativ hohe Rami mandibularum aufweist. Bei der Messstrecke phi-cs gibt es für die linke Seite zwei Ausreißer. Den oberen bildet auch hier das Individuum R \ddot{o} -6,2, welches für die rechte Seite jedoch keinen bildet und einen Unterschied von 0,26 cm ergibt. Grund hierfür kann die unterschiedliche Tiefe der Incisura mandibulae auf beiden Seiten. Der untere Ausreißer liegt für das Individuum R \ddot{o} -10,4 vor, welcher einen Unterschied von 0,48 cm zwischen rechts und links aufweist. Auch hier könnte die Erklärung s.o. greifen und sollte daher mit einer größeren Stichprobe untersucht werden. Unabhängig davon können die Daten dann auch auf eine vorliegende Normalverteilung getestet werden, auch wenn asymmetrische Boxplots (viele Ausreißer oder ungleichmäßig verteilte Whisker) auf das Nicht-Vorliegen einer Normalverteilung hindeuten können. Aufgrund der kleinen Stichprobe ist es jedoch nicht möglich, eine solche Aussage zu treffen.

Unterschiede zwischen den Seiten. Da anhand der Ausreißer Unterschiede zwischen rechts und links deutlich wurden, fand hierfür eine genauere Untersuchung statt (siehe Abbildung 4.2, Seite 48). Die Messstrecken id-cfr und go-cdp sind hierbei die auffälligsten. Dabei kann es sich um tatsächliche Unterschiede zwischen den Seiten der Mandibula. Hierzu bedarf es jedoch noch weiteren Untersuchungen mit einer größeren Stichprobe.

Standardabweichungen. Die größten Standardabweichungen ergeben sich für id - cs rechts, go-go, cdl-cdl und cr-cr (siehe Abbildung 4.3, Seite 49). Auffällig ist hierbei, dass es sich v.a. um die Messstrecken zur Breite der Mandibula handelt. Daraus könnte für die vorliegende Stichprobe gezogen werden, dass sich die Breite der Mandibulae am stärksten zwischen den Individuen unterscheidet. Jedoch sollte die Messstrecke id - cs rechts nicht unerwähnt bleiben, da diese mit einem Ausreißer versehen war. Dieser könnte hierbei der Grund der großen Standardabweichung sein und somit die Interpretation der Streuung verzerren. Die Reliabilitätskoeffizienten waren jedoch unauffällig, weswegen hier keine Messfehler berücksichtigt werden müssen.

Abweichungen zum Durchschnitt. Um das Individuum mit den stärksten bzw. geringsten Abweichungen ggü. des Durchschnitts zu finden, wurden deren aufsummierte Messstrecken mit dem Mittelwert der aufsummierten Messstrecken aller Individuen verglichen und die absolute Differenz daraus berechnet. Die „durchschnittlichste“ Mandibula, bei denen alle Messstrecken gemessen werden konnten, ist die Schablonen-Mandibula R \ddot{o} -7,3. Das lässt vermuten, dass es sich bei dieser um die durchschnittliche Mandibula dieser Stichprobe handelt, was das Ziel der Suche nach der Schablonen-Mandibula war. Bei den Messstrecken, die bei allen Individuen gemessen werden konnten, ist jedoch das Individuum R \ddot{o} -10,4 am „durchschnittlichsten“. Die Mandibula von R \ddot{o} -7,3 folgt danach. Da bei dem Individuum R \ddot{o} -10,4 ebenfalls alle Messstrecken messbar waren, kann daraus abgeleitet werden, dass diese nur für die gemeinsamen Messstrecken relativ durchschnittlich ist. Die größten Abweichungen ergeben sich bei dem Individuum R \ddot{o} -15,3. Jedoch sei auch zu beachten, dass bei größeren Abweichungen Messfehler eine Rolle spielen

können, da diese in der Mittelwert-Berechnung mit einfließen.

Gesamtgröße. Für die eindimensionale „Gesamtgröße“ der Mandibulae lässt sich das Individuum RÖ-7,1 als die größte Mandibula bestimmen, das Individuum RÖ-15,3 als die Kleinste. Bei der Arbeit an den digitalen Mandibulae war jedoch auffällig, dass das Individuum RÖ-8,3 kleiner als die Platzhalter-Mandibula war und bezüglich der Größe am auffälligsten war. Jedoch handelt es sich dabei um eine subjektive Wahrnehmung. Bei der Analyse der Gesamtgröße ist im Gegensatz zu den vorhergehenden Berechnungen bezüglich der Abweichungen das Individuum RÖ-6,3 am „durchschnittlichsten“.

Testen auf mögliche Zusammenhänge. Für das Testen auf mögliche Zusammenhänge (siehe ab Seite 51) innerhalb der Stichprobe, wurde stets eine Messstrecke in den Diagrammen nach der Größe sortiert und Trendlinien eingezeichnet. Bei den Veränderungen der Gonia in Bezug auf das rechte Mentale sind die Trendlinien beide leicht monoton steigend. Daraus lässt sich ableiten, dass bei größeren Abständen zwischen ml rechts - go rechts auch die Distanzen zwischen ml rechts und go links zunehmen. Das kann auf eine Korrelation hindeuten und muss mittels einer größeren Stichprobe und einer Korrelationsrechnung genauer untersucht werden.

Dieses Verhalten trifft ebenfalls auf den Vergleich zwischen der maximalen und minimalen Ramushöhe zu, wobei die Trendlinie bei der maximalen Ramushöhe nur minimal steigt. Daraus kann entnommen werden, dass die Werte zwischen der minimalen Ramushöhe stärker steigen, während die Abstände der maximalen Ramushöhe nur minimal größer werden. Da es jedoch bei den Abstandsmessungen der maximalen Ramushöhe am achten Individuum einen Ausreißer nach oben gibt, könnte die Trendlinie auch nur dadurch monoton steigend sein. Aus diesem Grund muss dieses Verhalten unbedingt mit einer größeren Stichprobe näher überprüft werden. Für die Gegenüberstellung zwischen der maximalen Ramushöhe und der minimalen Ramusbreite deuten die Ergebnisse auf eine andere Beziehung hin. Während die minimale Ramusbreite steigt, fällt die maximale Ramushöhe trotz eines Wertes, der nach oben ausreißt. Folgendes könnte entnommen werden: Je breiter der Ramus mandibulae ist, desto kleiner ist dessen Höhe.

Bei der Gegenüberstellung der Kinnhöhe, der maximalen Ramushöhe, der Breite der Mandibula an den lateralen Processi condylaria und der maximalen Corpuslänge sind die Trendlinien jeweils monoton steigend bis auf die der Mandibula-Breite. Da die Werte für die maximale Corpuslänge sowie der Breite der Mandibula schwanken, werden hier keine Aussagen bezüglich einer möglichen Korrelation getätigt. Auch bei der maximalen Ramushöhe gibt es einen Ausreißer nach oben.

Die Trendlinien für alle unterschiedlichen Messstrecken zu der Breite der Mandibula sind monoton steigend. Daraus kann entnommen werden, dass wenn sich die Breite an einer Stelle nach oben hin ändert, die Breiten auch für die anderen Stellen steigen. Jedoch sind alle Graphen in Bezug zu cdl-cdl stark schwankend, weswegen es auch hier nicht auf eine Korrelation hindeuten muss. Allerdings dürfen die Messunsicherheiten der Messstrecke cdl-cdl nicht vergessen werden, was die Aussagekraft der Ergebnisse beeinflusst.

Bei der Gegenüberstellung der Maße am superioren Ramus mandibulae nehmen die maximale Ramusbreite (cs-cr) sowie phi-cs zu, die Werte für die Messstrecke phi-cr hingegen sinken. Während die Werte von cs-cr anfangs relativ stabil bleiben, steigen diese bei den letzten drei Individuen stark. Die Werte von phi-cr dagegen schwanken sehr stark.

Letztlich muss gesagt werden, dass die Trendlinien auf Korrelationen deuten können. Das muss jedoch im Einzelnen mit einer höheren Stichprobe überprüft und berechnet werden, da die vorliegende für solche Aussagen zu klein ist.

Diskriminanzfunktionen. Für die Diskriminanzfunktionen wurden nur Funktionen genommen, die europäische oder weiß-amerikanische Populationen beinhalten. An 11 bzw. 12 Individuen der Rödelheimer Sammlung wurden diese jeweils händisch und automatisch bestimmt. Die unterschiedlichen Ergebnisse lassen sich auf verschiedene Werte der gemessenen Messstrecken zurückführen. Dabei treten beim Individuum RÖ-6,3 die meisten Unterschiede auf. Aufgrund der Differenz von fast einem Zentimeter bei der Messstrecke gn-go rechts, hat sich hierbei das Ergebnis geändert. Des Weiteren ist ebenfalls ein Unterschied von 2,6 cm bei der Messstrecke go-cs auszumachen. Diese starke Abweichung kann auf einen Tippfehler zurückzuführen sein, da die Differenzen bei dieser Messstrecke für alle anderen Individuen geringer sind. Für die restlichen Unterschiede der Ergebnisse zwischen beiden Verfahren liegen die Werte nahe des Schnittpunktes.

Insgesamt waren die verschiedenen Diskriminanzfunktionen unterschiedlich erfolgreich. Die dritte Funktion von Vodanović et al. [95] war mit 100% bei den händisch ermittelten und mit 90,9% bei den automatisch berechneten Diskriminanzfunktionen am besten (siehe Tabelle 5.6). Dabei war die zweite Funktion von Vodanović et al. [95] mit null Prozent am schlechtesten. Das könnte auf für die vorliegende Population unpassende Parameter zurückzuführen sein, da die Messunsicherheiten der benötigten Messstrecken bis auf den Angulus gering sind. Jedoch ist die Funktion, bei der nur der Angulus benötigt wird (Funktion 6 von Vodanović et al. [95]), entsprechend erfolgreich. Ob die erfolgreichen Funktionen für die vorliegende Population geeignet sind, müsste allerdings mit einer größeren Stichprobe getestet werden.

Wie schon Giles [34] erwähnte, sind Diskriminanzfunktionen einer Population nicht auf andere Populationen übertragbar [34]. Durch einen Versuch der Übertragung der Funktionen einer griechischen Population auf andere Populationen von Bertsatos et al. [10] konnte dies bestätigt werden [10]. Dennoch könnte ein Transfer mittels Anpassungen der Parameter möglich sein [6], [33]. Weiterhin sollte nicht unerwähnt bleiben, dass der Sexualdimorphismus pro Population für die Landmarken bzw. Messstrecken unterschiedlich stark ausgeprägt ist. So wurden beispielsweise bei Barthélémy et al. [6] die Bigonialbreite (go-go) angegeben [6], bei Vodanović et al. [95] hingegen der Angulus, die Corpuslänge sowie die minimale Ramushöhe [95]. Die Bigonialbreite wurde insgesamt am häufigsten als dimorph beschrieben. Des Weiteren wurden pro Versuch unterschiedliche Messstrecken ausgewählt. Auch hier wurde die Bigonialbreite am häufigsten verwendet, gefolgt von der Breite zwischen den Processi condylaria. Zudem hat sich herausgestellt, dass Diskriminanzfunktionen mit mehreren Messstrecken eine höhere Genauigkeit als Funk-

Tabelle 5.6.: Genauigkeiten der einzelnen Diskriminanzfunktionen der händisch und automatisch berechneten Diskriminanzfunktionen. Dabei sind die händisch berechneten abwärts sortiert. Des Weiteren ist nicht zu vergessen, dass das Individuum R6-7,3 bei den automatisch berechneten Diskriminanzfunktionen nicht miteinbezogen wurde.

Funktion	Genauigkeit händisch berechnete in %	Genauigkeit automatisch berechnete in %
Funktion 3 Vodanović et al. [95]	100	90,9
Funktion 6 Vodanović et al. [95]	91,67	-
Barthélémy et al. [6]	90,9	90
Funktion 2 Kranioti et al. [51]	80	77,77
Giles [34]	63,63	40
Funktion 7 Vodanović et al. [95]	58,33	54,54
Funktion 4 Vodanović et al. [95]	50	72,72
Funktion 5 Marinescu et al. [59]	50	36,36
Funktion 1 Marinescu et al. [59]	50	36,36
Funktion 5 Vodanović et al. [95]	41,67	54,54
Funktion 3 Marinescu et al. [59]	41,67	36,36
Funktion 4 Marinescu et al. [59]	33,33	36,36
Funktion 2 Marinescu et al. [59]	33,33	27,27
Funktion 2 Kranioti et al. [51]	18,18	30
Funktion 2 Vodanović et al. [95]	0	-

tionen mit nur einer Messstrecke hatten [96], [10] und [95]. In der vorliegenden Arbeit konnte dies jedoch für die Funktionen von Vodanović et al. [95], Kranioti et al. [51] und Marinescu et al. [59] nicht bestätigt werden. So hat beispielsweise die zweite Funktion von Vodanović et al. [95] die meisten Parameter und war die am wenigsten Erfolgreiche. Wie aber schon oben beschrieben, kann das aufgrund der nicht passenden Parameter für die vorliegende Population sein.

Letztlich sollten für jede Population neue Diskriminanzfunktionen erstellt werden, um den oben erwähnten Problemen zu entgehen. Da jedoch keine weiblichen Individuen vorlagen, konnte dies nicht bestimmt werden. Des Weiteren sollte außerdem eine höhere Stichprobe vorliegen.

5.5. Analyse der Variabilität der Mandibula für AnthroWorks3D

Wie bereits im Kapitel 4.5 Anatomische Skelettvarianten der Mandibula (ab Seite 64) erwähnt, weisen die meisten Individuen dieser Stichprobe eine Tuberositas massetrica

und/oder Tuberositas pterygoidea auf. Für die Arbeit in AnthroWorks3D hat die Tuberositas pterygoidea keine Auswirkung, da es sich hierbei lediglich um eine Rauigkeit nahe der medialen Anguli mandibularum handelt und diese für das Setzen von Landmarken irrelevant ist [21]. Bei der Tuberositas pterygoidea handelt es sich hingegen um Knochenwulsten der lateralen Anguli mandibularum [21]. Doch auch diese haben keine Relevanz für die Landmarkensetzung. Auffällig war jedoch das Setzen der osteometrischen Landmarken bei ausgestülpten Anguli mandibularum. Je ausgestülpter und wulstiger diese auftraten, desto schwerer war der Gonion zu setzen, da dieser nur noch geschätzt werden konnte. Die akzessorischen Foramina, welche ebenfalls häufig zu beobachten waren, hatten keinerlei Einfluss auf die Arbeit in AnthroWorks3D. Auch der Bilobatus hinderte die Bestimmbarkeit der Landmarken nicht.

Neben den herkömmlichen anatomischen Skelettvarianten der Mandibula waren die anatomischen Landmarken zwischen den Individuen unterschiedlich stark ausgebildet. Je ausgeprägter diese auftraten, desto leichter war es, die Markierung vorzunehmen. Bei schwach ausgebildeten Strukturen war es umso schwieriger. Dies betraf v.a. die Lingula mandibulae, das Tuberculum mentale, die Fovea sublingualis, die Linea mylohyoidea, die Fossa retromolaris und das Trigonium retromolare sowie die Protuberantia mentalis. Besonderen Einfluss hatte dies auf die Setzung der Landmarken pg, lg und cfr, da diese somit nur abschätzbar waren, wodurch Messfehler entstehen konnten.

Anatomische Skelettvarianten, die im Zuge dieser Arbeit nicht vorkamen, jedoch nicht unerwähnt für die Arbeit mit AnthroWorks3D sein sollten, sind z.B. ein gegabelter Processus condylaris [56]. Liegt ein solcher vor, können die Landmarken cs, cdl, cdm und cdp nicht mehr bestimmt werden. Bei dem Stafne's Defekt [86] wäre eine mögliche Auswirkung positionsabhängig. Überschneidet sich dieser mit Landmarken könnte dies durchaus zu Problemen beim Setzen dieser führen. Liegen doppelte oder geteilte Foramina mentalia bzw. mandibularum [73] vor, kann auch dies Auswirkungen auf die Landmarke ml haben. So ist es möglich, dass Unsicherheiten bei deren Bestimmungen auftreten und dies zu Messfehlern führen kann. Denkbar ist auch ein kleines Foramen in einem Großen [56]. Hierbei kann es zu subjektiven Entscheidungen führen, welches der beiden nun für die Landmarke ml relevant sein soll. Zudem kann eine Ansammlung von Dentales [56] im Bereich der Incisivi dazu führen, dass die osteometrischen Landmarken li und id nur noch abgeschätzt werden können. Ein abgeflachter Processus coronoideus [47], [72] könnte weiterhin zu Problemen mit der Landmarke cr führen, da auch dieser hierbei höchstens abgeschätzt werden kann, wenn kein höchster Punkt mehr vorhanden ist.

Darüber hinaus ist ebenso die Atrophie relevant. Durch die Rückbildung der Pars alveolaris kann es dazu kommen, dass sich die Foramina mentalia am Oberrand der Mandibula befinden. [70] Hierfür könnte eine altersspezifische Schablone in Erwägung gezogen werden, da sich die Anatomie dadurch hinreichend stark verändert. Jedoch bedarf es dazu den entsprechenden Mandibulae sowie den dazu adäquaten Untersuchungen. Gleiches gilt für die Mandibula eines Neugeborenen, da auch diese sich stark von einer durchschnittlichen bezahnten Mandibula unterscheidet [70].

6. Fazit und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war die manuelle und automatische Annotation anatomischer und anthropologischer Leitstrukturen und Messpunkte am Beispiel von Mandibulae. Dafür wurden Mandibulae der Rödelheimer Skelettsammlung mit Hilfe der Photogrammetrie digitalisiert und mittels der Software AnthroWorks3D hinsichtlich anatomischer und osteometrischer Landmarken annotiert. Ziel dabei war eine daraus resultierende Automatisierung des Annotationsprozesses der osteometrischen Landmarken. Dies wurde mit einer Schablone realisiert, welche einer „Durchschnittsmandibula“ entsprechen sollte. Der Vergleich der manuellen Annotation mit dem Automatisierungsprozess ermöglichte Aussagen zu der daraus resultierenden Effizienz. Mittels der statistischen Analysen konnte ein Überblick zu den aussagekräftigen Kenngrößen und möglichen Korrelationen innerhalb der Stichprobe gegeben werden. Die Untersuchungen der anatomischen Skelettvarianten dienten der Einschätzung bzgl. deren Einflusses auf die Software AnthroWorks3D.

6.1. Resümee

Händisch-digitale Annotationen. Dafür wurden 12 digitalisierte Mandibulae ausgewählt. Aufgrund von Problemen mit der Software AnthroWorks3D konnte eines dieser für die weitere Arbeit nicht genutzt werden. An den übrigen elf Mandibulae wurden Annotationen bzgl. vorher eingegrenzter und definierter anatomischer sowie osteometrischer Landmarken vorgenommen. Dabei stellte sich heraus, dass die Flächenmarkierungen der anatomischen Landmarken noch ausbaufähig sind. Auch die Verteilung der Farben sollte überarbeitet werden. Die Punktmarkierungen und Messungen der Messstrecken erfolgte ohne weitere Probleme.

Vergleich mit der physisch gemessenen Mandibula. Für eine Mandibula wurden die Messungen der Messstrecken und Winkel an einer Physischen durchgeführt. Da aufgrund von Fragmentierungen nicht alle gemessen werden konnten, wurden die Restlichen an der Schablonen-Mandibula vorgenommen. Das Messen der physischen Mandibula erfolgte dabei schneller als das der Digitalisierten. Jedoch war die Landmarke cfr physisch schlechter dabei zu erreichen. Das Winkelmessen erfolgte hingegen reibungsloser, da der Basalrand der Mandibula auf den Winkelmesser gelegt werden konnte. Erwähnenswert seien aber auch die Vorteile eines digitalen Skeletts, wie z.B. der Verhinderung des Knochenverschleißes oder der unbegrenzte Zugang zur Bearbeitung.

Fehlerberechnungen. Mittels einer Fehlerberechnung unter Verwendung des TEMs, rTEMs und des Reliabilitätskoeffizienten konnten Messunsicherheiten ausgemacht werden. Bei einigen Messstrecken war eine Unsicherheit in der ersten Messreihe zu verzeichnen. Für die Anguli gab es Schwierigkeiten bei der Ermittlung des Winkels. Bei der hinzugezogenen Person konnten größere Messunsicherheiten ausgemacht werden. Hier waren jene mit der Landmarke go auffällig. Zutreffend ist dies auch auf den Vergleich zwischen den händisch-digital und automatisch ermittelten Messstrecken.

Statistische Analysen. In die statistischen Analysen wurde die physisch gemessene Mandibula von R \ddot{o} -30,2 integriert. Mittels Boxplot-Diagrammen konnten wenige Messstrecken mit Ausreißern identifiziert werden. Auch zwischen den Seiten waren Messunterschiede feststellbar. Das Hinzuziehen von Diskriminanzfunktionen europäischer und weiß-amerikanischer Populationen anderer Versuche war unterschiedlich erfolgreich. Herausstechend war dabei die dritte Funktion von Vodanović et al. [95] mit einer Genauigkeit von 100%. Hier sei jedoch die kleine Stichprobe zu betonen. Letztlich sollten für jede Population neue Diskriminanzfunktionen aufgestellt werden, was hier aufgrund des Nicht-Vorhandenseins weiblicher Individuen und der geringen Anzahl an Mandibulae nicht möglich war.

Automatische Annotation. Für die automatische Annotationen der osteometrischen Landmarken sowie Messungen brauchte es eine Schablone. Weiterhin wurden die Views für die spätere Feinkorrektur definiert sowie ein Katalog mit der Übersicht der einzelnen Landmarken erstellt, der jedoch noch implementiert werden muss. An den verbleibenden Mandibulae wurde dieser Prozess evaluiert. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass dieses Tool noch ausbaufähig ist. Die Schablone und insbesondere die Pins mussten jeweils angepasst werden, da die Variabilität der Landmarken zwischen den Individuen stark ausgeprägt war. Insgesamt konnte durch die automatische Annotation gegenüber der händisch-digitalen Annotation Zeit gespart werden.

Variabilität. Es stellte sich heraus, dass die ausgestülpten Anguli mandibularum eine Schwierigkeit beim Setzen der osteometrischen Landmarke *go* bildeten. Anatomische Skelettvarianten, die in der vorliegenden Stichprobe nicht vorkamen, aber nicht unerwähnt für die Arbeit mit AnthroWorks3D sein sollten, sind ein gegabelter Processus condylaris, ein Stafne's Defekt, doppelte oder geteilte Foramina mentalia bzw. mandibularum, das Vorkommen eines kleinen Foramen in einem Großen, einer Ansammlung von Dentales im Bereich der Incisivi sowie ein abgeflachter Processus coronideus. Auch eine vorliegende Atrophie könnte relevant sein und mittels einer altersspezifischen Schablone gelöst werden. Das könnte auch für die Mandibula eines Neugeborenen zutreffen. Dazu braucht es jedoch eine größere Stichprobe an Mandibulae in diesem Alter. Eine geschlechtsspezifische Untersuchung konnte aufgrund des Fehlens von weiblichen Individuen nicht vorgenommen werden.

Insgesamt konnten folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Mittels Hinzuziehen eines Grafiktablets könnten die Annotationen der anatomischen Landmarken sauberer werden.
2. Eine Volumenmarkierung würde das Annotieren drei dimensionaler Landmarken (z.B. Ramus mandibulae) vereinfachen.
3. Die Farben sollten fest definiert werden.
4. Das Messen der physischen Mandibula war geringfügig schneller als bei der händisch-digitalen Mandibula.
5. Das Messen des Angulus ist physisch einfacher und genauer, aufgrund des Positionierens des Basalrandes der Mandibula auf dem Winkelmesser.
6. Die Arbeit an digitalen Skeletten bieten unterschiedliche Vorteile, wie z.B. der Verhinderung des Knochenverschleißes oder der unbegrenzte Zugang zur Bearbeitung.

7. Messunsicherheiten traten auffällig häufig bei Messstrecken mit der Landmarke go auf.
8. Für genauere statistische Analysen bedarf es einer deutlich größeren Stichprobe.
9. Die Genauigkeit der dritten Funktion von Vodanović et al. [95] sollte mit einer größeren Anzahl an Individuen analysiert werden.
10. Für jede Population sollten eigene Diskriminanzfunktionen aufgestellt werden.
11. Das Löschen von Pins beim Prozess der automatischen Annotationen ist nicht rückgängig zu machen sein und dahingehend verändert werden.
12. Bei den Views sind die Messstrecken nur einzeln anstatt einer zusammenhängenden Netzstruktur verschiebbar .
13. Der Prozess der automatischen Annotation und Messung ist schneller als der händisch-digitale Vorgang.
14. Bestimmte anatomische Skelettvarianten könnten die Genauigkeit bei der Arbeit mit AnthroWorks3D beeinflussen. Dazu gehören u.a. ein gegabelter Processus condylaris, ein Stafne's Defekt oder ausgestülpte Anguli.
15. Eine altersspezifische Schablone sollte in Betracht gezogen werden.

6.2. Blick in die Zukunft

Die Kritikpunkte der Schlussfolgerungen sollten, wo es möglich ist, in der weiteren Vorgehensweise verbessert werden. Zusätzlich zu diesen kann die vorliegende Arbeit auch als Vorlage für Untersuchungen an den restlichen Knochen des menschlichen Skeletts genutzt werden. Bei den Messungen mit dem Cranium könnte die Mandibula weiterhin von Nutzen sein, da es auch standardisierte Messstrecken zwischen den Landmarken beider gibt. Auch hier würde sich eine Diskriminanzanalyse eignen. Durch Implementierung der weiteren Knochen kann außerdem die Software AnthroWorks3D weiterentwickelt werden und später eine digitale Untersuchung eines vollständigen Skeletts ermöglichen. Wie schon mehrmals erwähnt, kann ein Knochenverschleiß verhindert werden. Auch die parallele und ortsunabhängige Arbeit ist dadurch möglich. Die Skelette können beliebig oft bearbeitet werden, auch wenn die physischen Individuen bestattet wurden. Durch die integrierten Definitionen der Landmarken könnte es zudem als Lehr- und Lernwerkzeug für Anthropologen und Anthropologinnen fungieren.

A. Anhang

A.1. Überblick zu den Definitionen der osteometrischen Landmarken

In der folgenden Tabelle A.1 wurden zu jedem einzelnen Messpunkt Definitionen übernommen oder entwickelt. Diese sind in der rechten Spalte zu sehen.

Tabelle A.1.: Überblick zu den Definitionen zu den osteometrischen Landmarken. Bei den Messpunkten *cdp*, *parp*, *phi*, *ppra* und *cfr* handelt es sich um eigens definierte Punkte, die für die weiterführende Arbeit mit den Messstrecken dienen sollen. [5], [28]

Osteometrische Landmarke	Definition
Infradentale (id)	Bei dem Messpunkt Infradentale (kurz: id) handelt es sich um den Punkt zwischen den mittleren Incisivi, an dem die Vorderkante des Alveolarfortsatzes von der Mediansagittalebene geschnitten wird. Dieser liegt auf der anterioren Seite der Mandibula.
Gonion (go)	Bei dem Messpunkt Gonion (kurz: go) handelt es sich um den Punkt, an dem der Basalrand des Korpus und der Hinterrand des Ramus zusammentreffen bzw. um den Punkt des Unterkieferwinkels, der am meisten nach unten, hinten und außen gerichtet ist.
Mentale (ml)	Bei dem Messpunkt Mentale (kurz: ml) handelt es sich um den tiefsten Punkt der Umrandung des Foramen mentale.
Pogonion (pg)	Bei dem Messpunkt Pogonion (kurz: pg) handelt es sich um den am weitesten vorragenden Punkt der Protuberantia mentalis in der Mediansagittalebene.
Gnathion (gn)	Bei dem Messpunkt Gnathion (kurz: gn) handelt es sich um den Punkt, der in der Mediansagittalebene am meisten nach unten vorragt. Dabei kann es vorkommen, dass dieser nicht dem am tiefsten gelegenen Punkt entspricht, da die seitlich angrenzenden Teile -besonders bei breiter, eckiger Kinnbildung - noch weiter nach unten vorragen können.
Lingulare (lg)	Bei dem Messpunkt Lingulare (kurz: lg) handelt es sich um die obere Spitze der Lingula mandibulae.

Osteometrische Landmarke	Definition
Linguale (li)	Bei dem Messpunkt Linguale (kurz: li) handelt es sich um den oberen Endpunkt der Symphyse des Unterkiefers an der lingualen Fläche und liegt somit auf der posterioren Seite der Mandibula.
Coronion (cr)	Bei dem Messpunkt Coronion bzw. Koronion (kurz: cr bzw. kr) handelt es sich um die Spitze des Proc. coronoideus. Liegt der Proc. coronoideus zweizackig vor, wird die vordere Spitze als Messpunkt genommen.
Condylus laterale (cdl)	Bei dem Messpunkt Condylion laterale bzw. Kondylion laterale (kurz: cdl bzw. kdl) handelt es sich um den lateralen Endpunkt, d.h. um den lateralsten Punkt des Proc. condylaris.
Condylus mediale (cdm)	Bei dem Messpunkt Condylion mediale bzw. Kondylion mediale (kurz: cdm bzw. kdm) handelt es sich um den medialen Endpunkt des Proc. condylaris.
Condylion posteriore (cdp)	Bei dem Messpunkt Condylion posteriore bzw. Kondylion posteriore (kurz: cdp bzw. kdp) handelt es sich um den posterior Endpunkt des Proc. condylaris.
Condylion superior (cs)	Bei dem Messpunkt Condylion superior bzw. Kondylion superior (kurz: cs bzw. ks) handelt es sich um den superioren Endpunkt des Proc. condylaris.
Centrum fossae retromolaris (cfr)	Bei dem Messpunkt Centrum fossae retromolaris (kurz: cfr) handelt es sich um den Mittelpunkt der Fossa retromolaris.
Punctum humilis incisurae (phi)	Bei dem Messpunkt Punctum humilis incisurae (kurz: phi) handelt es sich um den tiefsten Punkt der Incisura mandibulae.
Punctum posterioris rami mandibulae anterioris (ppra)	Bei dem Messpunkt Punctum posterioris rami mandibulae anterioris (kurz: ppra) handelt es sich um den posteriorsten Punkt des anterioren Ramus mandibulae.
Punctum anterioris rami mandibulae posterioris (parp)	Bei dem Messpunkt Punctum anterioris rami mandibulae posterioris (kurz: parp) handelt es sich um den anteriorsten Punkt des posterioren Ramus mandibulae.

A.2. Ausgewählte Messstrecken

In diesem Abschnitt sind die ausgewählten Messstrecken dargestellt. Die Messstrecke selbst ist dabei mit rot gekennzeichnet. Die Anfangs- und Endpunkte sind in schwarzen Kreisen dargestellt.



Abbildung A.1.: Messstrecke ml-ml. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.2.: Messstrecke ml rechts - id. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

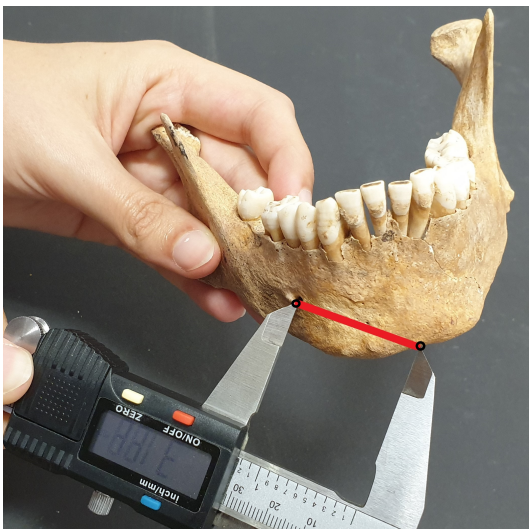


Abbildung A.3.: Messstrecke ml rechts - gn. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.4.: Messstrecke ml rechts - go rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.5.: Messstrecke ml rechts - gn. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-7,3. Foto: Lisa Marie Paris.

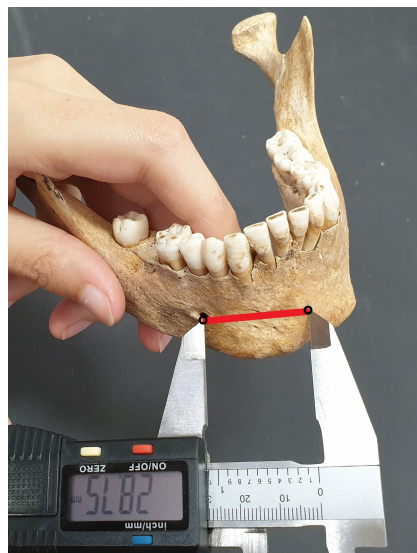


Abbildung A.6.: Messstrecke ml rechts - pg. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

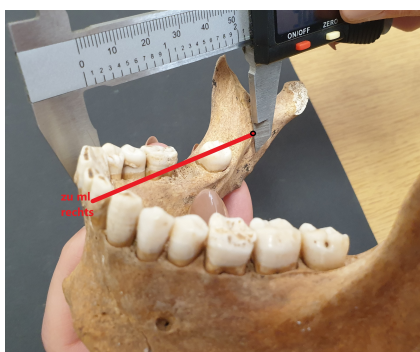


Abbildung A.7.: Messstrecke ml rechts - lg rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.8.: Messstrecke ml rechts - lg links. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

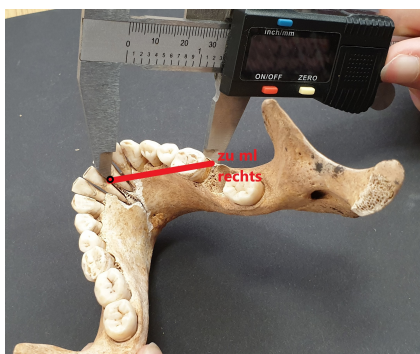


Abbildung A.9.: Messstrecke ml rechts - li. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.10.: Messstrecke ml rechts - cr rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

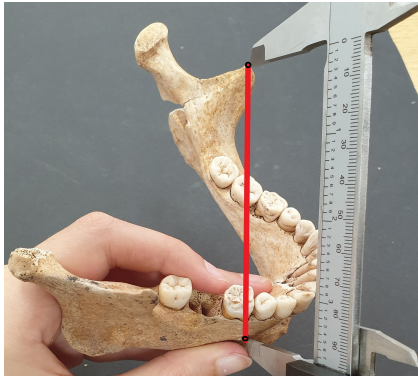


Abbildung A.11.: Messstrecke ml rechts - cr links. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.12.: Messstrecke ml rechts - cdl rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

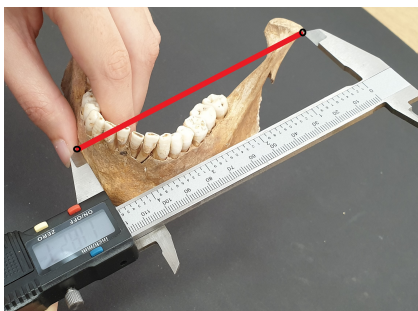


Abbildung A.13.: Messstrecke ml rechts - cdl links. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.14.: Messstrecke ml rechts - cdm rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-7,3. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.15.: Messstrecke ml rechts - cdm links. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

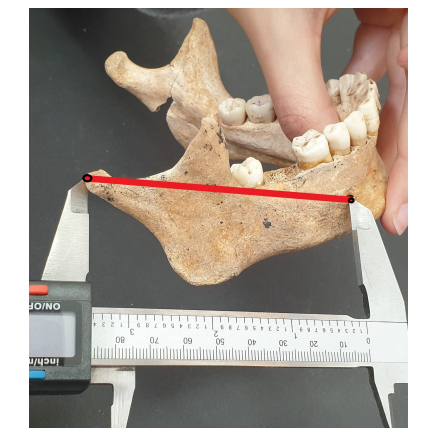


Abbildung A.16.: Messstrecke ml rechts - cdp rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

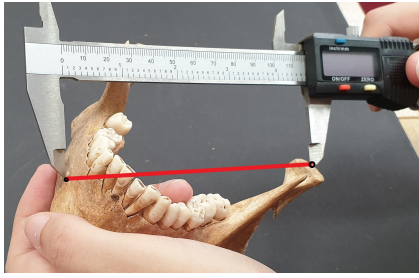


Abbildung A.17.: Messstrecke ml rechts - cdp links. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

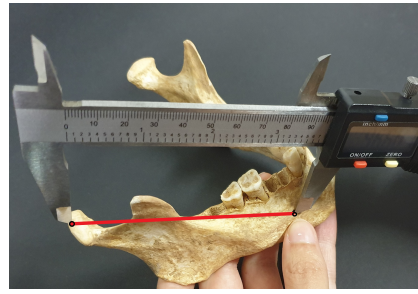


Abbildung A.18.: Messstrecke ml rechts - cs rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-7,3. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.19.: Messstrecke ml rechts - cs links. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.20.: Messstrecke ml rechts - cfr rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

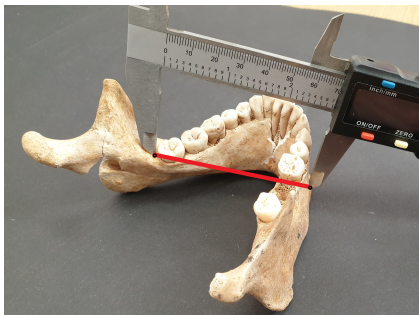


Abbildung A.21.: Messstrecke ml rechts - cfr links. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.22.: Messstrecke ml rechts - phi rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

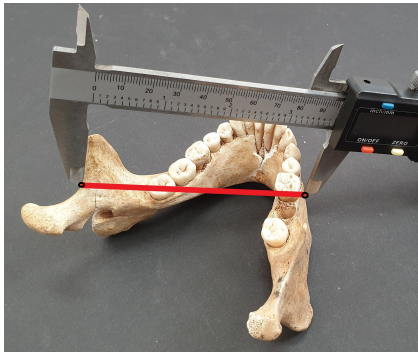


Abbildung A.23.: Messstrecke ml rechts - phi links. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

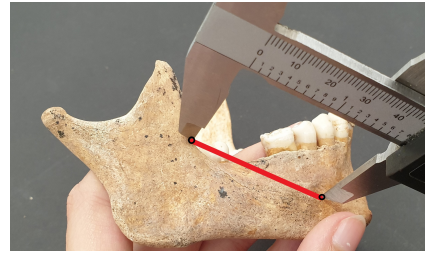


Abbildung A.24.: Messstrecke ml rechts - ppra rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.25.: Messstrecke ml rechts - ppra links. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.26.: Messstrecke ml rechts - parp rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

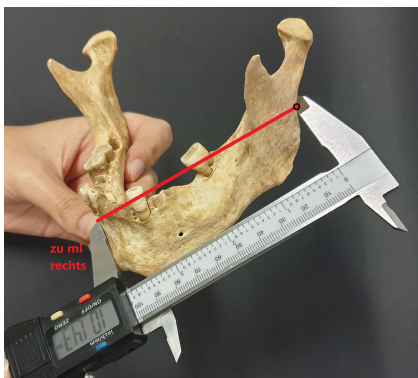


Abbildung A.27.: Messstrecke ml rechts - parp links. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-7,3. Foto: Lisa Marie Paris.

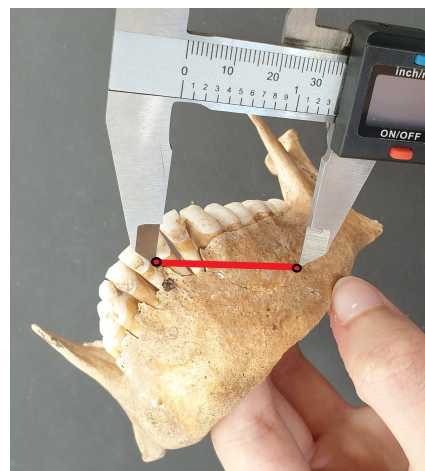


Abbildung A.28.: Messstrecke ml links - id. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.29.: Messstrecke ml links - gn. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

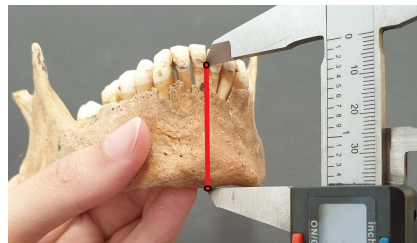


Abbildung A.30.: Messstrecke id - gn. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

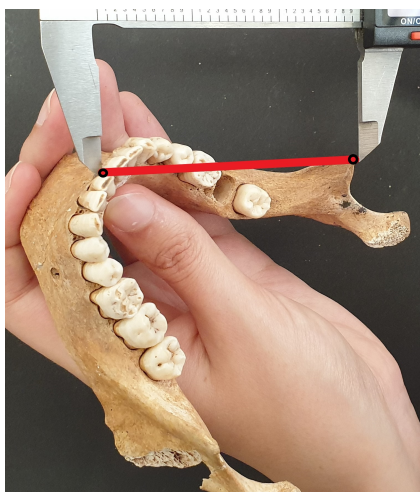


Abbildung A.31.: Messstrecke id - cs rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

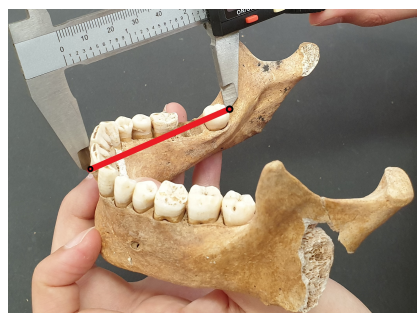


Abbildung A.32.: Messstrecke id - cfr rechts. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

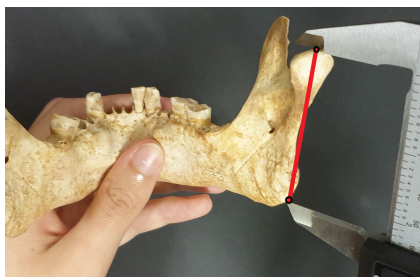


Abbildung A.33.: Messstrecke go-cs. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-7,3. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.34.: Messstrecke go-cdp. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

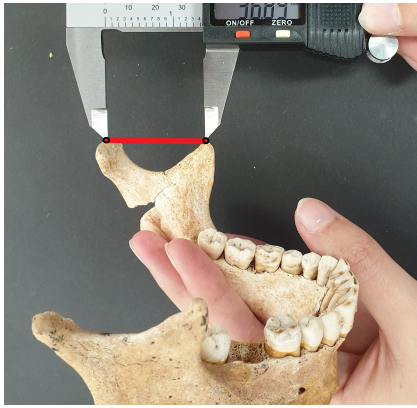


Abbildung A.35.: Messstrecke cs-cr. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

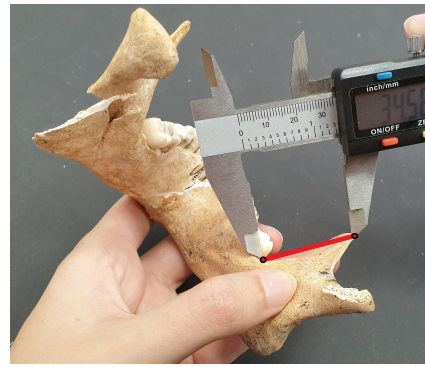


Abbildung A.36.: Messstrecke cr-cfr. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.37.: Messstrecke ppra-parp. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.38.: Messstrecke cdl-cdl. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.39.: Messstrecke cdm-cdm. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-7,3. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.40.: Messstrecke cr-cr. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: RÖ-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.41.: Messstrecke go-gn. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

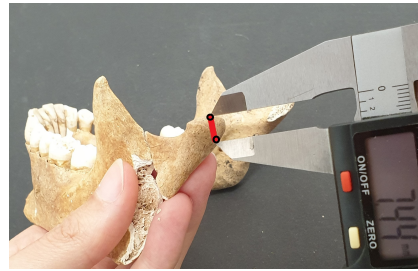


Abbildung A.42.: Messstrecke cs-cdp. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.



Abbildung A.43.: Messstrecke go-go. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-7,3. Foto: Lisa Marie Paris.

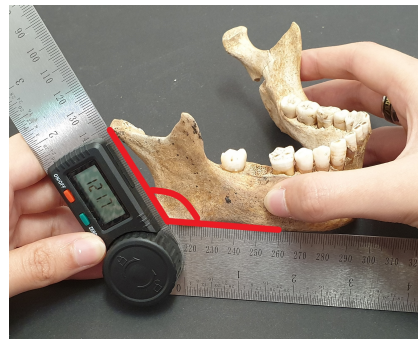


Abbildung A.44.: Winkel Angulus. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-30,2. Foto: Lisa Marie Paris.

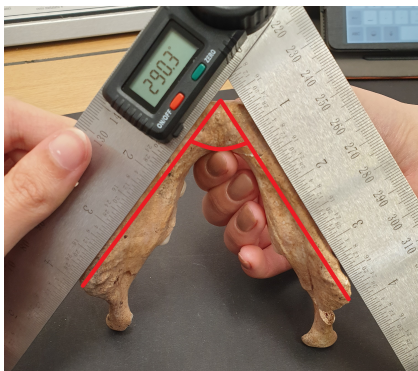


Abbildung A.45.: Winkel zwischen go-gn-go. Leihgeber: Georg-August Universität Göttingen. Individuum: Rö-7,3. Foto: Lisa Marie Paris.

A.3. Überblick zu den Definitionen der anatomischen Landmarken

In der folgenden Tabelle A.2 wurden zu jeder einzelnen anatomischen Landmarke Informationen gesammelt, um aus diesen eine Definition zu entwickeln. Diese Definitionen sind in der rechten Spalte formuliert.

Tabelle A.2.: Definitionen der einzelnen anatomischen (hier mit anat. abgekürzt) Landmarken [8], [67], [49], [70], [21], [26], [80], [88]

Anat. Landmarke	Definition
Mandibula allgemein	Der unpaare Unterkiefer ist ein unregelmäßiger, u-förmiger und beweglicher Knochen, dessen Hauptaufgabe das Unterstützen des Kauens ist. Die zwei Hälften sind bei Neugeborenen bindegewebig verbunden, welche im ersten Lebensjahr durch Verknöcherung zusammenwachsen. Der Unterkiefer besteht aus zwei Rami mandibulae und einem Corpus mandibula, wobei Corpus und Ramus im Angulus ineinander übergehen. Durch das Kiefergelenk ist die Mandibula mit dem Os temporale des Viscerocraniums verbunden, durch die im Unterkiefer befindlichen Zähne mit der Maxilla.
Corpus mandibulae	Das horizontal des Unterkiefers liegende Corpus mandibulae bildet den Körper der Mandibula, welcher u-förmig vorliegt und dem die Rami aufgesetzt sind. Er ist aufgeteilt in die Basis mandibulae und dem Pars alveolaris, welche durch die vom Processus coronoideus absteigende Linea obliqua getrennt werden. Der massive Bogen wird zum kleineren und engeren Alveolarbogen nach oben hin schmaler und trägt die Zähne.
Basis mandibulae	Die Basis mandibulae ist der untere Teil des Corpus mandibulae ohne den Pars alveolaris. In der Mittellinie weist sie eine Schwellung auf, die auch Protuberantia mentalis genannt wird. Neben der Mittellinie befinden sich jeweils zwei kleine Ausstülpungen (Kinnhöcker). Des Weiteren beinhaltet die Basis mandibulae zwei Foramina mentalia.
Protuberantia mentalis	Die auf der Mittellinie des Corpus mandibulae liegende Protuberantia mentalis ist ein hervortretendes dreieckiges Feld, welches nach oben in einem Vorsprung und nach unten in paarige Höcker (Tubercula mentalia) ausläuft und mit diesen das Kinn (Mentum) bildet. Durch die Protuberantia mentalis sind beide Hälften der Mandibula miteinander verbunden.

Anat. Landmarke	Definition
Tuberculum mentale	Die anterior hervorragenden Tubercula mentalia (Kinnhöcker) befinden sich lateral und beidseitig von der Protuberantia mentalis, welche mit dieser zusammen das Kinn (Mentum) bilden.
Foramen mentale	Die Foramina mentalia liegen bei Erwachsenen auf Höhe der 1. und 2. Molaren auf halber Strecke zwischen dem Alveolarrand und der Basis. Aufgrund der schwachen Entwicklung des Basalbogens, liegen diese bei Neugeborenen näher an der Basis. Bei zahnlosen Unterkiefern können die Foramina mentalia durch die Rückbildung der Pars alveolaris auch frei vorliegen. Die Foramina mentalia lassen die Nervi, Arteriae und Venae mentales aus der Canalis mandibulae zur Haut austreten und dienen als Druckpunkte für den dritten Trigemiusast.
Linea obliqua	Die Linea obliqua ist eine absteigende Linie, die vom Vorder- rand des Ramus bzw. Proc. coronoideus kommt und die Basis mandibulae von der Pars alveolaris trennt. Sie dient als Befestigungspunkt für Muskeln, der die Unterlippe herunterdrückt.
Fossa digastrica	Die Fossa digastrica befindet sich superolateral der Mittellinie aus der posterioren Ansicht der Mandibula, wo sich der Knochen zu einer erbsen- bis bohnen großen Grube vertieft. Sie dient als Ansatzstelle des Musculus digastricus.
Spinae mentales	Auf der Innenseite der Mandibula befinden sich nahe der Mittellinie und über dem Ende der Mylohyoid-Linie zwei Paar Spinae mentales, wobei ein Paar direkt über dem anderen liegt. Die Spina mentalis superior, welche sich in rechts und links aufteilt, ist ein oberer knöcherner Vorsprung und dient der Befestigung eines Muskelpaars (Musculus genioglossus), das in die Zunge übergeht. Der untere knöcherner Vorsprung, die Spina mentalis inferior, das sich ebenfalls in rechts und links aufteilt, dient einem Muskelpaar (Musculus geniohyoideus), das den Unterkiefer mit dem Zungenbein verbindet.
Linea mylohyoidea	Die Linea mylohyoidea ist eine von schräg hinten oben nach vorn unten ziehende Leiste auf der Innenfläche des Unterkiefers. Sie endet auf Höhe des dritten Molarens und dient als Ursprung des M. mylohyoideus, welcher vom gleichnamigen, aus dem N. alveolaris inferior abgehenden, Nerv versorgt wird und die Ebene des Mundbodens markiert.
Fovea sublingualis	Die Fovea sublingualis ist eine rundliche und flache Grube, die sich auf der Innenseite der Mandibula oberhalb der Spina mentalis und über dem vorderen Drittel der Linea mylohyoidea befindet. Sie dient dem Sitz der gleichnamigen Drüse, der Glandula sublingualis.

Anat. Landmarke	Definition
Fovea submandibularis	Die Fovea submandibularis ist eine rundliche und flache Grube, die sich auf der Innenseite der Mandibula oberhalb der Spina mentalis und unterhalb der hinteren zwei Drittel der Linea mylohyoidea befindet. Sie dient dem Sitz der gleichnamigen Drüse, der Glandula submandibularis.
Pars alveolaris	Die Pars alveolaris ist der obere Teil des Corpus mandibulae und wird durch die Linea obliqua von der Basis mandibulae getrennt. Vorne an der Pars alveolaris sitzt außerdem das Kinn. Sie besteht aus Zahnfächern (Alveolen), welche für die Aufnahme der Zähne dienen und bildet sich zurück sobald die Zähne nicht mehr vorhanden sind. Daher ist sie starken Veränderungen im Laufe des Lebens ausgesetzt.
Arcus alveolaris	Bei dem Arcus alveolaris handelt es sich um einen parabelförmigen freien Rand der Pars alveolaris auf der Oberseite des Corpus mandibulae, welcher kleiner und enger als der Körperbogen ist.
Alveoli dentales	Die Alveoli dentales sind Teil der Pars alveolaris bei denen es sich um Zahnfächer für die Wurzeln der Zähne handelt, deren knöcherne Wände eine Vielzahl an Löchern aufweisen und die von außen Spongiosatrabekel einstrahlen. Durch die Löcher dringen Blut- und Lymphgefäße in den desmodontalen Spalt und bilden ein dichtes Korbgeflecht um die Zahnwurzeln.
Septa interalveolaria	Bei den Septa interalveolaria handelt es sich um Knochenwände, welche die Zahnfächer (Alveoli dentales) voneinander trennen. Diese sind Teil der Pars alveolaris.
Juga alveolaria	Bei den Juga alveolaria, welche ein Teil der Pars alveolaris darstellen, handelt es sich um gratförmige und vertikal verlaufende Ausbuchtungen, welche durch die Zahnwurzeln hervorgerufen werden.
Trigonum retromolare	Das Trigonum retromolares ist eine dreieckige Vertiefung, welche sich hinter dem letzten Molaren des Unterkiefers auf der medialen Oberseite befindet. Es ist außerdem eine Ansatzstelle der Raphe pterygomandibularis.
Fossa retromolaris	Die Fossa retromolaris ist ein Teil der Pars alveolaris, bei welcher es sich um eine Grube im Trigonum retromolare handelt.
Ramus mandibulae	Bei den Rami mandibulae handelt es sich um zwei lateral aufsteigende Äste, welche eine viereckige Grundform mit zwei Flächen, vier Rändern und zwei Vorsprüngen besitzen. Sie enden oben mit dem Gelenkfortsatz Processus condylaris, welcher die Mandibula mit dem Os temporale verbindet und dem Muskelfortsatz Processus coronoideus. Die größten Teile der Seitenfläche dienen der Befestigung des Massetermuskels.

Anat. Landmarke	Definition
Angulus mandibulae	Der Angulus mandibulae befindet sich an der Stelle, wo der untere Rand des Corpus mandibulae und der hintere Rand des Ramus mandibulae aufeinandertreffen. Er passt sich den Veränderungen der Pars alveolaris an und beträgt bei Neugeborenen 150°, bei Erwachsenen 90-130°, bei Zahnlosen 140° und bei Anthropoiden meist 90°. Dabei scheint dieser bei starker Kau-muskelentwicklung abzunehmen. Der Angulus mandibulae dient lateral als Ansatzfläche (an der Tuberositas pterygoidea) für den Musculus pterygoidea und medial als Ansatzfläche (an der Tuberositas masseterica) für den Musculus masseter.
Foramen mandibulae	Die Foramina mandibulae befinden sich auf der Innenseite der Mandibula auf Höhe der Kauflächen der Prämolaren und unge-fähr 1 cm höher als die Okklualebene hinter der Linea mylohyoi-dea. Diese sind mit den Foramina mentalia durch den Canalis mandibulae miteinander verbunden. Außerdem verlaufen dort der Nervus alveolaris inferior und die Gefäße Ateria und Vena alveolaris inferior schräg nach Richtung Corpus mandibulae.
Lingula mandibulae	Die Lingula mandibulae ist ein Knochenblatt und befindet sich anteriosuperior des Foramen mandibulae. Es dient als Ansatz des Ligamentum Sphenomandibulare.
Sulcus mylohyoidea	Der Sulcus mylohyoideus ist eine Furche, die beim Foramen mandibulae beginnt und anteroinferior unterhalb der Linea mylohyoidea verläuft und den Nervus mylohyoideus, der vom Nervus alveolaris inferior abgeht, trägt.
Processus coronoideus	Der Processus coronoideus ist Teil des Ramus mandibulae und hat eine flache, dreieckige und kranial zeigende Form. Beim Erwachsenen ist dieser spitz, bei Greisen hingegen säbelför-mig nach hinten gekrümmt. Bei starker Muskulatur weist er eine stumpfe und abgerundete Form auf. Von dem Processus coronoi-deus geht die Linea obliqua ab. Durch die Incisura mandibulae ist dieser von dem Processus condylaris getrennt. Er dient als Ansatzstelle des Musculus temporalis.
Incisura mandibulae	Die Incisura mandibulae ist eine eingekerbte obere Grenze, wel-che den Processus coronoideus und den Processus condylaris voneinander trennt. Über dieser ziehen der Nervus massetricus und der Musculus masseter.

Anat. Landmarke	Definition
Processus condylaris	Der Processus condylaris befindet sich am superoposterioren Ende des Ramus mandibulae und wird durch die Incisura mandibulae vom Processus coronoideus getrennt. Er trägt den Caput mandibulae und mündet in das kurze Collum mandibulae mit der Fovea pterygoidea. Dabei verbindet dieser die Mandibula mit dem Os temporale durch das Kiefergelenk.
Collum mandibulae	Bei dem Collum mandibulae handelt es sich um den Hals des Unterkiefers, welcher unterhalb des Caput mandibulae sitzt und an seiner Vorderfläche eine Grube (Fovea pterygoidea) zeigt.
Fovea pterygoidea	Bei der Fovea pterygoidea handelt es sich um eine mediale Einkerbung unterhalb des Caput mandibulae. Sie dient als Ansatz des Musculus pterygoideus lateralis, dem einzigen Kaumuskel, welcher die Öffnung des Kiefergelenks bewirkt.
Caput mandibulae	Das Caput mandibulae befindet sich am kranialen Ende des Processus condylaris, welches walzen- bis ellipsenartig mit starken individuellen Variationen und bei Neugeborenen noch flach vorliegt. Während die Vorderseite mit Faserknorpel bedeckt ist, der im mittleren Bereich dicker als in den Randzonen ist, ist die Rückfläche intrakapsulär mit straffem Bindegewebe bekleidet. Das Caput mandibulae bildet den Gelenkkopf des Unterkiefers und artikuliert somit mit der Fossa mandibularis des Os temporale. Das Caput selbst ist kleiner als die Gelenkpfanne, wobei die Walzenstruktur einer zusätzlich erhöhten Beweglichkeit dient, da somit auch Drehbewegungen um eine vertikale Achse möglich sind. Bei geschlossener Mundöffnung bis hin zu einer Mundöffnung von 15° bleibt das Caput mandibulae in der Fossa mandibularis, bei einer Öffnung größer 15° verlagert es sich nach vorn auf das Tuberculum articulare. Dadurch verschiebt sich die Gelenkachse, die quer durch das Caput mandibulae verläuft, nach ventral. Außerdem wird durch das Caput inferius das Caput mandibulae nach vorne gezogen.

A.4. Der Katalog

Auf den folgenden Seiten befindet sich das gesamte Dokument zum Katalog als PDF eingefügt.



KATALOG FÜR DIE VIEWS DER OSTEOMETRISCHEN LANDMARKEN



Penne, Laura

DEFINITIONEN DER ANATOMISCHEN LANDMARKEN

1	Juga alveolaria	Bei den Juga alveolaria, welche ein Teil der Pars alveolaris darstellen, handelt es sich um gratförmige und vertikal verlaufende Ausbuchtungen, welche durch die Zahnwurzeln hervorgerufen werden. [1],[2],[3],[4],[5],[8]
2	Pars alveolaris	Die Pars alveolaris ist der obere Teil des Corpus mandibulae und wird durch die Linea obliqua von der Basis mandibulae getrennt. Vorne an der Pars alveolaris sitzt außerdem das Kinn. Sie besteht aus Zahnfächern (Alveolen), welche für die Aufnahme der Zähne dienen und bildet sich zurück sobald die Zähne nicht mehr vorhanden sind. Daher ist sie starken Veränderungen im Laufe des Lebens ausgesetzt. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
3	Basis mandibulae	Die Basis mandibulae ist der untere Teil des Corpus mandibulae ohne den Pars alveolaris. In der Mittellinie weist sie eine Schwellung auf, die auch Protuberantia mentalis genannt wird. Neben der Mittellinie befinden sich jeweils zwei kleine Ausstülpungen (Kinnhöcker). Des Weiteren beinhaltet die Basis mandibulae zwei Foramina mentalia. [1],[2],[3],[5],[7]
4	Ramus mandibulae	Bei den Rami mandibulae handelt es sich um zwei lateral aufsteigende Äste, welche eine viereckige Grundform mit zwei Flächen, vier Rändern und zwei Vorsprüngen besitzen. Sie enden oben mit dem Gelenkfortsatz Processus condylaris, welcher die Mandibula mit dem Os temporale verbindet und dem Muskelfortsatz Processus coronoideus. Die größten Teile der Seitenfläche dienen der Befestigung des Massetermuskels. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
5	Angulus mandibulae	Der Angulus mandibulae befindet sich an der Stelle, wo der untere Rand des Corpus mandibulae und der hintere Rand des Ramus mandibulae aufeinandertreffen. Er passt sich den Veränderungen der Pars alveolaris an und beträgt bei Neugeborenen 150°, bei Erwachsenen 90-130°, bei Zahnlosen 140° und bei Anthropoiden meist 90°. Dabei scheint dieser bei starker Kaumuskelentwicklung abzunehmen. Der Angulus mandibulae dient lateral als Ansatzfläche (an der Tuberositas pterygoidea) für den Musculus pterygoidea und medial als Ansatzfläche (an der Tuberositas masseterica) für den Musculus masseter. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
6	Corpus mandibulae	Körper der Mandibula, welcher u-förmig vorliegt und dem die Rami aufgesetzt sind. Er ist aufgeteilt in die Basis mandibulae und dem Pars alveolaris, welche durch die vom Processus coronoideus absteigende Linea obliqua getrennt werden. Der massive Bogen wird zum kleineren und engeren Alveolarbogen nach oben hin schmaler und trägt die Zähne. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
7	Foramen mentale	Die Foramina mentalia liegen bei Erwachsenen auf Höhe der 1. und 2. Molaren auf halber Strecke zwischen dem Alveolarrand und der Basis. Aufgrund der schwachen Entwicklung des Basalbogens, liegen diese bei Neugeborenen näher an der Basis. Bei zahnlosen Unterkiefern können die Foramina mentalia durch die Rückbildung der Pars alveolaris auch frei vorliegen. Die Foramina mentalia lassen die Nervi, Arteriae und Venae mentales aus der Canalis mandibulae zur Haut austreten und

		dienen als Druckpunkte für den dritten Trigemiusast. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
8	Tuberculum mentale	Die anterior hervorragenden Tubercula mentalia (Kinnhöcker) befinden sich lateral und beidseitig von der Protuberantia mentalis, welche mit dieser zusammen das Kinn (Mentum) bilden. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
9	Protuberantia mentalis	Die auf der Mittellinie des Corpus mandibulae liegende Protuberantia mentalis ist ein hervortretendes dreieckiges Feld, welches nach oben in einem Vorsprung und nach unten in paarige Höcker (Tubercula mentalia) ausläuft und mit diesen das Kinn (Mentum) bildet. Durch die Protuberantia mentalis sind beide Hälften der Mandibula miteinander verbunden. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
10	Fossa digastrica	Die Fossa digastrica befindet sich superolateral der Mittellinie aus der posterioren Ansicht der Mandibula, wo sich der Knochen zu einer erbsen- bis bohnen große Grube vertieft. Sie dient als Ansatzstelle des Musculus digastricus. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
11	Sulcus mylohyoidea	Der Sulcus mylohyoideus ist eine Furche, die beim Foramen mandibulae beginnt und anteroinferior unterhalb der Linea mylohyoidea verläuft und den Nervus mylohyoideus, der vom Nervus alveolaris inferior abgeht, trägt. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
12	Lingula mandibulae	Die Lingula mandibulae ist ein Knochenblatt und befindet sich anteriosuperior des Foramen mandibulae. Es dient als Ansatz des Ligamentum Sphenomandibulare. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
13	Foramen mandibulae	Die Foramina mandibulae befinden sich auf der Innenseite der Mandibula auf Höhe der Kauflächen der Prämolaren und ungefähr 1 cm höher als die Okklualebene hinter der Linea mylohyoidea. Diese sind mit den Foramina mentalia durch den Canalis mandibulae miteinander verbunden. Außerdem verlaufen dort der Nervus alveolaris inferior und die Gefäße Ateria und Vena alveolaris inferior schräg nach Richtung Corpus mandibulae. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
14	Arcus mandibulae	Bei dem Arcus alveolaris handelt es sich um einen parabelförmiger freier Rand der Pars alveolaris auf der Oberseite des Corpus mandibulae, welcher kleiner und enger als der Körperbogen ist. [1],[2],[3],[5],[7],[8]
15	Fossa sublingualis	Die Fovea sublingualis ist eine rundliche und flache Grube, die sich auf der Innenseite der Mandibula oberhalb der Spina mentalis und über dem vorderen Drittel der Linea mylohyoidea befindet. Sie dient dem Sitz der gleichnamigen Drüse, der Glandula sublingualis. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
16	Proc. coronoideus	Der Processus coronoideus ist Teil des Ramus mandibulae und hat eine flache, dreieckige und kranial zeigende Form. Beim Erwachsenen ist dieser spitz, bei Greisen hingegen säbelförmig nach hinten gekrümmt. Bei starker Muskulatur weist er eine stumpfe und abgerundete Form auf. Von dem Processus coronoideus geht die Linea obliqua ab. Durch die Incisura mandibulae ist dieser von dem Processus condylaris getrennt. Er dient als Ansatzstelle des Musculus temporalis. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
17	Proc. condylaris	Der Processus condylaris befindet sich am superoposterioren Ende des Ramus mandibulae und wird durch die Incisura mandibulae vom Processus coronoideus getrennt. Er trägt den Caput mandibulae und mündet in das kurze Collum mandibulae mit der Fovea pterygoidea. Dabei verbindet dieser die Mandibula mit dem Os temporale durch das Kiefergelenk. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]

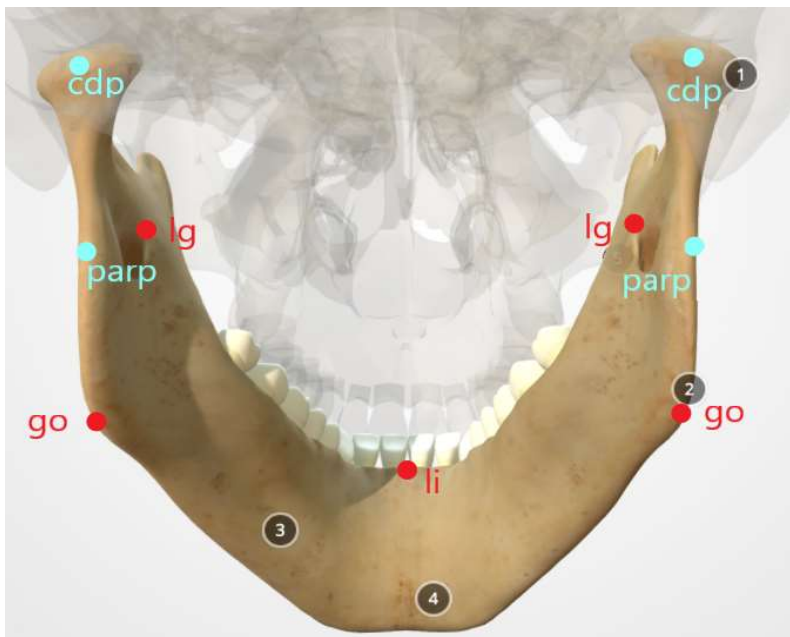
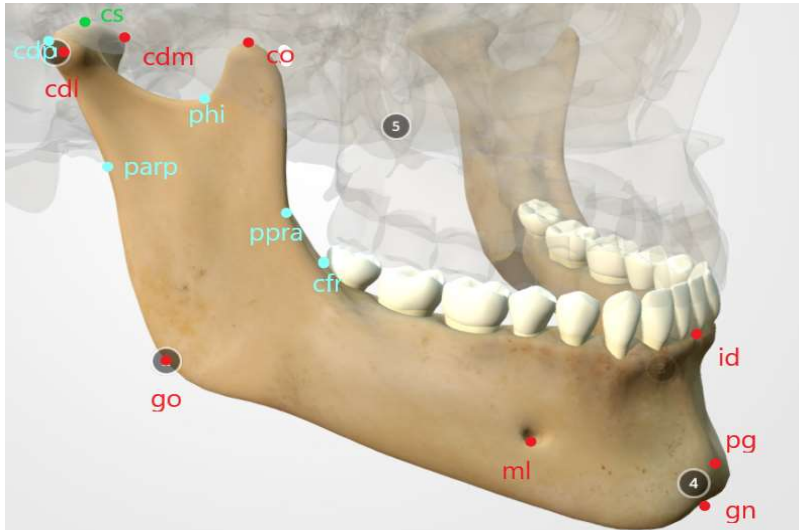
18	Incisura mandibula	Die Incisura mandibulae ist eine eingekerbte obere Grenze, welche den Processus coronoideus und den Processus condylaris voneinander trennt. Über dieser ziehen der Nervus massetricus und der Musculus masseter. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
19	Collum mandibulae	Bei dem Collum mandibulae handelt es sich um den Hals des Unterkiefers, welcher unterhalb des Caput mandibulae sitzt und an seiner Vorderfläche eine Grube (Fovea pterygoidea) zeigt. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
20	Caput mandibulae	Das Caput mandibulae befindet sich am kranialen Ende des Processus condylaris, welches walzen- bis ellipsenartig mit starken individuellen Variationen und bei Neugeborenen noch flach vorliegt. Während die Vorderseite mit Faserknorpel bedeckt ist, der im mittleren Bereich dicker als in den Randzonen ist, ist die Rückfläche intrakapsulär mit straffem Bindegewebe bekleidet. Das Caput mandibulae bildet den Gelenkkopf des Unterkiefers und artikuliert somit mit der Fossa mandibularis des Os temporale. Das Caput selbst ist kleiner als die Gelenkpfanne, wobei die Walzenstruktur einer zusätzlich erhöhten Beweglichkeit dient, da somit auch Drehbewegungen um eine vertikale Achse möglich sind. Bei geschlossener Mundöffnung bis hin zu einer Mundöffnung von 15° bleibt das Caput mandibulae in der Fossa mandibularis, bei einer Öffnung größer 15° verlagert es sich nach vorn auf das Tuberculum articulare. Dadurch verschiebt sich die Gelenkachse, die quer durch das Caput mandibulae verläuft, nach ventral. Außerdem wird durch das Caput inferius das Caput mandibulae nach vorne gezogen. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
21	Linea mylohyoidea	Die Linea mylohyoidea ist eine von schräg hinten oben nach vorn unten ziehende Leiste auf der Innenfläche des Unterkiefers. Sie endet auf Höhe des dritten Molarens und dient als Ursprung des M. mylohyoideus, welcher vom gleichnamigen, aus dem N. alveolaris inferior abgehenden, Nerv versorgt wird und die Ebene des Mundbodens markiert. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
22	Fovea submandibularis	Die Fovea submandibularis ist eine rundliche und flache Grube, die sich auf der Innenseite der Mandibula oberhalb der Spina mentalis und unterhalb der hinteren zwei Drittel der Linea mylohyoidea befindet. Sie dient dem Sitz der gleichnamigen Drüse, der Glandula submandibularis. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
23	Fossa retromolaris	Die Fossa retromolaris ist ein Teil der Pars alveolaris, bei welcher es sich um eine Grube im Trigonum retromolare handelt. [1],[2],[3],[4],[5],[7]
24	Septum interalveolaris	Bei den Septa interalveolaria handelt es sich um Knochenwände, welche die Zahnfächer (Alveoli dentales) voneinander trennen. Diese sind Teil der Pars alveolaris. [1],[2],[4],[5],[6],[8]
25	Alveolus dentales	Die Alveoli dentales sind Teil der Pars alveolaris bei denen es sich um Zahnfächer für die Wurzeln der Zähne handelt, deren knöcherne Wände eine Vielzahl an Löchern aufweisen und die von außen Spongiosatrabekel einstrahlen. Durch die Löcher dringen Blut- und Lymphgefäße in den desmodontalen Spalt und bilden ein dichtes Korbgeflecht um die Zahnwurzeln. [1],[2],[3],[4],[5],[7],[8]
26	Trigonum retromolaris	Das Trigonum retromolare ist eine dreieckige Vertiefung, welche sich hinter dem letzten Molaren des Unterkiefers auf der medialen Oberseite befindet. Es ist außerdem eine Ansatzstelle der Raphe pterygomandibularis. [1],[2],[3],[4],[5],[7]
27	Linea obliqua	Die Linea obliqua ist eine absteigende Linie, die vom Vorderrand des

		Ramus bzw. Proc. coronoideus kommt und die Basis mandibulae von der Pars alveolaris trennt. Sie dient als Befestigungspunkt für Muskeln, die die Unterlippe herunterdrücken. [1],[3],[4],[5],[6],[7],[8]
28	Spinae mentales	Auf der Innenseite der Mandibula befinden sich nahe der Mittellinie und über dem Ende der Mylohyoid-Linie zwei Paar Spinae mentales, wobei ein Paar direkt über dem anderen liegt. Die Spina mentalis superior, welche sich in rechts und links aufteilt, ist ein oberer knöcherner Vorsprung und dient der Befestigung eines Muskelpaars (Musculus genioglossus), das in die Zunge übergeht. Der untere knöcherner Vorsprung, die Spina mentalis inferior, das sich ebenfalls in rechts und links aufteilt, dient einem Muskelpaar (Musculus geniohyoideus), das den Unterkiefer mit dem Zungenbein verbindet. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]

Quellen:

- [1] **TA:** Baud RH, Filgueira L, Fribourg PS, Neumann PE. Federal International Programme for Anatomical Terminology. 2020. <https://www4.unifr.ch/ifaa/Public/EntryPage/TA98%20Tree/Entity%20TA98%20EN/02.1.15.001%20Entity%20TA98%20EN.htm>. Zugriff 25 Mai 2021.
- [2] **FMA:** Noy NF, Musen MA, Mejino Jr., J. L., Rosse C. Foundational Model of Anatomy - Summary | NCBO BioPortal. 26.05.2021. <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/FMA>. Accessed 26 May 2021.
- [3] **Sobotta:** Paulsen F, Waschke J, Sobotta J, editors. Kopf, Hals und Neuroanatomie. 24th ed. München: Elsevier Urban & Fischer; 2017.
- [4] **Prometheus:** Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS: Kopf, Hals und Neuroanatomie. 5th ed. Georg Thieme Verlag; 2018.
- [5] **Dauber:** Dauber W, Feneis H, Spitzer G. Feneis' Bild-Lexikon der Anatomie. 10th ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2008.
- [6] **Kenhub:** Kenhub. 26.05.2021. <https://www.kenhub.com/de>. Accessed 26 May 2021.
- [7] **Gray:** Drake RL, Vogl AW, Mitchell AWM. Gray's anatomy for students. 4th ed. Philadelphia MO: Elsevier; 2019.
- [8] **Waldeyer:** Streicher J, editor. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band ; [44 Tabellen. 19th ed. Berlin: de Gruyter; 2012.

OSTEOMETRISCHE LANDMARKEN



Grün = [10]; rot = [9]; cyan: neu

Quellen:

[9] Messpunkte: Bräuer, G in Kußmann, editor. Osteometrie: Kraniometrie.

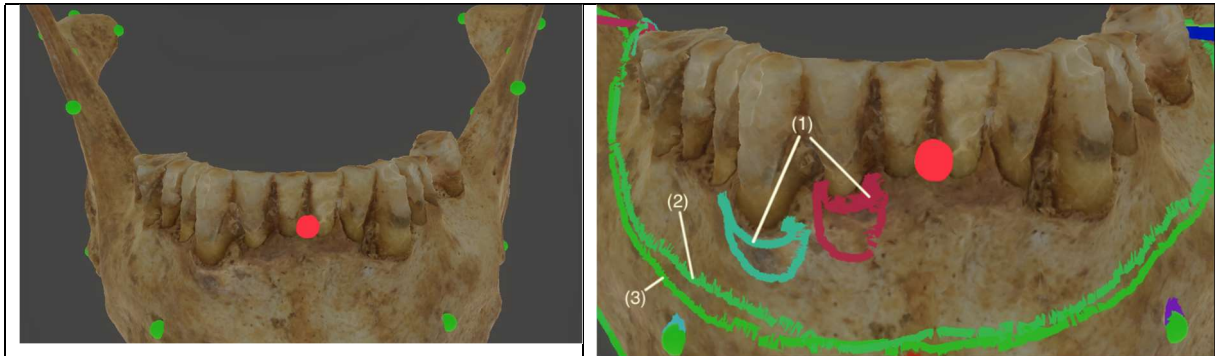
[10] Messpunkt cdl und cs: Franklin D. Determination of Sex in South African Blacks by Discriminant Function Analysis of Mandibular Linear Dimensions: A Preliminary Investigation Using the Zulu Local Population. Forensic Science, Medicine and Pathology. 2006:263–8.

Anmerkung: Die betreffenden Punkte sind jeweils rot markiert (und einmal hellrosa bei cfr rechts).

VIEWS UND OSTEOMETRISCHE LANDMARKEN

INFRADENTALE (ID)

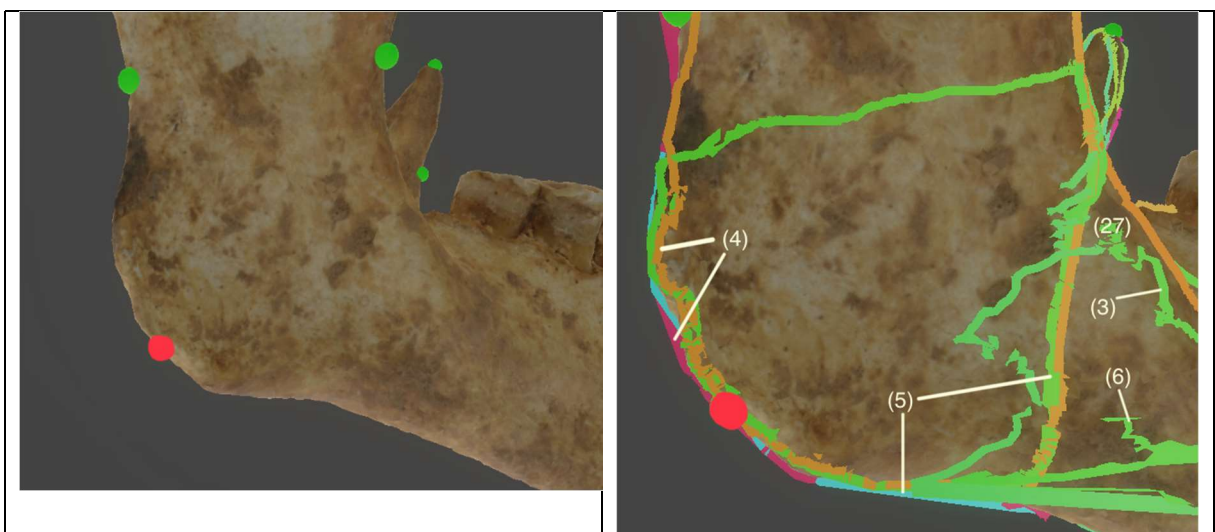
Bei dem Messpunkt **Infradentale** (kurz: id) handelt es sich um den Punkt zwischen den mittleren Incisivi, an dem die Vorderkante des Alveolarfortsatzes von der Mediansagittalebene geschnitten wird. Dieser liegt auf der anterioren Seite der Mandibula und ist Teil der Pars alveolaris. [9]

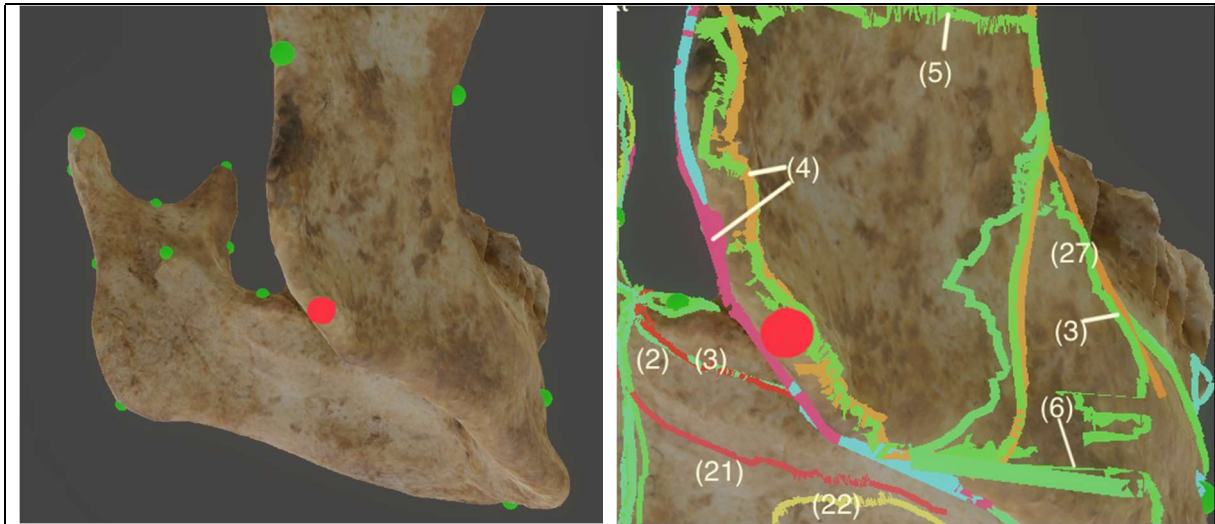


GONION (GO)

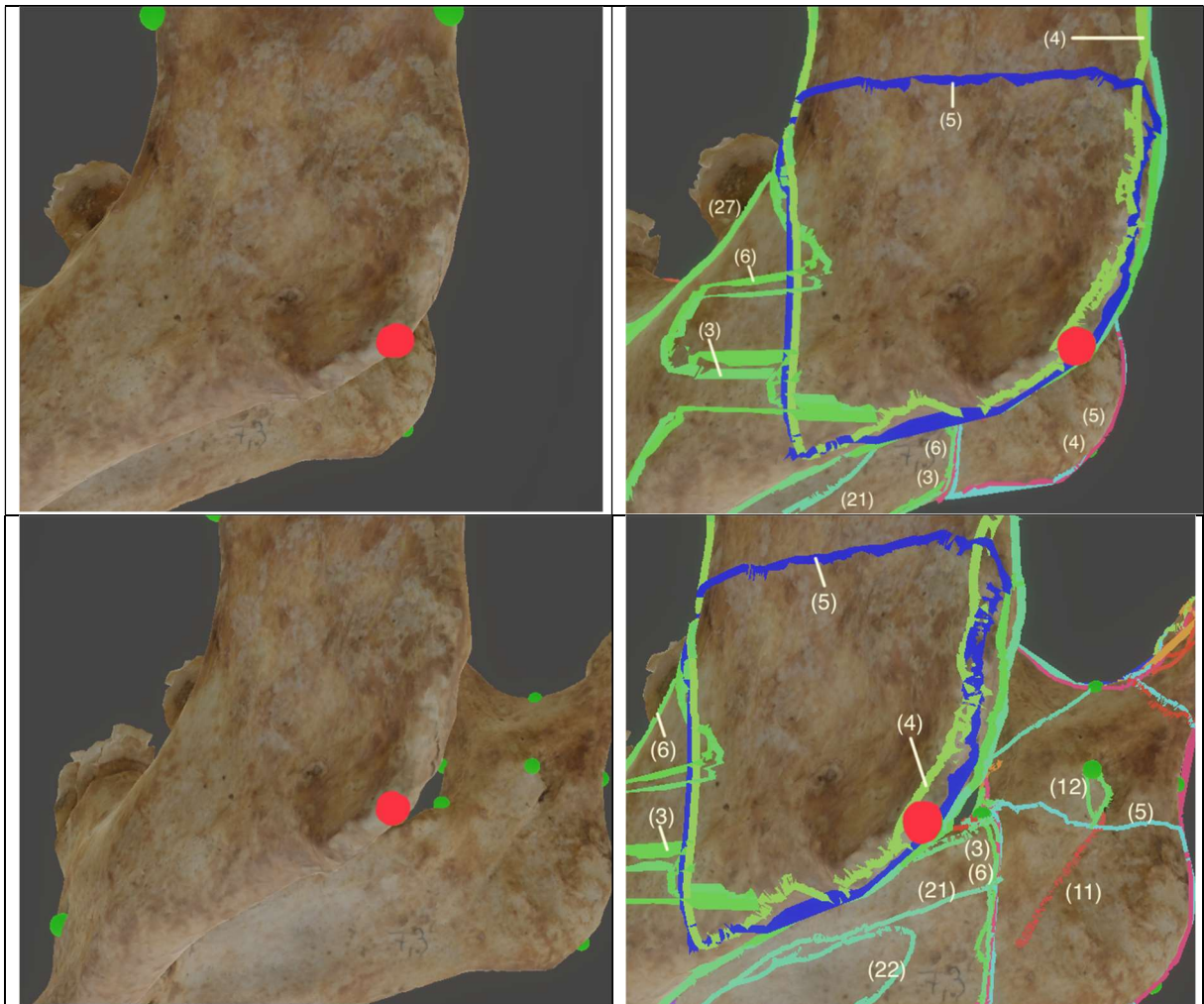
Bei dem Messpunkt **Gonion** (kurz: go) handelt es sich um den Punkt, an dem der Basalrand des Korpus und der Hinterrand des Ramus zusammentreffen bzw. um den Punkt des Unterkieferwinkels, der am meisten nach unten, hinten und außen gerichtet ist. Damit ist dieser Punkt Teil des Angulus mandibulae. [9]

Rechts:





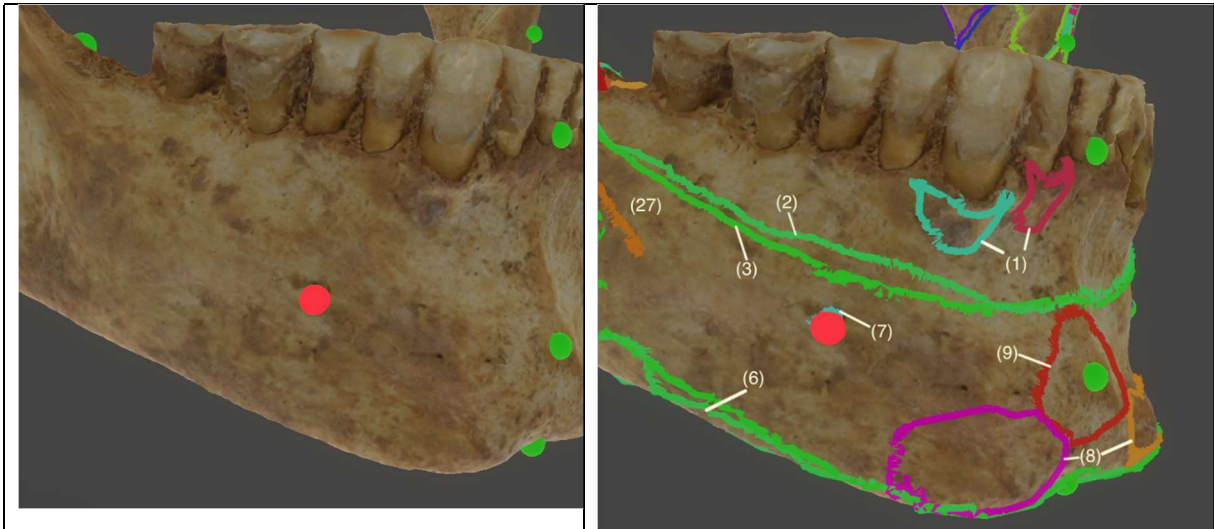
Links:



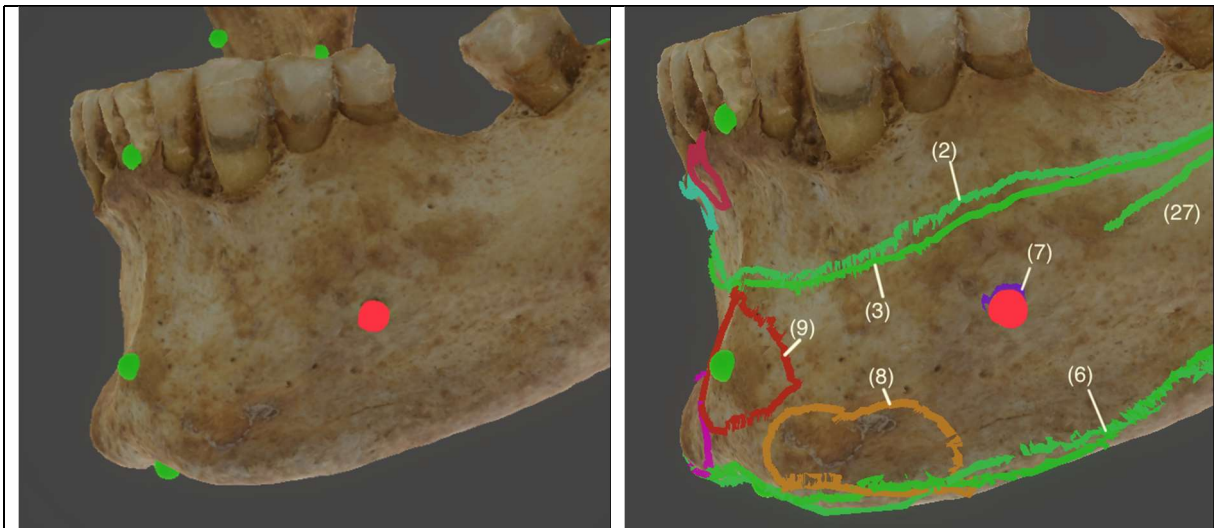
MENTALE (ML)

Bei dem Messpunkt **Mentale** (kurz: ml) handelt es sich um den tiefsten Punkt der Umrandung des Foramen mentale. [9]

Rechts:

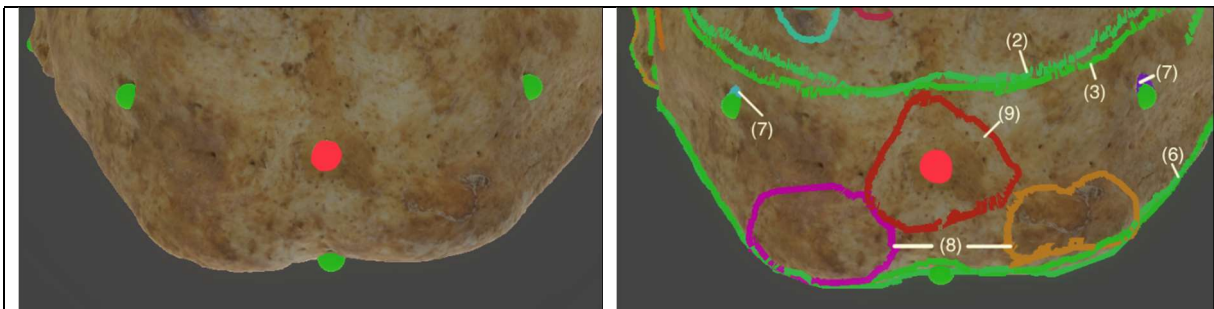


Links:



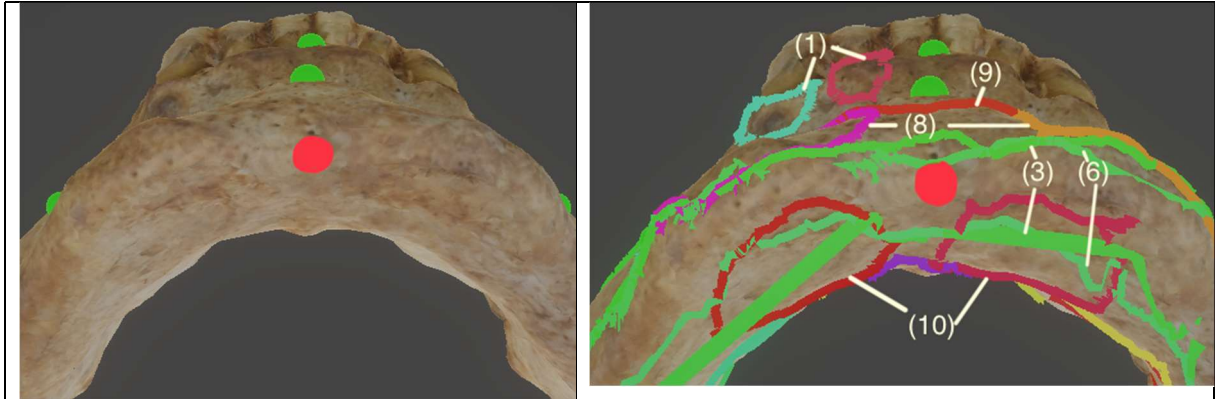
POGONION (PG)

Bei dem Messpunkt **Pogonion** (kurz: pg) handelt es sich um den am weitesten vorragende Punkt der Protuberantia mentalis in der Mediansagittalebene. [9]



GNATHION (GN)

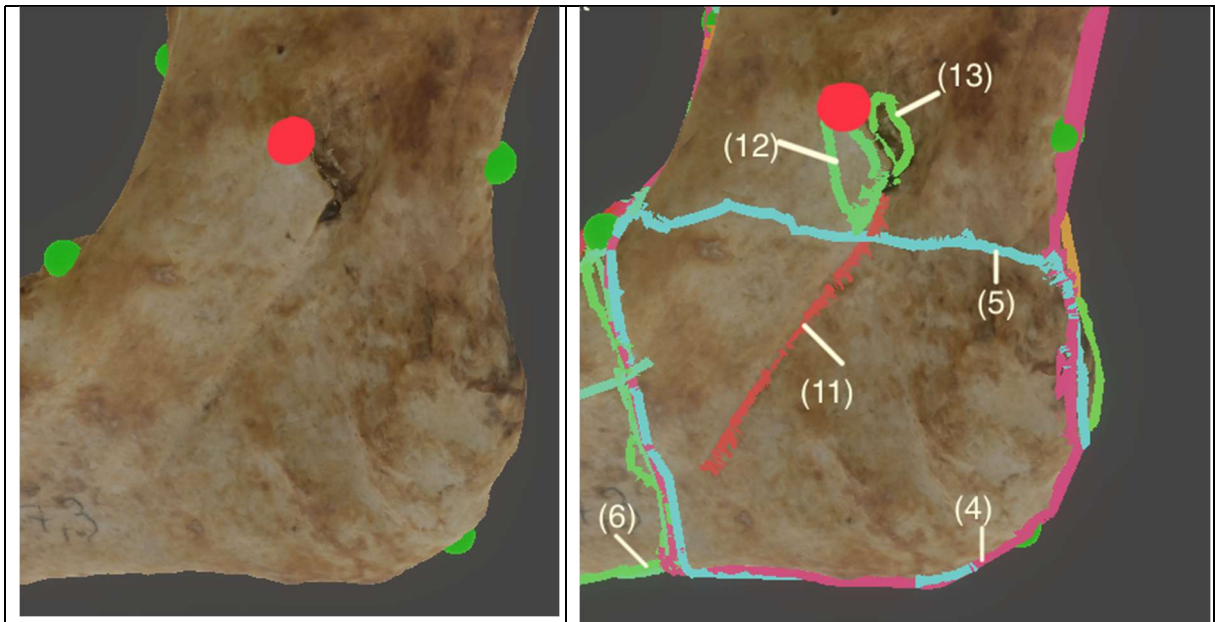
Bei dem Messpunkt **Gnathion** (kurz: gn), der Teil des Mentums ist, handelt es sich um den Punkt, der in der Mediansagittalebene am meisten nach unten vorragt. Dabei kann es vorkommen, dass dieser nicht dem am tiefsten gelegenen Punkt entspricht, da die seitlich angrenzenden Teile -besonders bei breiter, eckiger Kinnbildung - noch weiter nach unten vorragen können. [9]



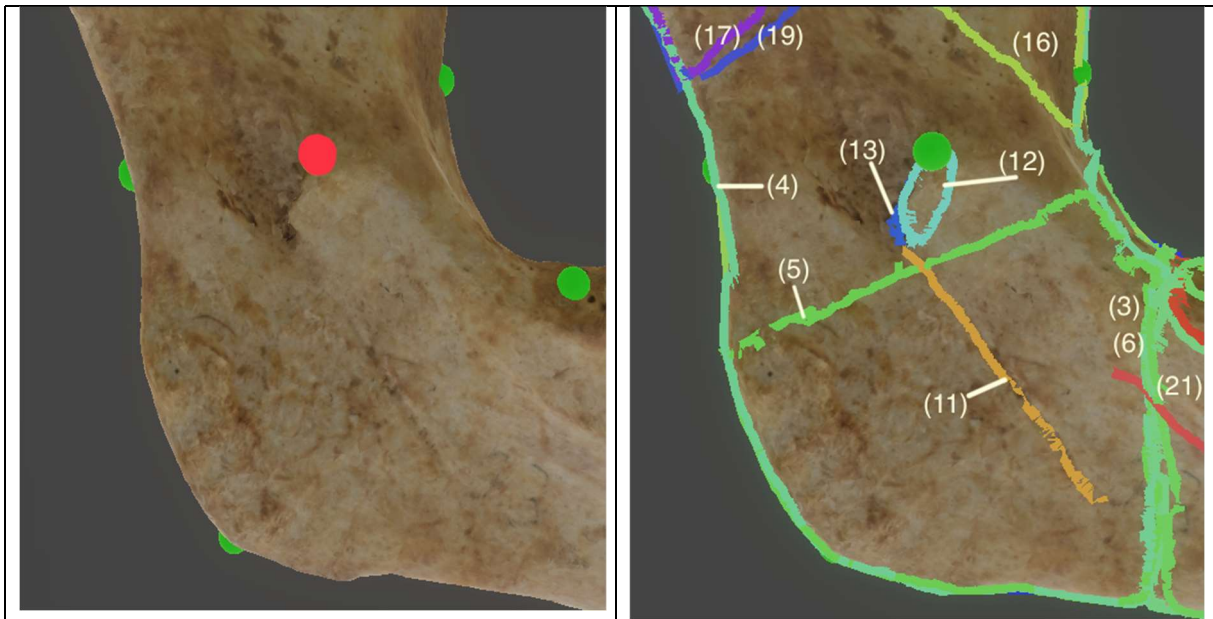
LINGULARE (LG)

Bei dem Messpunkt **Lingulare** (kurz: lg) handelt es sich um die obere Spitze der Lingula mandibulae und ist somit Teil der Lingula mandibulae. [9]

Rechts:

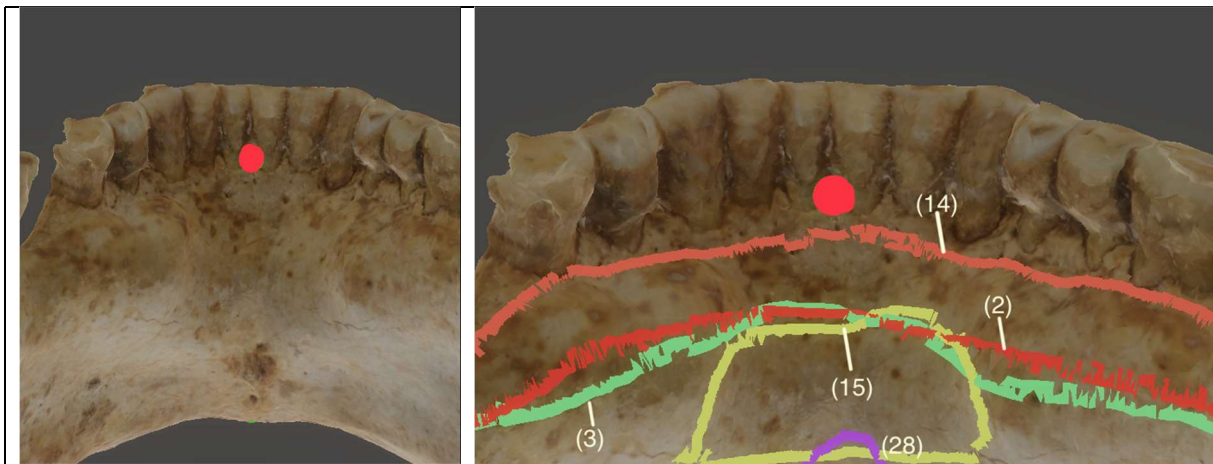


Links:



LINGUALE (LI)

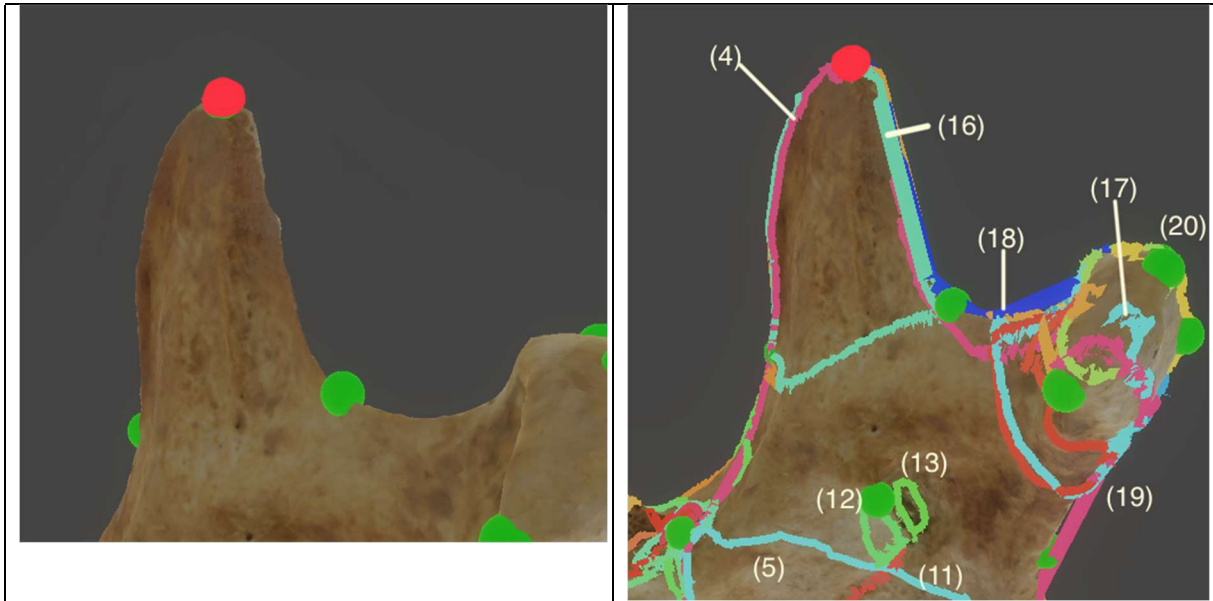
Bei dem Messpunkt **Linguale** (kurz: li), welcher ein Teil der posterioren Pars alveolaris ist, handelt es sich um den oberen Endpunkt der Symphyse des Unterkiefers an der lingualen Fläche. [9]



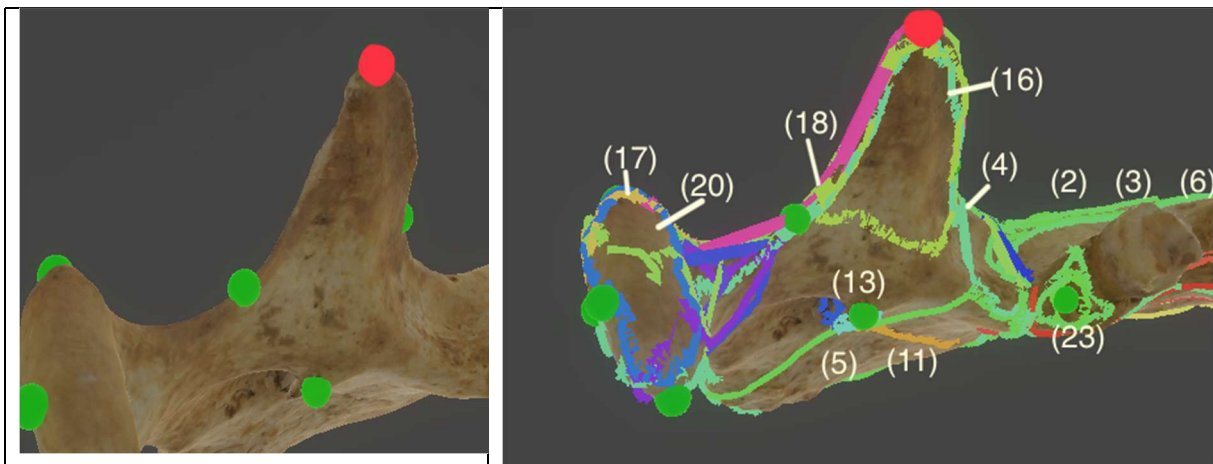
CORONION (CR)

Bei dem Messpunkt **Coronion** bzw. Koronion (kurz: cr bzw. kr) handelt es sich um die Spitze des Proc. coronoideus. Liegt der Proc. coronoideus zweizackig vor, wird die vordere Spitze als Messpunkt genommen. [9]

Rechts:



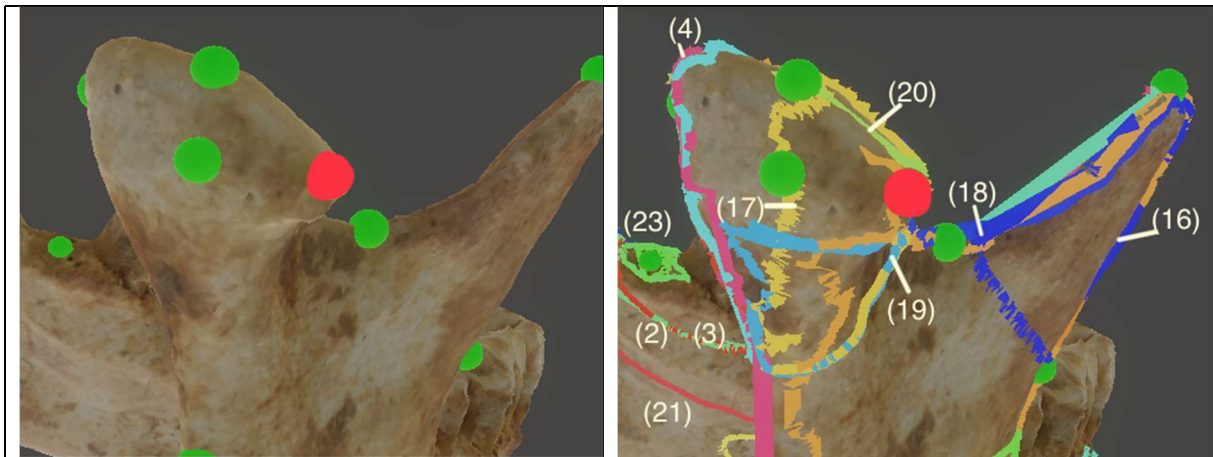
Links:



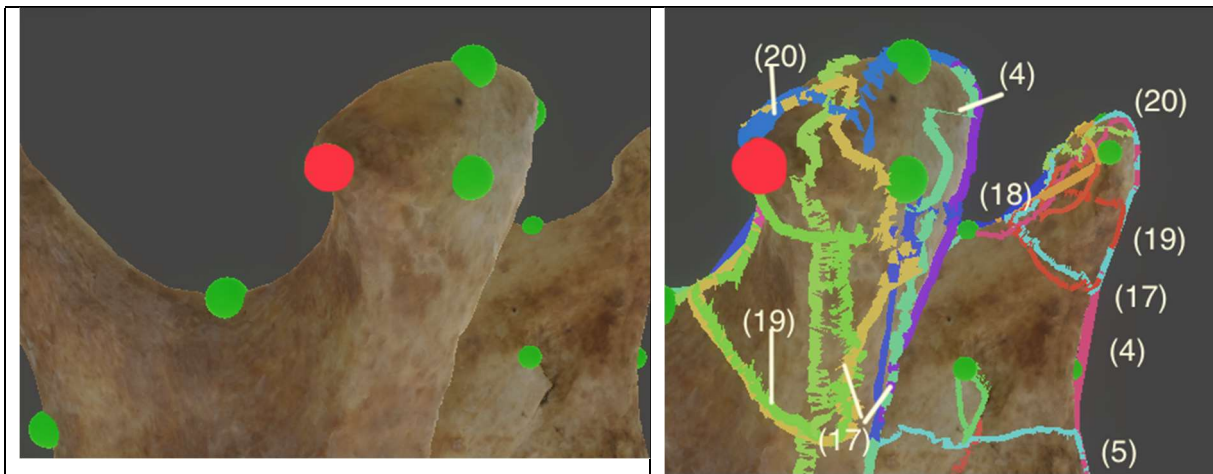
CONDYLION LATERALE (CDL)

Bei dem Messpunkt **Condylion laterale** bzw. Kondylion laterale (kurz: cdl bzw. kdl) handelt es sich um den lateralen Endpunkt, d.h. um den lateralsten Punkt des Proc. condylaris und ist somit Teil des Caput mandibulae. [9], [10]

Rechts:



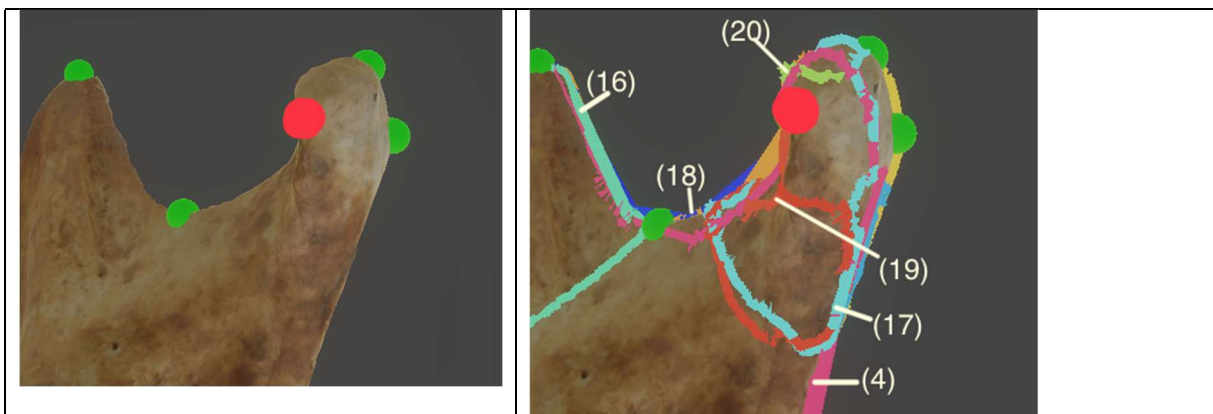
Links:



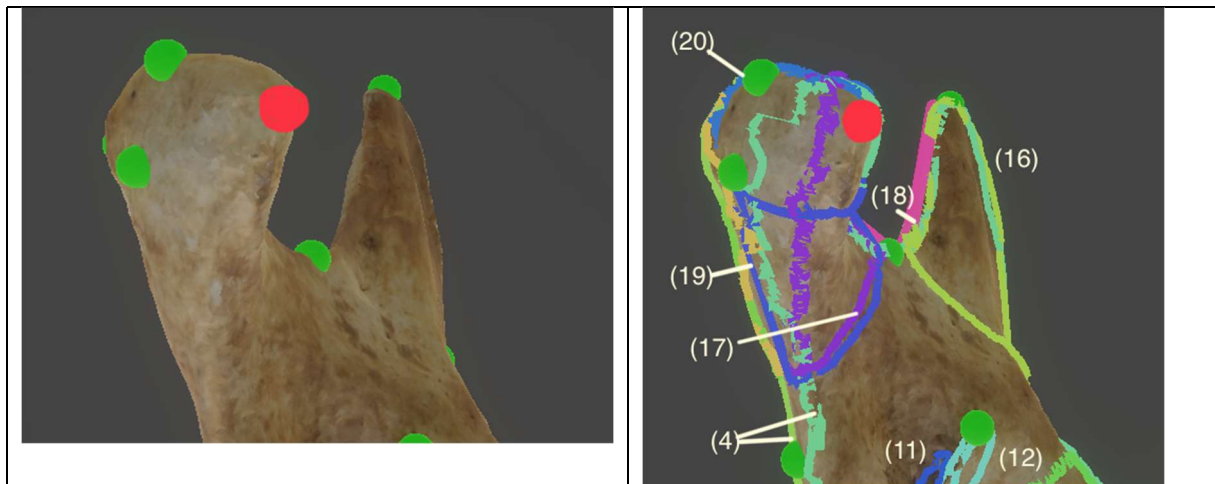
CONDYLION MEDIALE (CDM)

Bei dem Messpunkt **Condylion mediale** bzw. Kondylion mediale (kurz: cdm bzw. kdm) handelt es sich um den medialen Endpunkt des Proc. condylaris und ist somit Teil des Caput mandibulae. [9]

Rechts:



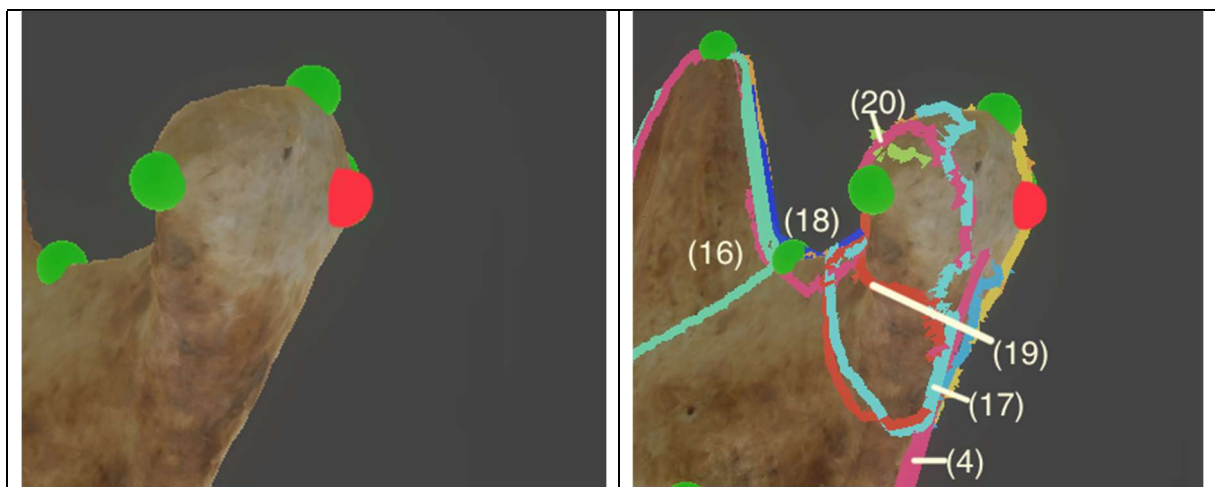
Links:

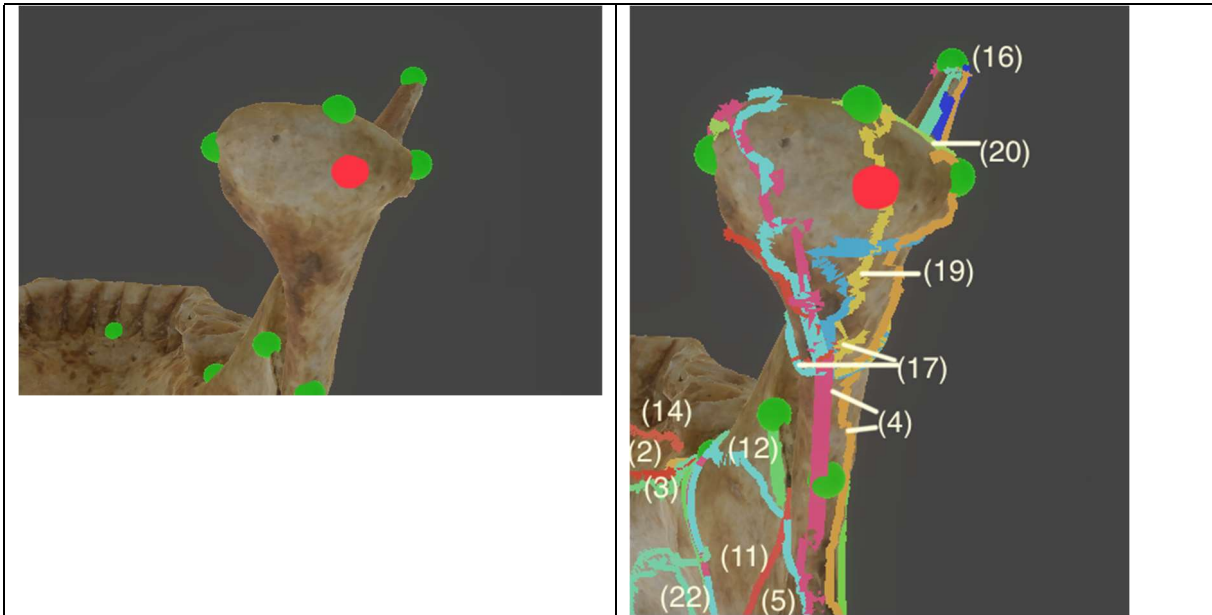


CONDYLION POSTERIORE (CDP)

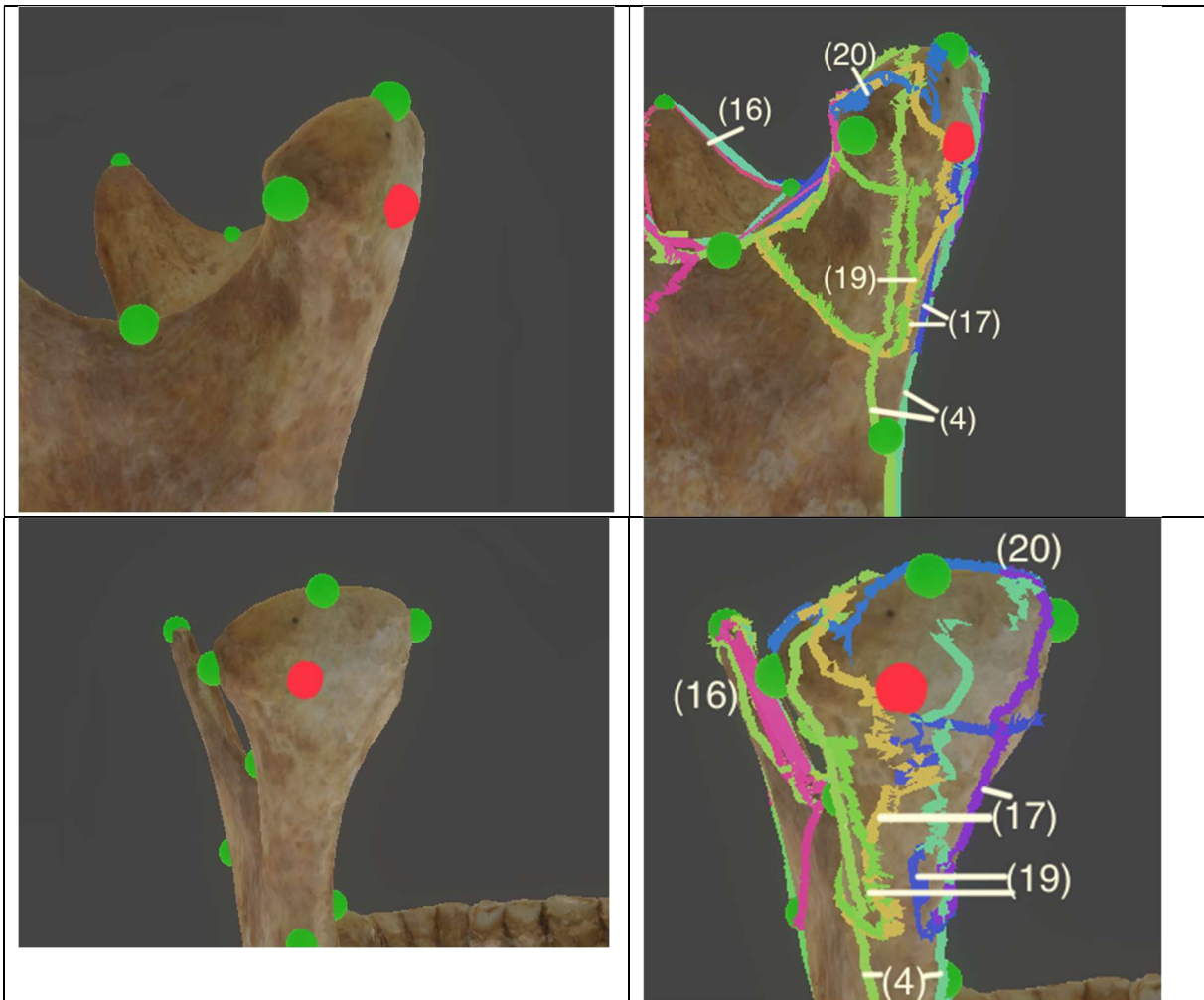
Bei dem Messpunkt **Condylion posteriore** bzw. Kondylion posteriore (kurz: cdp bzw. kdp) handelt es sich um den posterior Endpunkt des Proc. condylaris und ist somit Teil des Caput mandibulae.

Rechts:





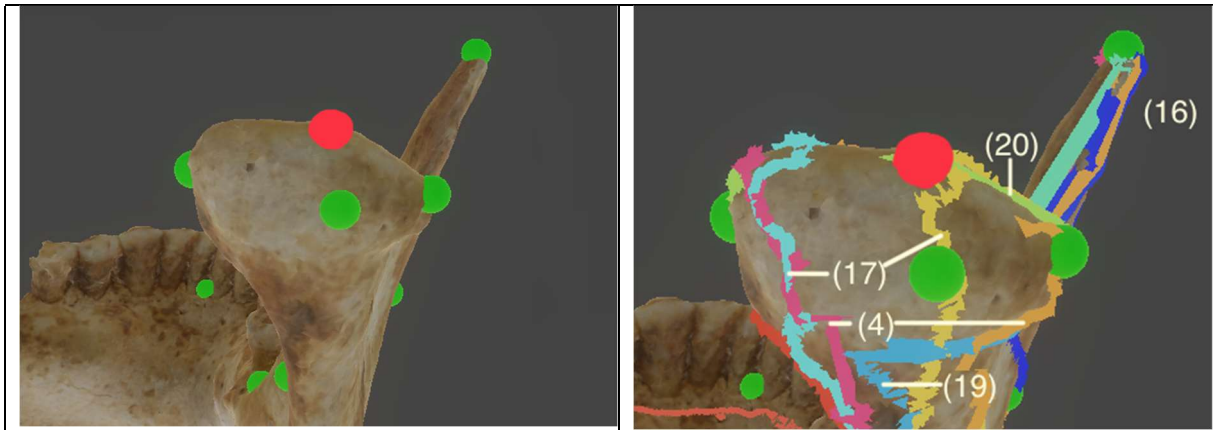
Links:



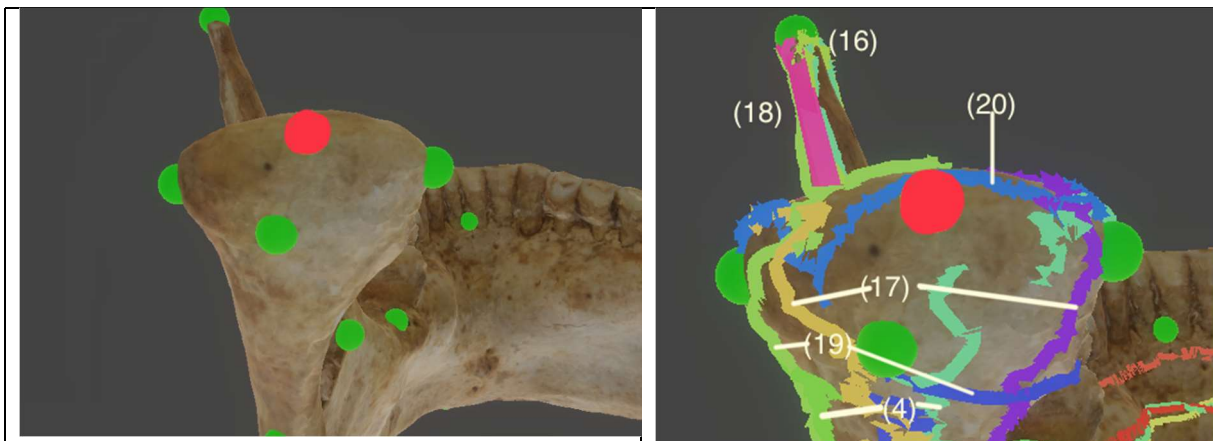
CONDYLION SUPERIOR (CS)

Bei dem Messpunkt **Condylion superior** bzw. Kondylion superior (kurz: cs bzw. ks) handelt es sich um den superioren Endpunkt des Proc. condylaris und ist somit Teil des Caput mandibulae. [10]

Rechts:



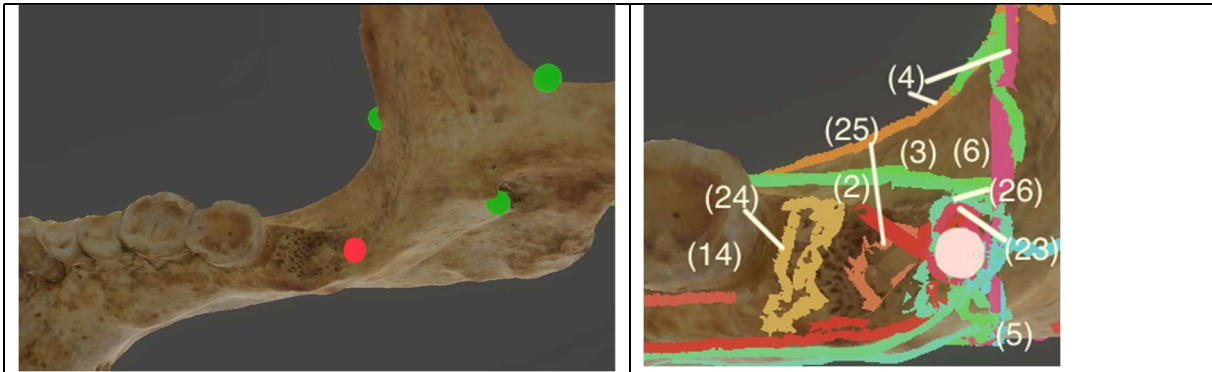
Links:



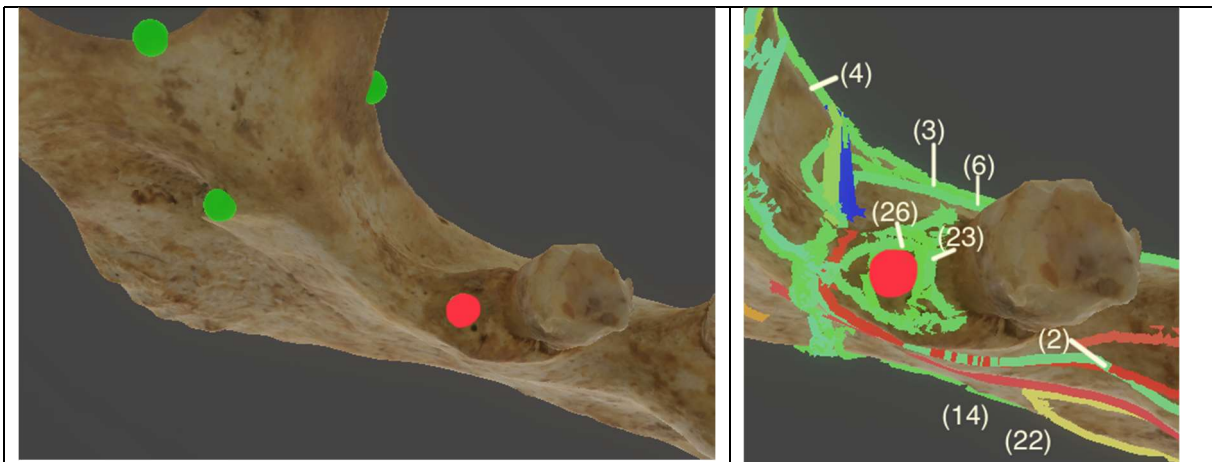
CENTRUM FOSSAE RETROMOLARIS (CFR)

Bei dem Messpunkt **Centrum fossae retromolaris** (kurz: cfr) handelt es sich um den Mittelpunkt der Fossa retromolaris.

Rechts:



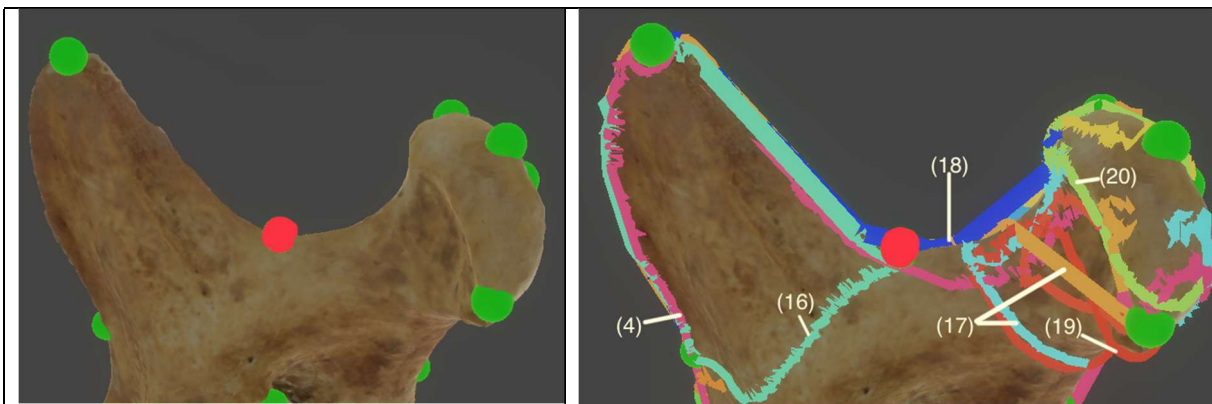
Links:



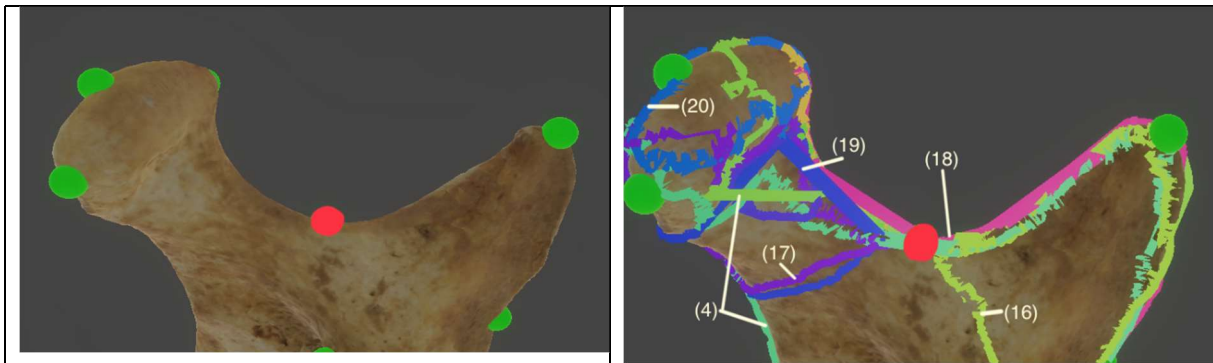
PUNCTUM HUMILIS INCISURAE (PHI)

Bei dem Messpunkt **Punctum humilis incisurae** (kurz: phi) handelt sich um den tiefsten Punkt der Incisura mandibulae.

Rechts:



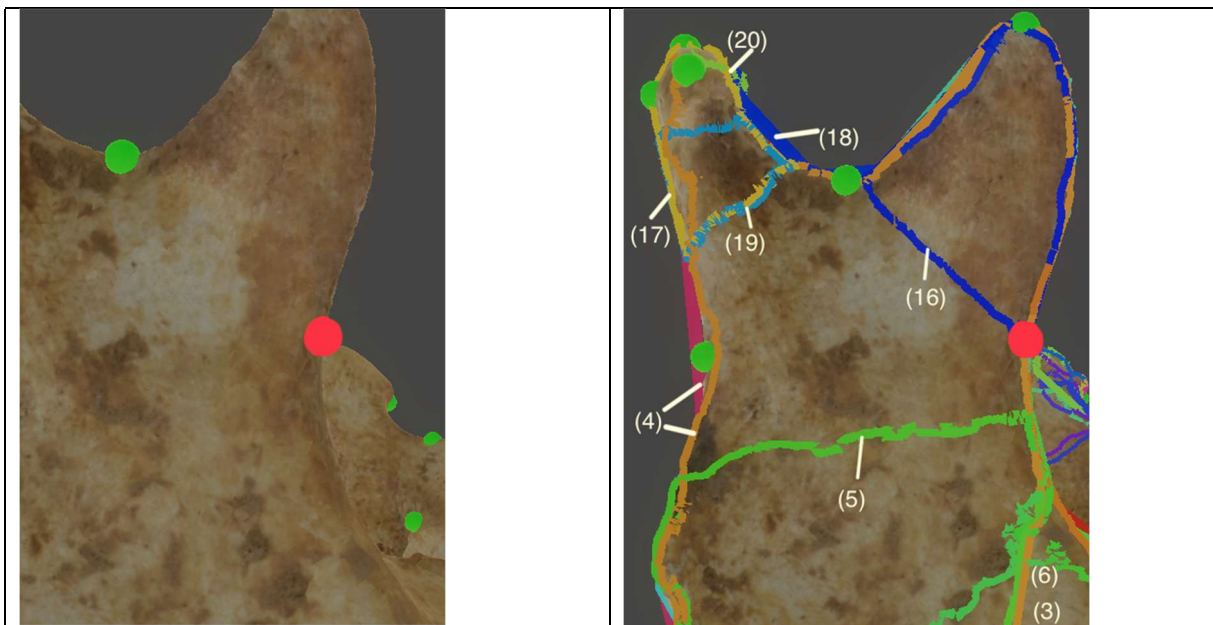
Links:

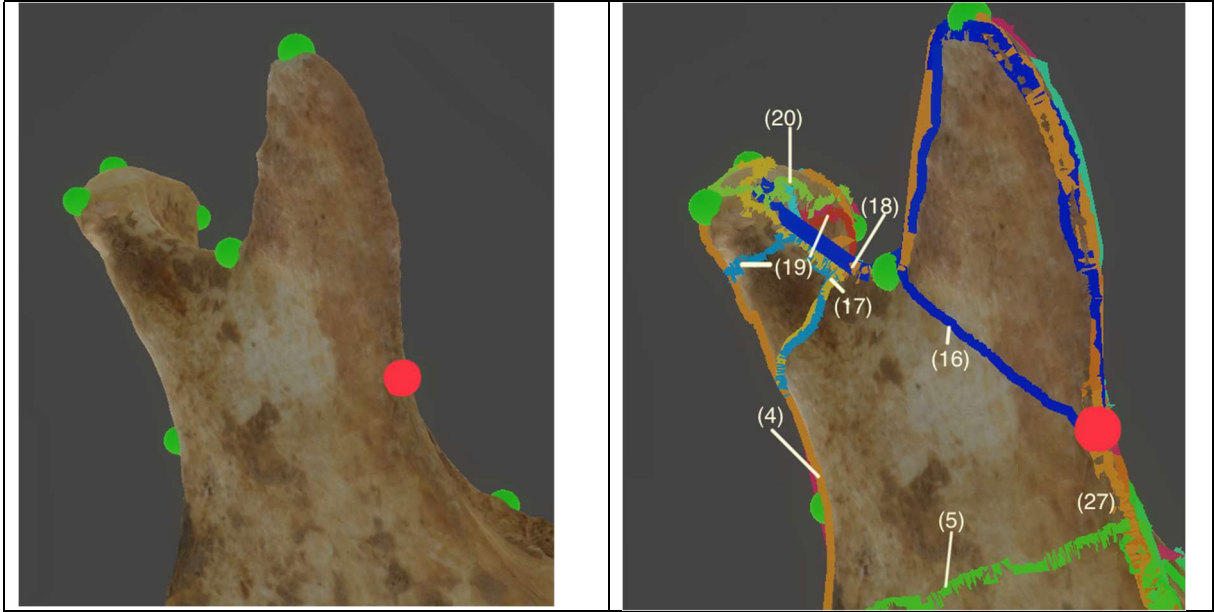


PUNCTUM POSTERIORIS RAMI MANDIBULAE ANTERIORIS (PPRA)

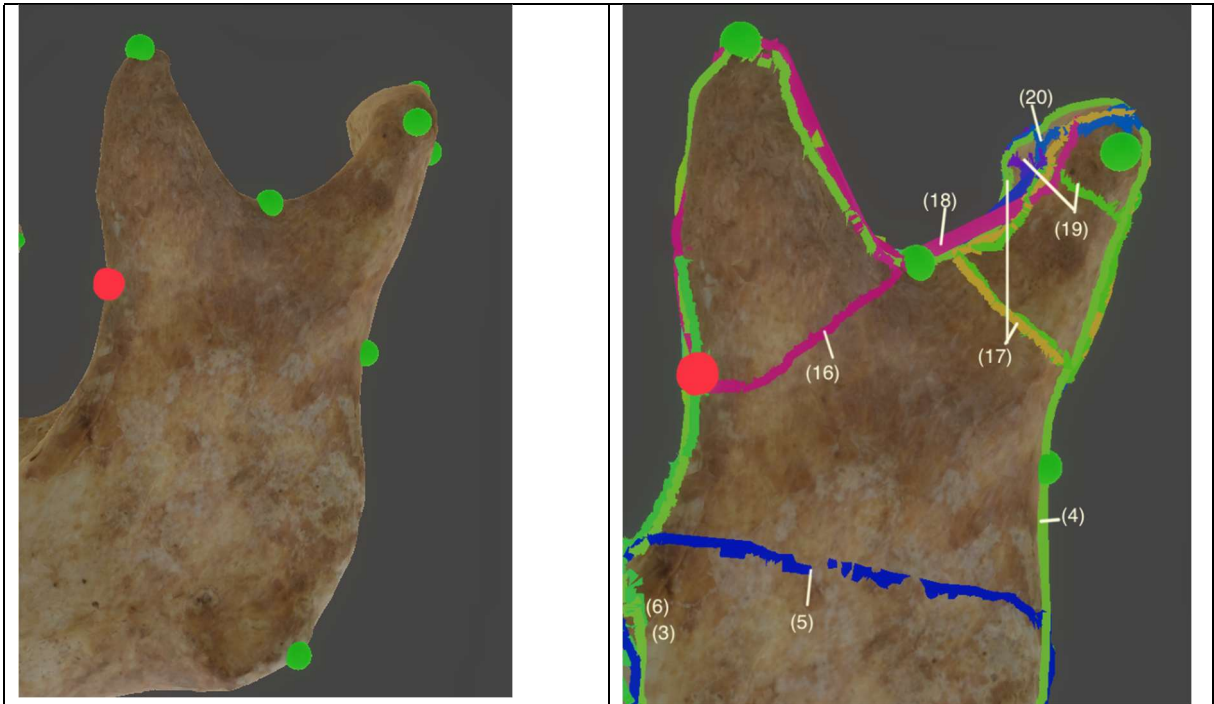
Bei dem Messpunkt **Punctum posterioris rami mandibulae anterioris** (kurz: ppra) handelt es sich um den posteriorsten Punkt des anterioren Ramus mandibulae.

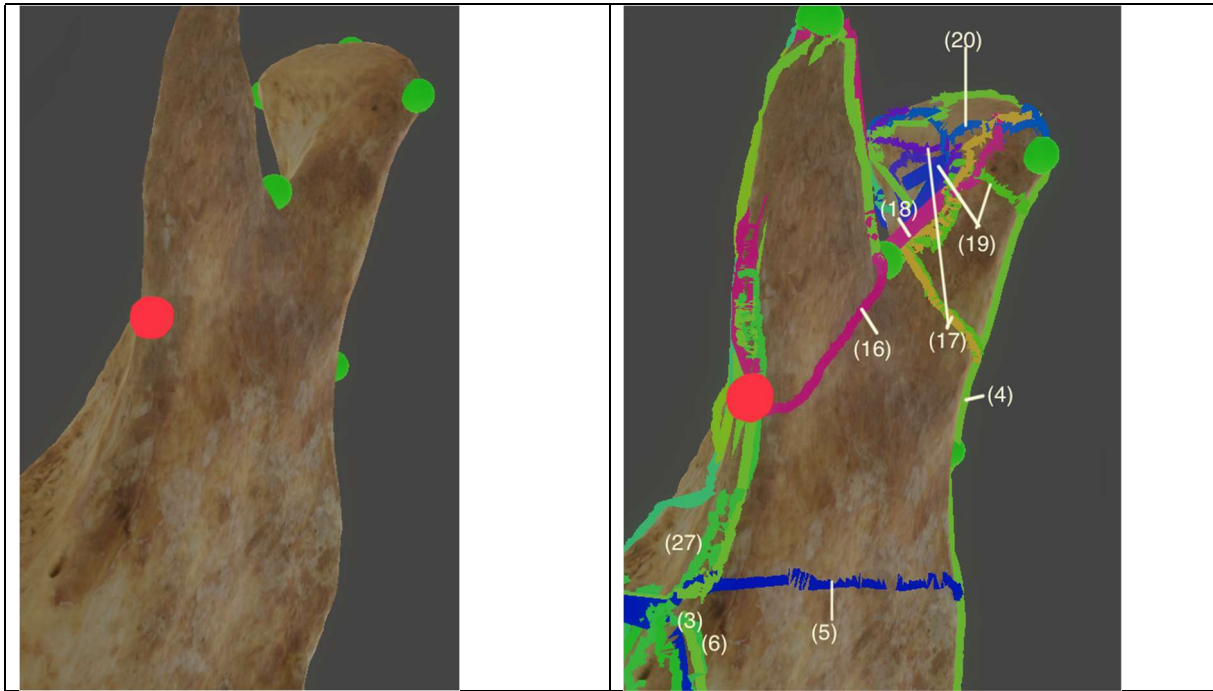
Rechts:





Links:

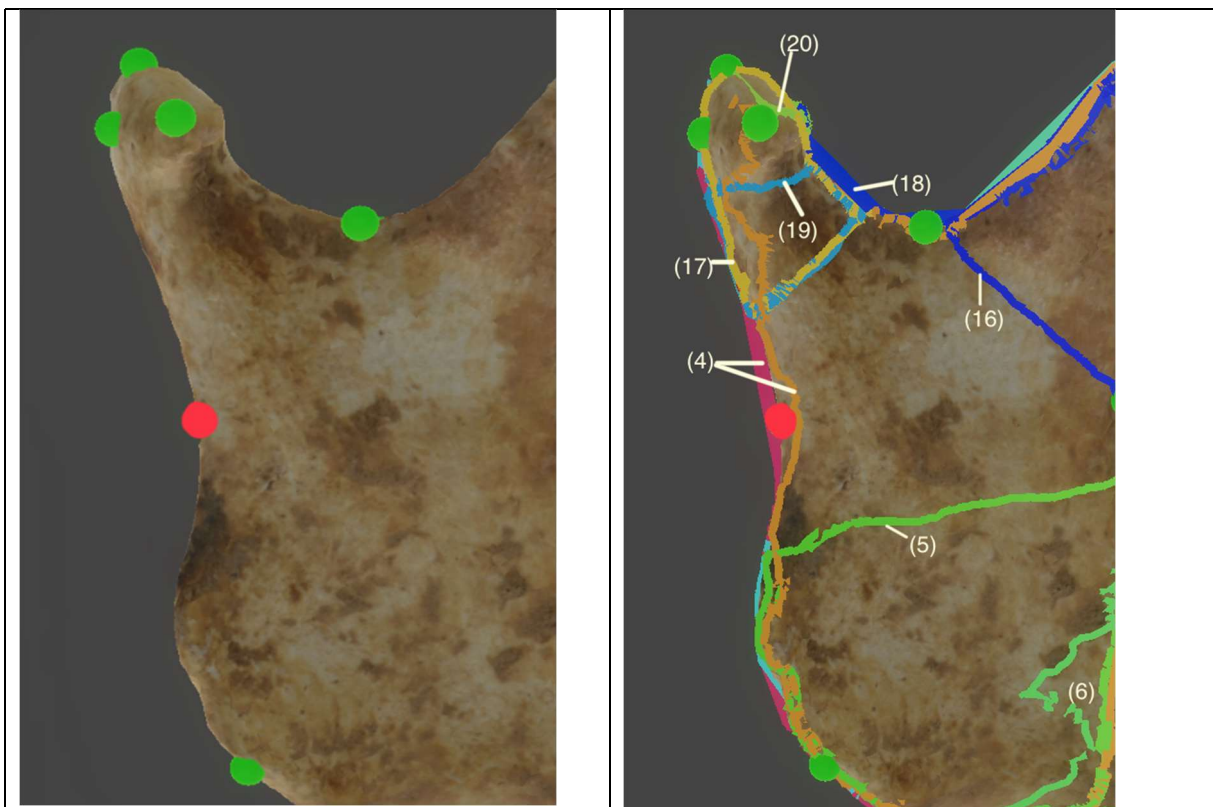


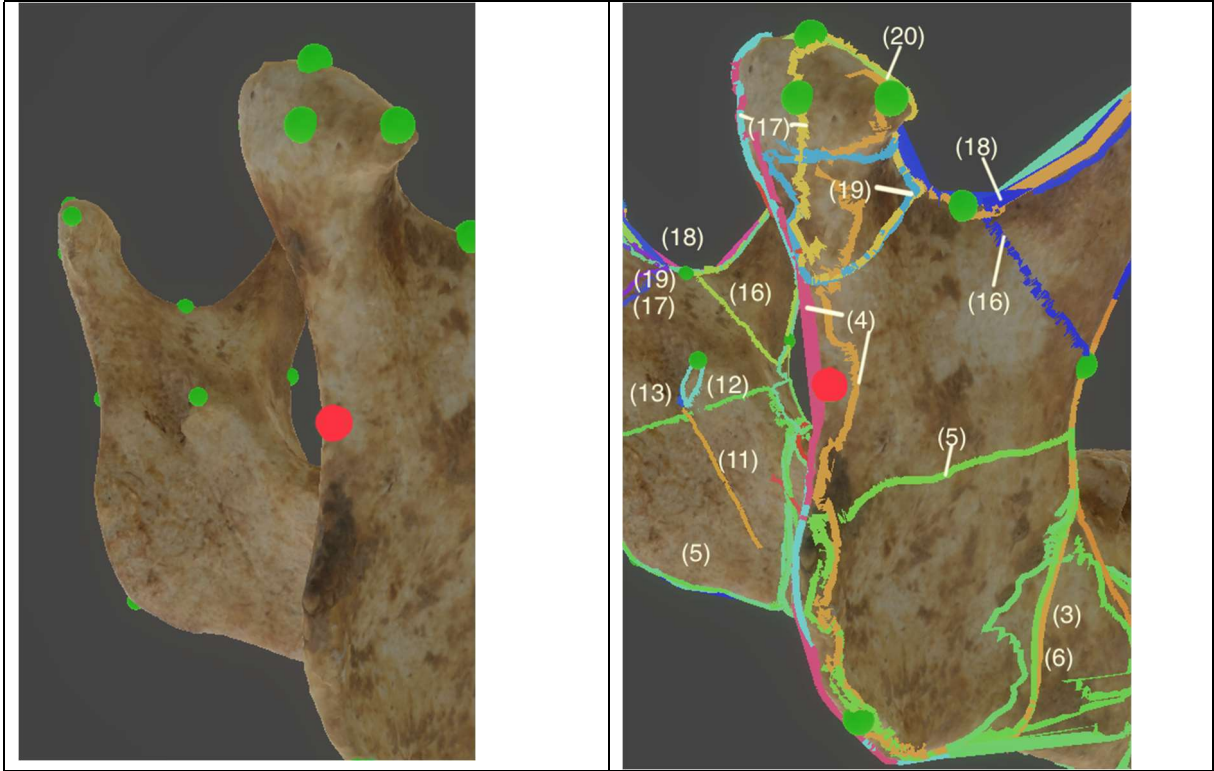


PUNCTUM ANTERIORIS RAMI MANDIBULAE POSTERIORIS (PARP)

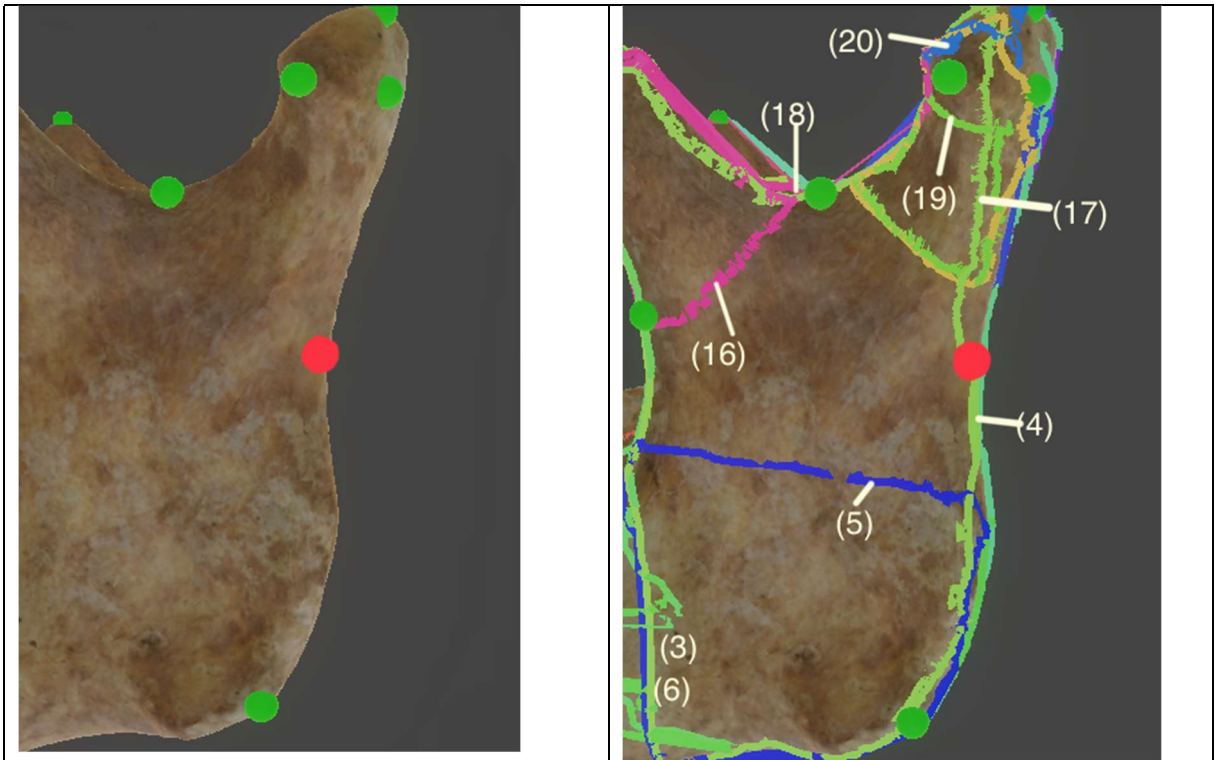
Bei dem Messpunkt **Punctum anterioris rami mandibulae posterioris** (kurz: parp) handelt es sich um den anteriorsten Punkt des posterioren Ramus mandibulae.

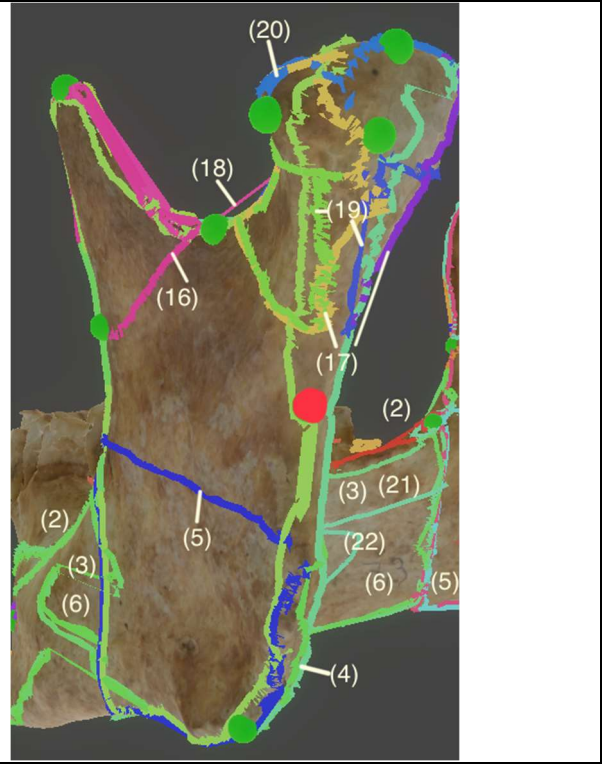
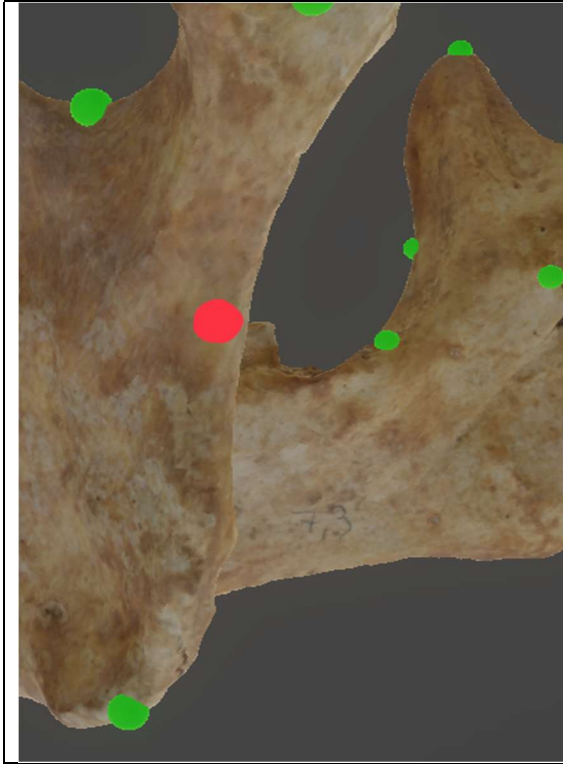
Rechts:





Links:





A.5. Ergebnisse der Fehlerberechnung

Auf den folgenden Seiten befinden sich die restlichen Ergebnisse der Fehlerberechnung aus dem Kapitel 4.4 Fehlerberechnung von Seite 56.

Tabelle A.3.: Ergebnisse des TEMs (Messstrecke in mm, Winkel in °), rTEMs (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den Messreihen I-II, I-III und II-III aller vermessenen Individuen. (r) = rechts, (l) = links. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messung	I-II			I-III			II-III		
	TEM	rTEM	R	TEM	rTEM	R	TEM	rTEM	R
ml-ml	0,56	1,16	0,95	0,56	1,16	0,96	0,23	0,48	0,99
ml(r)-id	0,22	0,68	0,99	0,29	0,91	0,98	0,39	1,20	0,96
ml(r)-gn	0,52	0,76	0,98	0,44	0,78	0,98	0,23	0,76	0,98
ml(r)-go(r)	0,32	0,52	0,99	0,30	0,50	0,99	0,23	0,37	0,99
ml(r)-go(l)	0,21	0,22	1,00	0,28	0,30	1,00	0,28	0,30	1,00
ml(r)-pg	0,52	1,85	0,94	0,43	1,52	0,96	0,27	0,95	0,98
ml(r)-lg(r)	0,23	0,36	0,99	0,32	0,49	0,99	0,35	0,53	0,99
ml(r)-lg(l)	0,90	0,99	0,96	0,88	0,97	0,96	0,38	0,42	0,99
ml(r)-li	0,29	0,91	0,98	0,42	1,31	0,95	0,37	1,16	0,97
ml(r)-cr(r)	0,36	0,45	0,99	1,48	1,84	0,94	1,54	1,92	0,93
ml(r)-cr(l)	0,34	0,32	1,00	0,44	0,42	0,99	0,27	0,26	1,00
ml(r)-cdl(r)	0,45	0,46	0,99	0,57	0,58	0,98	0,38	0,38	0,99
ml(r)-cdl(l)	2,04	1,65	0,88	0,47	0,38	0,99	1,97	1,59	0,89
ml(r)-cdm(r)	0,38	0,39	0,99	0,30	0,31	0,99	0,41	0,42	0,99
ml(r)-cdm(l)	0,48	0,41	0,99	0,50	0,43	0,99	0,33	0,28	1,00
ml(r)-cdp(r)	0,33	0,33	0,99	0,30	0,30	1,00	0,20	0,20	1,00
ml(r)-cdp(l)	0,43	0,36	0,99	0,50	0,41	0,99	0,35	0,29	1,00
ml(r)-cs(r)	0,45	0,44	0,99	0,48	0,47	0,99	0,22	0,22	1,00
ml(r)-cs(l)	0,36	0,29	1,00	0,42	0,34	0,99	0,21	0,17	1,00
ml(r)-cfr(r)	0,45	0,98	0,96	0,41	0,89	0,97	0,29	0,64	0,98
ml(r)-cfr(l)	0,63	0,87	0,97	0,59	0,81	0,98	0,22	0,30	1,00
ml(r)-phi(r)	0,37	0,48	0,99	0,59	0,77	0,98	0,61	0,79	0,98
ml(r)-phi(l)	0,28	0,27	1,00	0,25	0,24	1,00	0,27	0,26	1,00
ml(r)-ppra(r)	0,32	0,60	0,99	0,31	0,57	0,99	0,20	0,38	0,99
ml(r)-ppra(l)	0,39	0,47	0,99	0,39	0,47	0,99	0,31	0,37	0,99
ml(r)-parp(r)	0,57	0,75	0,94	0,52	0,68	0,95	0,37	0,49	0,97
ml(r)-parp(l)	0,58	0,56	0,98	0,51	0,49	0,99	0,23	0,22	1,00
ml(l)-id	0,49	1,55	0,97	0,40	1,25	0,98	0,34	1,07	0,98
ml(l)-gn	0,39	1,32	0,93	0,36	1,21	0,94	0,23	0,76	0,97
id-gn	0,45	1,41	0,97	0,37	1,16	0,98	0,31	0,98	0,98
id-cs (r)	2,09	1,89	0,77	2,18	1,96	0,76	0,35	0,32	0,99
id-cfr(r)	0,28	0,46	0,97	0,26	0,44	0,98	0,23	0,39	0,98
id-cfr(l)	0,23	0,39	1,00	0,28	0,47	0,99	0,24	0,40	1,00
go-cs (r)	0,43	0,69	0,99	0,59	0,94	0,99	0,55	0,88	0,99

Messung	I-II			I-III			II-III		
	TEM	rTEM	R	TEM	rTEM	R	TEM	rTEM	R
go-cs (I)	0,33	0,52	1,00	0,33	0,52	1,00	0,14	0,21	1,00
go-cdp (r)	0,36	0,65	1,00	0,39	0,70	1,00	0,17	0,31	1,00
go-cdp (I)	0,31	0,54	1,00	0,42	0,74	0,99	0,22	0,38	1,00
cs-cr (r)	0,34	0,95	0,97	0,51	1,40	0,93	0,35	0,98	0,97
cs-cr (I)	0,41	1,12	0,97	0,36	1,00	0,98	0,23	0,64	0,99
cr-cfr (r)	0,27	0,60	0,99	0,41	0,93	0,99	0,49	1,12	0,98
cr-cfr (I)	0,44	1,00	0,97	0,40	0,91	0,98	0,27	0,60	0,99
ppra-parp (r)	0,33	1,07	0,98	0,29	0,93	0,99	0,36	1,18	0,98
ppra-parp (I)	0,66	2,12	0,96	0,45	1,44	0,98	0,50	1,60	0,98
cdl-cdl	0,26	0,21	1,00	5,96	0,18	1,00	6,02	0,21	1,00
cdm-cdm	0,22	0,26	1,00	0,23	0,27	1,00	0,27	0,31	1,00
cr-cr	0,55	0,55	1,00	0,50	0,50	1,00	0,31	0,30	1,00
cdl-cdm (r)	0,28	1,42	0,98	0,27	1,37	0,98	0,25	1,26	0,98
cdl-cdm (I)	0,34	1,68	0,97	1,57	7,66	0,36	1,64	7,98	0,31
phi-cs (r)	0,29	1,10	0,99	0,26	1,02	0,99	0,18	0,69	0,99
phi-cs (I)	0,40	1,56	0,99	0,51	2,03	0,97	0,33	1,30	0,99
phi-cr (r)	0,24	1,12	0,99	0,32	1,46	0,99	0,43	1,97	0,98
phi-cr (I)	0,65	2,93	0,97	0,39	1,77	0,99	0,52	2,37	0,98
gn-go (r)	0,31	0,36	1,00	0,33	0,39	1,00	0,35	0,41	1,00
gn-go (I)	0,41	0,48	0,99	0,30	0,36	1,00	0,23	0,28	1,00
cdp-cs (r)	0,40	4,31	0,96	0,35	3,77	0,96	0,34	3,62	0,97
cdp-cs (I)	0,33	3,57	0,96	0,30	3,24	0,97	0,20	2,18	0,99
go-go	0,48	0,49	1,00	0,49	0,49	1,00	0,24	0,24	1,00
Angulus (r)	4,83	3,44	0,76	4,91	3,54	0,78	3,75	2,67	0,86
Angulus (I)	2,60	1,90	0,85	2,79	2,02	0,82	2,12	1,53	0,90
go-gn-go	1,15	1,60	0,90	1,28	1,78	0,88	1,02	1,42	0,94

Tabelle A.4.: Ergebnisse des *TEMs* (in mm), *rTEM* (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (*R*) zwischen den Messreihen *dl-pl*, *dl-pII* und *dl-pIII* des Individuums RÖ-7,3. Dabei wurden die physische (*p*) und digitale (*d*) Mandibula dieses Individuums händisch gemessen und miteinander verglichen. (*r*) = rechts, (*l*) = links. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messung	dl-pl			dl-pII			dl-pIII		
	TEM	rTEM	R	TEM	rTEM	R	TEM	rTEM	R
ml(r)-go(r)	0,55	0,88	0,97	0,56	0,89	1,00	0,45	0,72	0,98
ml(r)-go(l)	0,50	0,54	0,99	0,53	0,58	1,00	0,15	0,16	1,00
ml(r)-cdm(r)	0,58	0,61	0,98	0,13	0,14	1,00	0,15	0,16	1,00
ml(r)-cs(r)	0,40	0,41	0,99	0,45	0,46	1,00	0,39	0,39	0,99
ml(r)-parp(l)	1,54	1,50	0,89	0,99	0,97	1,00	1,79	1,75	0,84
id-gn	0,10	0,29	1,00	0,27	0,79	1,00	0,08	0,25	1,00
id-cfr(r)	0,01	0,02	1,00	0,23	0,40	1,00	0,16	0,28	0,99
id-cfr(l)	0,19	0,36	1,00	0,56	1,10	1,00	0,71	1,40	0,97
go-cs (r)	0,99	1,64	0,96	0,61	0,99	1,00	0,27	0,43	1,00
go-cs (l)	0,27	0,43	1,00	0,08	0,12	1,00	0,38	0,59	0,99
go-cdp (l)	1,00	1,75	0,95	0,70	1,22	1,00	0,90	1,57	0,96
cs-cr (r)	0,33	0,95	0,96	0,16	0,46	1,00	0,16	0,44	0,99
ppra-parp (l)	0,17	0,57	1,00	0,13	0,42	1,00	0,00	0,00	1,00
cdm-cdm	0,66	0,74	0,99	0,51	0,57	1,00	0,18	0,21	1,00
cdl-cdm (r)	0,11	0,59	1,00	1,04	5,50	1,00	0,14	0,79	0,99
phi-cs (r)	0,33	1,55	0,99	0,83	3,94	0,98	0,26	1,18	0,99
gn-go (l)	0,50	0,59	0,99	0,40	0,48	1,00	0,70	0,84	0,98
cdp-cs (r)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,26	3,74	0,98
go-go	0,84	0,84	0,99	0,75	0,76	1,00	0,52	0,52	1,00

Tabelle A.5.: Ergebnisse des *TEMs* (in mm), *rTEMs* (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (*R*) zwischen den Messreihen *dll-pl*, *dll-pII* und *dll-pIII* des Individuums R6-7,3. Dabei wurden die physische (*p*) und digitale (*d*) Mandibula dieses Individuums händisch gemessen und miteinander verglichen. (*r*) = rechts, (*l*) = links. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messung	dll-pl			dll-pII			dll-pIII		
	TEM	rTEM	R	TEM	rTEM	R	TEM	rTEM	R
ml(r)-go(r)	0,60	0,96	0,98	0,61	0,97	0,96	0,50	0,80	0,97
ml(r)-go(l)	0,64	0,71	1,00	0,68	0,74	0,98	0,30	0,33	1,00
ml(r)-cdm(r)	0,48	0,51	1,00	0,03	0,03	1,00	0,25	0,27	1,00
ml(r)-cs(r)	0,80	0,81	0,99	0,85	0,86	0,96	0,79	0,80	0,96
ml(r)-parp(l)	1,34	1,31	0,84	0,79	0,77	0,96	1,59	1,55	0,87
id-gn	0,10	0,29	1,00	0,27	0,79	0,99	0,08	0,25	1,00
id-cfr(r)	0,01	0,02	0,99	0,23	0,40	0,99	0,16	0,28	0,99
id-cfr(l)	0,11	0,22	0,97	0,26	0,51	1,00	0,42	0,82	0,99
go-cs (r)	1,50	2,45	1,00	1,11	1,80	0,94	0,76	1,24	0,97
go-cs (l)	0,18	0,27	0,99	0,18	0,28	1,00	0,28	0,43	1,00
go-cdp (l)	0,55	0,95	0,96	0,25	0,43	1,00	0,45	0,77	0,99
cs-cr (r)	0,33	0,95	0,99	0,16	0,46	0,99	0,16	0,44	0,99
ppra-parp (l)	0,08	0,25	1,00	0,38	1,23	0,99	0,25	0,82	0,99
cdm-cdm	0,71	0,80	1,00	0,56	0,63	0,99	0,23	0,26	1,00
cdl-cdm (r)	0,21	1,15	0,99	0,35	1,91	0,96	0,24	1,35	0,98
phi-cs (r)	0,53	2,46	0,99	0,53	2,43	0,96	0,46	2,08	0,97
gn-go (l)	1,00	1,19	0,98	0,10	0,12	1,00	0,20	0,24	1,00
cdp-cs (r)	0,25	3,88	0,98	0,25	3,88	0,99	0,51	7,60	0,94
go-go	0,89	0,89	1,00	0,80	0,81	0,99	0,57	0,57	1,00

Tabelle A.6.: Ergebnisse des TEMs (in mm), rTEMs (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den Messreihen dIII-pl, dIII-pII und dIII-pIII des Individuums RÖ-7,3. Dabei wurden die physische (p) und digitale (d) Mandibula dieses Individuums händisch gemessen und miteinander verglichen. (r) = rechts, (l) = links. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messung	dIII-pl			dIII-pII			dIII-pIII		
	TEM	rTEM	R	TEM	rTEM	R	TEM	rTEM	R
ml(r)-go(r)	0,45	0,72	0,98	0,46	0,73	0,98	0,35	0,56	0,99
ml(r)-go(l)	0,59	0,65	0,98	0,63	0,69	0,98	0,25	0,27	1,00
ml(r)-cdm(r)	0,73	0,77	0,97	0,28	0,30	1,00	0,00	0,00	1,00
ml(r)-cs(r)	0,80	0,81	0,96	0,85	0,86	0,96	0,79	0,80	0,96
ml(r)-parp(l)	1,39	1,36	0,90	0,84	0,82	0,96	1,64	1,60	0,86
id-gn	0,05	0,15	1,00	0,22	0,64	0,99	0,04	0,10	1,00
id-cfr(r)	0,09	0,16	1,00	0,33	0,58	0,97	0,26	0,45	0,98
id-cfr(l)	0,02	0,03	1,00	0,36	0,71	0,99	0,51	1,01	0,99
go-cs (r)	1,40	2,29	0,92	1,01	1,64	0,96	0,67	1,08	0,98
go-cs (l)	0,18	0,27	1,00	0,18	0,28	1,00	0,28	0,43	1,00
go-cdp (l)	0,55	0,95	0,98	0,25	0,43	1,00	0,45	0,77	0,99
cs-cr (r)	0,38	1,09	0,96	0,21	0,60	0,99	0,21	0,58	0,99
ppra-parp (l)	0,23	0,74	0,99	0,53	1,73	0,97	0,40	1,31	0,99
cdm-cdm	0,51	0,58	0,99	0,37	0,41	1,00	0,03	0,04	1,00
cdl-cdm (r)	0,21	1,15	0,99	0,35	1,91	0,97	0,24	1,35	0,99
phi-cs (r)	0,43	2,01	0,97	0,43	1,98	0,97	0,36	1,63	0,98
gn-go (l)	0,85	1,01	0,96	0,05	0,06	1,00	0,35	0,42	0,99
cdp-cs (r)	0,10	1,52	1,00	0,10	1,52	1,00	0,36	5,25	0,97
go-go	0,99	0,99	0,99	0,91	0,91	0,99	0,67	0,67	0,99

Tabelle A.7.: Ergebnisse des *TEMs* (Messstrecke in mm, Winkel in °) und *rTEMs* (in %) zwischen den Messreihen I-II, I-III und II-III des Individuums R6-7,3. Gemessen von einer hinzugezogenen Person (L. Paris). (r) = rechts, (l) = links. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messung	I-II		I-III		II-III	
	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM
ml-ml	0,11	0,24	0,26	0,55	0,37	0,79
ml(r)-id	0,05	0,14	0,41	1,29	0,36	1,15
ml(r)-gn	0,23	0,78	0,22	0,76	0,01	0,02
ml(r)-go(r)	3,34	5,23	2,78	4,07	6,12	9,29
ml(r)-go(l)	1,10	1,19	4,16	4,34	5,26	5,54
ml(r)-pg	0,19	0,70	0,65	2,39	0,46	1,70
ml(r)-lg(r)	0,93	1,46	0,54	0,85	0,40	0,62
ml(r)-lg(l)	0,18	0,20	0,20	0,22	0,02	0,02
ml(r)-li	0,33	1,05	0,38	1,22	0,05	0,17
ml(r)-cr(r)	0,60	0,77	0,11	0,15	0,72	0,91
ml(r)-cr(l)	0,02	0,01	1,08	1,04	1,06	1,03
ml(r)-cdl(r)	2,50	2,72	0,38	0,43	2,88	3,15
ml(r)-cdl(l)	0,57	0,49	0,59	0,51	1,16	0,99
ml(r)-cdm(r)	0,40	0,43	0,20	0,21	0,21	0,22
ml(r)-cdm(l)	0,26	0,23	0,62	0,55	0,89	0,78
ml(r)-cdp(r)	0,33	0,35	1,14	1,22	0,82	0,87
ml(r)-cdp(l)	0,77	0,65	1,03	0,86	0,26	0,22
ml(r)-cs(r)	0,72	0,73	0,91	0,93	0,19	0,20
ml(r)-cs(l)	0,24	0,20	0,37	0,31	0,13	0,11
ml(r)-cfr(r)	0,20	0,46	0,64	1,45	0,43	0,99
ml(r)-cfr(l)	0,24	0,36	0,91	1,39	0,67	1,03
ml(r)-phi(r)	0,23	0,29	0,36	0,46	0,58	0,75
ml(r)-phi(l)	0,29	0,28	0,60	0,59	0,88	0,87
ml(r)-ppra(r)	0,46	0,83	0,71	1,28	0,25	0,45
ml(r)-ppra(l)	1,91	2,23	1,21	1,42	0,70	0,81
ml(r)-parp(r)	2,64	3,58	1,76	2,36	0,89	1,22
ml(r)-parp(l)	1,85	1,81	0,81	0,79	1,04	1,03
ml(l)-id	0,44	1,41	0,39	1,25	0,05	0,16
ml(l)-gn	0,30	0,97	0,13	0,42	0,44	1,39
id-gn	0,37	1,16	0,07	0,23	0,29	0,93
id-cs (r)	0,59	0,55	0,66	0,61	0,07	0,06
id-cfr(r)	0,38	0,66	0,04	0,06	0,34	0,60
id-cfr(l)	0,05	0,10	0,30	0,59	0,25	0,49
go-cs (r)	3,79	6,55	5,38	10,47	9,17	16,96
go-cs (l)	2,30	3,80	8,72	16,53	11,02	20,27
go-cdp (r)	4,65	9,54	3,62	8,44	8,26	17,90
go-cdp (l)	4,12	7,65	7,11	15,51	11,23	23,03
cs-cr (r)	1,05	2,91	0,82	2,27	0,23	0,64
cs-cr (l)	0,83	2,43	1,52	4,41	0,69	1,98

Messung	I-II		I-III		II-III	
	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM
cr-cfr (r)	0,03	0,07	0,30	0,68	0,33	0,74
cr-cfr (l)	0,53	1,19	0,09	0,21	0,63	1,40
ppra-parp (r)	1,84	5,84	0,84	2,73	1,00	3,12
ppra-parp (l)	1,90	5,98	0,39	1,26	1,51	4,72
cdl-cdl	0,56	0,48	0,61	0,52	0,05	0,04
cdm-cdm	0,19	0,20	0,20	0,22	0,01	0,01
cr-cr	0,03	0,03	0,37	0,34	0,40	0,37
cdl-cdm (r)	1,09	7,41	1,03	6,98	0,06	0,43
cdl-cdm (l)	0,65	4,48	0,57	4,22	1,22	8,70
phi-cs (r)	1,38	6,43	0,70	3,18	0,68	3,25
phi-cs (l)	0,29	1,26	1,12	4,78	0,83	3,52
phi-cr (r)	0,90	3,81	0,23	0,99	0,67	2,82
phi-cr (l)	0,41	1,89	0,31	1,45	0,10	0,45
gn-go (r)	2,75	3,08	3,35	3,58	6,09	6,67
gn-go (l)	2,15	2,46	5,83	6,24	7,98	8,69
cdp-cs (r)	0,24	2,19	1,89	19,65	1,65	17,50
cdp-cs (l)	0,78	8,60	1,54	17,95	0,76	9,42
go-go	1,33	1,32	4,43	4,30	3,10	2,98
Angulus (r)	0,30	0,26	1,18	1,02	1,48	1,28
Angulus (l)	0,67	0,58	6,60	5,49	5,92	4,91
go-gn-go	3,40	4,88	0,41	0,61	3,81	5,49

Tabelle A.8.: Ergebnisse des *TEMs* (Messstrecke in mm, Winkel in °) und *rTEMs* (in %) bezüglich des Inter-Observer-Errors des Individuums R6-7,3 zwischen den Messreihen AI-BI, AI-BII, AI-BIII, AII-BI, AII-BII, AII-BIII, AIII-BI, AIII-BII und AIII-BIII. Dabei handelt es sich bei A und B um zwei verschiedene messende Personen. B ist hierbei die hinzugezogene Person. (r) = rechts, (l) = links. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messung	AI-BI		AI-BII		AI-BII		AII-BI		AII-BII		AII-BIII		AIII-BI		AIII-BII		AIII-BIII	
	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM
ml-ml	0,06	0,12	0,17	0,36	0,20	0,43	0,16	0,33	0,04	0,10	0,41	0,88	0,16	0,33	0,04	0,10	0,41	0,88
ml(r)-id	0,18	0,56	0,22	0,70	0,59	1,85	0,17	0,55	0,13	0,41	0,23	0,74	0,53	1,65	0,58	1,79	0,94	2,94
ml(r)-gn	0,56	1,86	0,32	1,08	0,33	1,10	0,34	1,15	0,11	0,37	0,12	0,40	0,41	1,39	0,18	0,61	0,19	0,63
ml(r)-go(r)	3,14	4,91	0,20	0,33	5,92	8,97	3,21	5,02	0,13	0,21	5,99	9,08	3,00	4,68	0,34	0,56	5,77	8,74
ml(r)-go(l)	1,26	1,37	0,16	0,18	5,42	5,71	1,47	1,60	0,37	0,41	5,63	5,95	1,40	1,53	0,30	0,33	5,56	5,87
ml(r)-pg	0,24	0,86	0,04	0,16	0,41	1,54	0,52	1,90	0,33	1,21	0,13	0,49	0,24	0,86	0,04	0,16	0,41	1,54
ml(r)-lg(r)	0,63	0,99	0,31	0,48	0,09	0,14	0,91	1,43	0,00	0,00	0,37	0,58	0,77	1,21	0,16	0,26	0,23	0,36
ml(r)-lg(l)	0,19	0,22	0,02	0,02	0,00	0,00	0,55	0,61	0,37	0,41	0,35	0,39	0,83	0,93	0,65	0,73	0,63	0,71
ml(r)-li	0,56	1,79	0,89	2,84	0,94	3,00	0,35	1,12	0,68	2,17	0,73	2,34	0,42	1,34	0,75	2,39	0,80	2,56
ml(r)-cr(r)	0,69	0,88	0,09	0,11	0,81	1,02	0,97	1,23	0,37	0,47	1,09	1,38	1,05	1,32	0,44	0,55	1,16	1,47
ml(r)-cr(l)	0,18	0,18	0,17	0,16	0,90	0,87	0,18	0,18	0,17	0,16	0,90	0,87	0,32	0,31	0,31	0,30	0,75	0,73
ml(r)-cdl(r)	2,66	2,89	0,16	0,17	3,04	3,32	2,51	2,74	0,00	0,00	2,90	3,17	2,51	2,74	0,02	0,02	2,90	3,17
ml(r)-cdl(l)	2,04	1,72	1,47	1,24	2,63	2,23	2,53	2,14	1,96	1,65	3,12	2,64	2,39	2,02	1,82	1,53	2,98	2,53
ml(r)-cdm(r)	0,54	0,57	0,94	1,00	0,73	0,78	0,68	0,72	1,08	1,15	0,87	0,93	0,33	0,35	0,73	0,78	0,52	0,56
ml(r)-cdm(l)	1,82	1,59	1,55	1,35	2,44	2,14	2,45	2,13	2,19	1,90	3,07	2,68	2,10	1,83	1,84	1,60	2,72	2,38
ml(r)-cdp(r)	2,42	2,56	2,09	2,21	1,27	1,34	2,63	2,78	2,30	2,43	1,49	1,56	2,56	2,71	2,23	2,36	1,42	1,48
ml(r)-cdp(l)	1,01	0,85	0,24	0,20	0,02	0,01	0,94	0,79	0,17	0,14	0,09	0,07	1,01	0,85	0,24	0,20	0,00	0,00
ml(r)-cs(r)	0,33	0,33	0,39	0,40	0,59	0,60	0,24	0,24	0,96	0,97	1,15	1,17	0,24	0,24	0,96	0,97	1,15	1,17
ml(r)-cs(l)	1,16	0,96	0,92	0,76	0,79	0,65	1,37	1,13	1,13	0,93	1,00	0,82	1,30	1,07	1,06	0,87	0,93	0,76
ml(r)-cfr(r)	0,21	0,46	0,41	0,92	0,84	1,91	0,08	0,17	0,13	0,29	0,56	1,27	0,49	1,09	0,69	1,55	1,13	2,53
ml(r)-cfr(l)	0,24	0,36	0,00	0,00	0,67	1,03	0,19	0,28	0,42	0,64	1,09	1,68	0,26	0,39	0,49	0,75	1,16	1,78
ml(r)-phi(r)	0,29	0,38	0,52	0,67	0,07	0,09	0,29	0,38	0,52	0,67	0,07	0,09	0,20	0,26	0,02	0,03	0,56	0,72

Messung	AI-BI		AI-BII		AI-BII		AII-BI		AII-BII		AII-BIII		AIII-BI		AIII-BII		AIII-BIII	
	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM
ml(r)-phi(I)	0,00	0,00	0,28	0,28	0,60	0,59	0,00	0,00	0,28	0,28	0,60	0,59	0,14	0,14	0,14	0,14	0,74	0,73
ml(r)-ppra(r)	0,67	1,21	0,21	0,39	0,04	0,07	0,32	0,57	0,14	0,26	0,39	0,71	0,53	0,95	0,07	0,13	0,18	0,32
ml(r)-ppra(I)	1,45	1,69	0,46	0,54	0,24	0,28	1,45	1,69	0,46	0,54	0,24	0,28	1,94	2,27	0,03	0,03	0,73	0,85
ml(r)-parp(r)	0,13	0,18	2,78	3,76	1,89	2,54	0,08	0,10	2,56	3,48	1,68	2,26	0,49	0,64	3,13	4,22	2,24	3,00
ml(r)-parp(I)	0,47	0,45	2,32	2,26	1,28	1,24	0,19	0,18	2,03	1,99	0,99	0,97	0,26	0,25	2,11	2,06	1,06	1,03
ml(I)-id	0,48	1,53	0,92	2,94	0,87	2,78	0,13	0,42	0,57	1,83	0,52	1,67	0,20	0,64	0,64	2,05	0,59	1,89
ml(I)-gn	0,70	2,26	0,40	1,29	0,83	2,68	0,91	2,96	0,61	1,99	1,05	3,38	0,91	2,96	0,61	1,99	1,05	3,38
id-gn	1,92	5,77	2,28	6,93	1,99	6,00	1,92	5,77	2,28	6,93	1,99	6,00	1,85	5,57	2,21	6,72	1,92	5,79
id-cs (r)	0,36	0,33	0,23	0,22	0,30	0,28	0,50	0,47	0,09	0,09	0,16	0,15	0,50	0,47	0,09	0,09	0,16	0,15
id-cfr(r)	0,00	0,00	0,39	0,69	0,05	0,09	0,00	0,00	0,39	0,69	0,05	0,09	0,16	0,27	0,54	0,93	0,19	0,33
id-cfr(I)	0,11	0,21	0,16	0,31	0,41	0,80	0,32	0,62	0,27	0,52	0,01	0,03	0,18	0,34	0,12	0,24	0,13	0,25
go-cs (r)	4,53	7,76	0,74	1,22	9,91	18,16	5,24	8,90	1,45	2,35	10,62	19,28	5,10	8,67	1,31	2,13	10,48	19,05
go-cs (I)	3,74	6,08	1,44	2,28	12,46	22,50	3,60	5,86	1,30	2,06	12,32	22,29	3,60	5,86	1,30	2,06	12,32	22,29
go-cdp (r)	8,11	15,85	3,46	6,36	11,73	24,12	8,18	15,97	3,53	6,48	11,80	24,24	7,97	15,60	3,32	6,11	11,58	23,88
go-cdp (I)	3,75	7,00	0,37	0,66	10,86	22,39	4,38	8,12	0,27	0,47	11,50	23,48	4,38	8,12	0,27	0,47	11,50	23,48
cs-cr (r)	1,14	3,18	0,10	0,27	0,32	0,91	1,14	3,18	0,10	0,27	0,32	0,91	1,07	2,98	0,03	0,07	0,25	0,71
cs-cr (I)	1,73	4,99	0,90	2,56	0,21	0,59	2,43	6,94	1,61	4,51	0,92	2,53	2,08	5,97	1,26	3,54	0,56	1,57
cr-cfr (r)	0,41	0,92	0,44	0,98	0,11	0,24	0,08	0,18	0,05	0,12	0,39	0,86	0,20	0,44	0,23	0,51	0,10	0,23
cr-cfr (I)	0,05	0,11	0,58	1,30	0,04	0,10	0,23	0,52	0,30	0,66	0,33	0,73	0,16	0,37	0,37	0,82	0,26	0,58
ppra-parp (r)	0,27	0,89	1,57	4,95	0,57	1,83	0,08	0,28	1,92	6,12	0,92	3,00	0,51	1,70	2,34	7,55	1,34	4,43
ppra-parp (I)	0,35	1,14	1,55	4,84	0,04	0,12	0,00	0,00	1,90	5,99	0,39	1,27	0,22	0,72	2,12	6,69	0,60	1,97
cdl-cdl	3,86	3,21	4,42	3,69	4,47	3,73	3,71	3,09	4,28	3,57	4,33	3,61	4,00	3,32	4,56	3,80	4,61	3,84

Messung	AI-BI		AI-BII		AI-BII		AII-BI		AII-BII		AII-BIII		AIII-BI		AIII-BII		AIII-BIII	
	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM	TEM	rTEM
cdm-cdm	1,63	1,78	1,82	1,99	1,83	2,00	1,56	1,70	1,75	1,91	1,76	1,92	1,84	2,02	2,03	2,22	2,04	2,23
cr-cr	0,37	0,35	0,34	0,32	0,74	0,69	0,09	0,08	0,06	0,05	0,46	0,43	0,23	0,22	0,20	0,19	0,60	0,56
cdl-cdm (r)	1,68	10,10	2,76	17,44	2,70	17,03	1,82	10,89	2,91	18,22	2,85	17,80	1,82	10,89	2,91	18,22	2,85	17,80
cdl-cdm (l)	3,29	20,18	2,64	15,77	3,86	24,30	3,50	21,29	2,85	16,89	4,07	25,40	3,50	21,29	2,85	16,89	4,07	25,40
phi-cs (r)	0,36	1,63	1,02	4,80	0,34	1,55	0,08	0,35	1,30	6,08	0,62	2,83	0,22	0,99	1,16	5,44	0,48	2,19
phi-cs (l)	1,37	5,80	1,08	4,54	0,25	1,02	1,58	6,65	1,29	5,40	0,46	1,87	1,30	5,51	1,01	4,25	0,18	0,73
phi-cr (r)	0,17	0,73	1,07	4,54	0,40	1,72	0,31	1,36	1,21	5,17	0,54	2,35	0,31	1,36	1,21	5,17	0,54	2,35
phi-cr (l)	0,87	4,01	0,47	2,12	0,56	2,56	0,66	3,06	0,26	1,17	0,35	1,61	0,73	3,38	0,33	1,48	0,42	1,93
gn-go (r)	4,07	4,62	1,32	1,54	7,41	8,20	3,93	4,45	1,18	1,37	7,27	8,03	4,00	4,54	1,25	1,45	7,34	8,11
gn-go (l)	3,51	4,04	1,35	1,59	9,33	10,27	4,21	4,88	2,06	2,43	10,04	11,10	4,00	4,63	1,85	2,17	9,83	10,85
cdp-cs (r)	2,99	33,93	2,76	31,86	1,11	14,77	3,34	39,05	3,11	37,02	1,46	20,17	3,13	35,94	2,90	33,89	1,25	16,89
cdp-cs (l)	1,68	19,83	0,90	11,32	0,14	1,91	1,26	14,32	0,47	5,76	0,28	3,67	1,33	15,21	0,55	6,66	0,21	2,77
go-go	0,22	0,22	1,11	1,10	4,21	4,08	0,29	0,29	1,04	1,03	4,14	4,01	0,43	0,43	0,90	0,89	4,00	3,87
Angulus (r)	8,71	7,20	9,01	7,46	7,53	6,18	17,40	13,69	17,70	13,95	16,22	12,68	10,94	8,93	11,23	9,19	9,76	7,91
Angulus (l)	7,84	6,48	7,17	5,90	1,25	0,99	8,66	7,12	7,99	6,54	2,07	1,64	8,69	7,14	8,01	6,56	2,09	1,65
go-gn-go	3,99	5,70	0,59	0,82	4,40	6,31	3,73	5,34	0,33	0,46	4,14	5,95	3,59	5,15	0,19	0,26	4,00	5,76

Tabelle A.9.: Ergebnisse des TEMs (Messstrecke in mm, Winkel in °), rTEMs (in %) und Reliabilitätskoeffizienten (R) zwischen den automatisch generierten Messungen von AnthroWorks3D und den händischen in AnthroWorks3D. (r) = rechts, (l) = links. Fett markiert sind die Werte, welche sich nicht im akzeptablen Bereich befinden.

Messung	TEM	rTEM	R	Messung	TEM	rTEM	R
ml-ml	0,57	1,18	0,95	id-cs (r)	0,89	0,80	0,95
ml(r)-id	0,42	1,33	0,96	id-cfr(r)	1,05	1,75	0,63
ml(r)-gn	0,75	2,52	0,82	id-cfr(l)	0,76	1,28	0,92
ml(r)-go(r)	4,02	6,49	0,35	go-cs (r)	6,03	9,85	0,28
ml(r)-go(l)	2,33	2,54	0,82	go-cs (l)	2,34	3,71	0,81
ml(r)-pg	1,05	3,74	0,76	go-cdp (r)	4,40	7,98	0,48
ml(r)-lg(r)	1,11	1,71	0,89	go-cdp (l)	2,38	4,20	0,76
ml(r)-lg(l)	0,73	0,80	0,98	cs-cr (r)	4,83	12,96	0,24
ml(r)-li	0,39	1,22	0,96	cs-cr (l)	1,03	2,86	0,83
ml(r)-cr(r)	2,94	3,68	0,81	cr-cfr (r)	2,97	6,75	0,66
ml(r)-cr(l)	0,65	0,61	0,99	cr-cfr (l)	0,79	1,79	0,93
ml(r)-cdl(r)	0,58	0,59	0,98	ppra-parp (r)	0,72	2,31	0,93
ml(r)-cdl(l)	1,12	0,90	0,96	ppra-parp (l)	0,69	2,21	0,95
ml(r)-cdm(r)	0,85	0,87	0,96	cdl-cdl	2,36	1,93	0,93
ml(r)-cdm(l)	1,08	0,93	0,96	cdm-cdm	0,55	0,64	0,99
ml(r)-cdp(r)	1,16	1,17	0,94	cr-cr	4,54	4,46	0,82
ml(r)-cdp(l)	0,82	0,67	0,98	cdl-cdm (r)	0,26	1,29	0,98
ml(r)-cs(r)	0,36	0,35	0,99	cdl-cdm (l)	0,60	2,94	0,90
ml(r)-cs(l)	0,67	0,54	0,98	phi-cs (r)	1,02	3,94	0,80
ml(r)-cfr(r)	1,26	2,74	0,77	phi-cs (l)	1,27	5,12	0,87
ml(r)-cfr(l)	1,18	1,61	0,87	phi-cr (r)	1,04	4,85	0,92
ml(r)-phi(r)	1,07	1,38	0,95	phi-cr (l)	0,79	3,64	0,95
ml(r)-phi(l)	0,68	0,65	0,98	gn-go (r)	3,18	3,77	0,64
ml(r)-ppra(r)	1,08	2,02	0,84	gn-go (l)	2,89	3,44	0,61
ml(r)-ppra(l)	0,80	0,96	0,95	cdp-cs (r)	1,47	16,54	0,28
ml(r)-parp(r)	1,55	2,00	0,66	cdp-cs (l)	1,08	12,21	0,57
ml(r)-parp(l)	0,96	0,92	0,96	go-go	2,17	2,20	0,95
ml(l)-id	0,53	1,66	0,97				
ml(l)-gn	0,58	1,96	0,79				
id-gn	0,59	1,88	0,94				

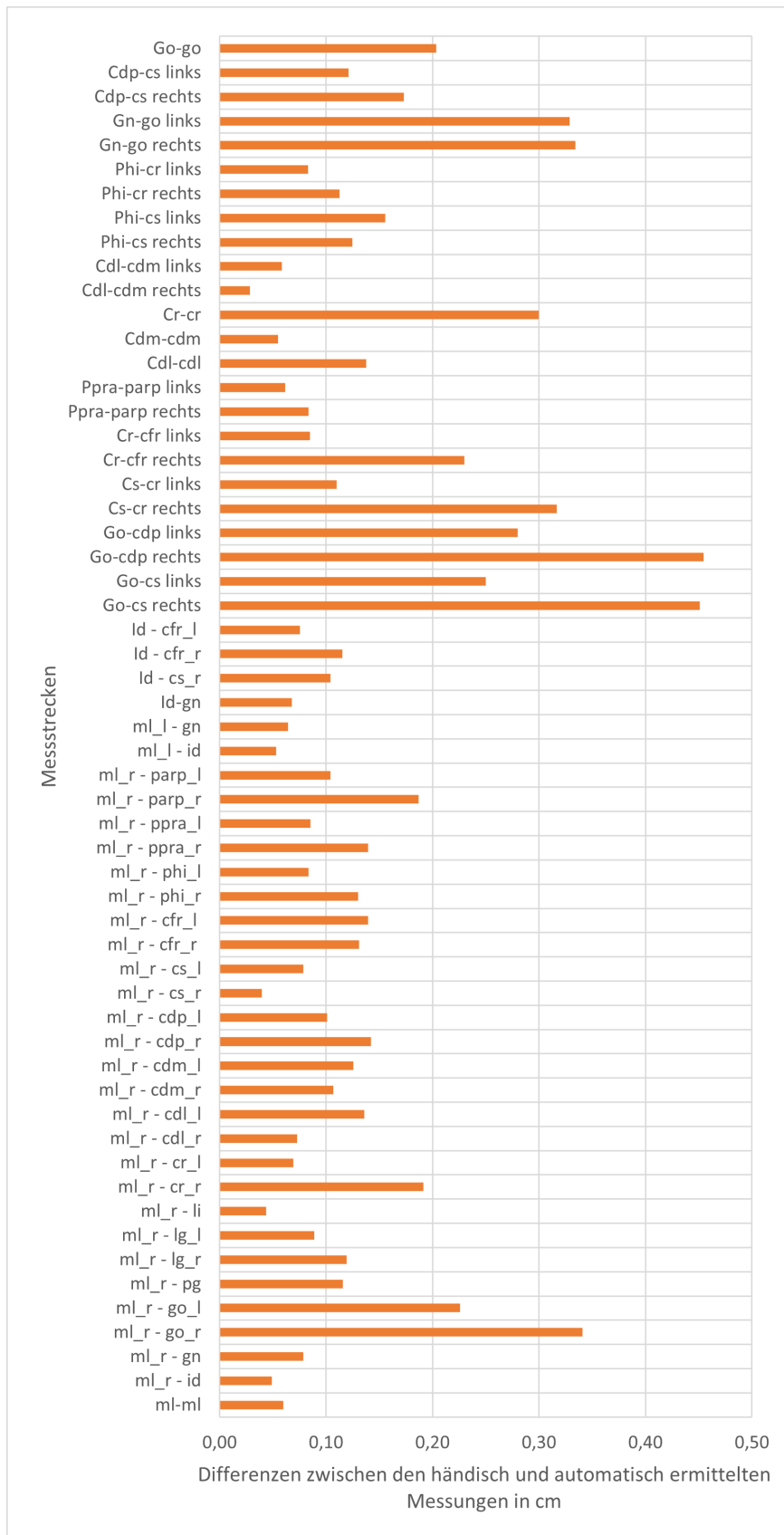


Abbildung A.46.: Übersicht zu den Differenzen zwischen den händisch und automatisch ermittelten Messstrecken. Dabei wurden zunächst die Differenzen aller Messstrecken für jedes Individuum berechnet. Anschließend wurden von diesen die Mittelwerte genommen zu jeder Messstrecke.

A.6. Boxplot-Diagramme

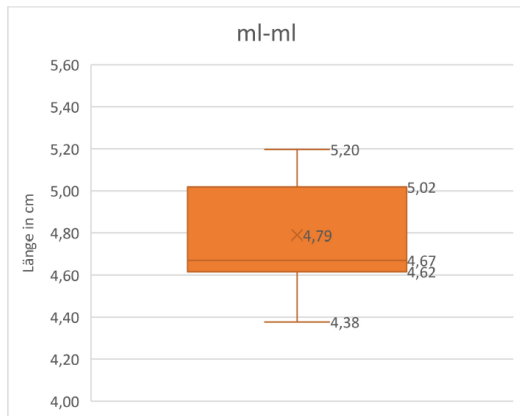


Abbildung A.47.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml-ml.

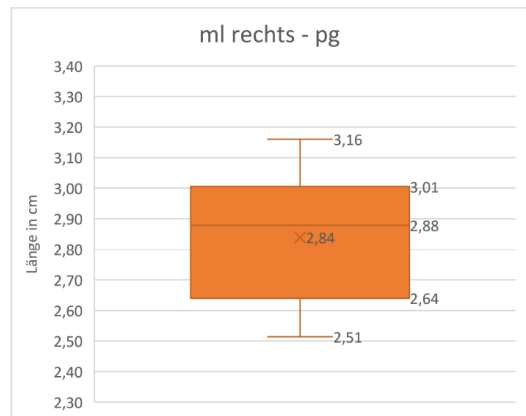


Abbildung A.48.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml-pg.

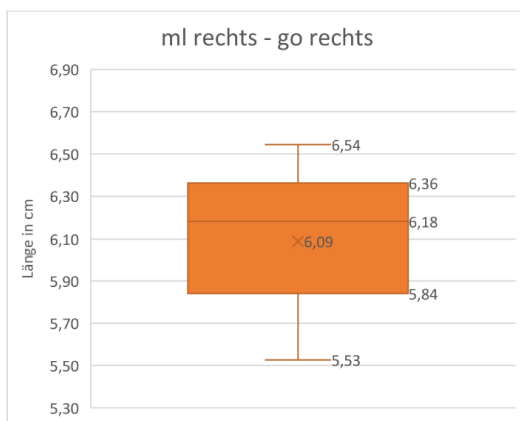


Abbildung A.49.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - go rechts.

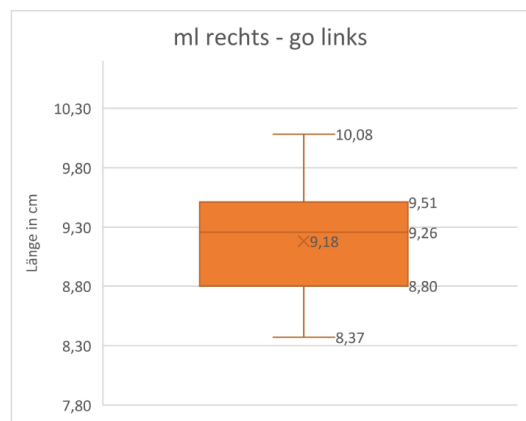


Abbildung A.50.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - go links.

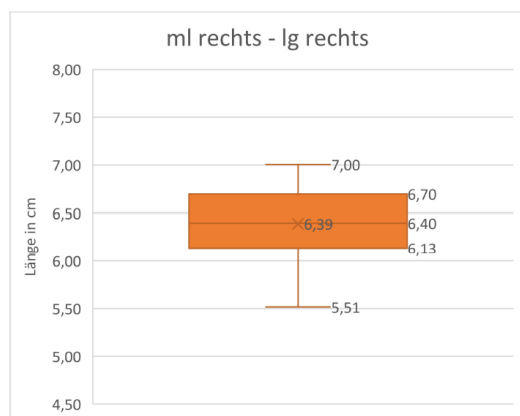


Abbildung A.51.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - lg rechts.

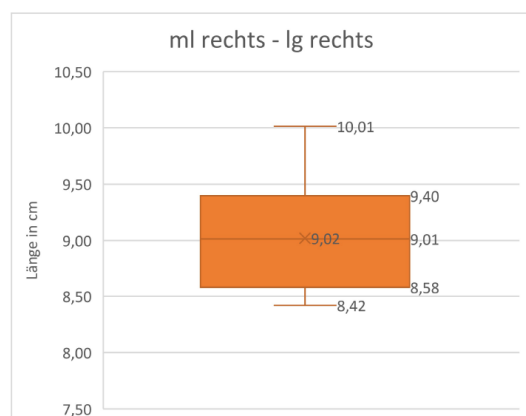


Abbildung A.52.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - lg links.

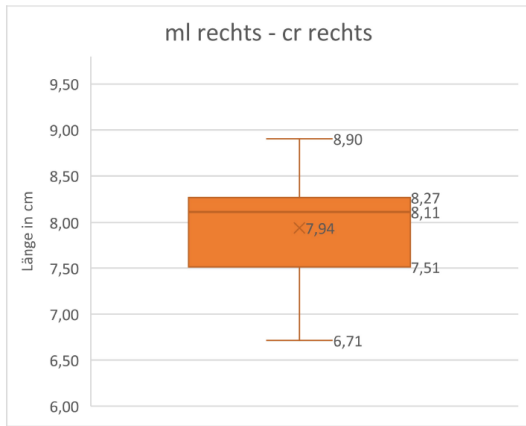


Abbildung A.53.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cr rechts.

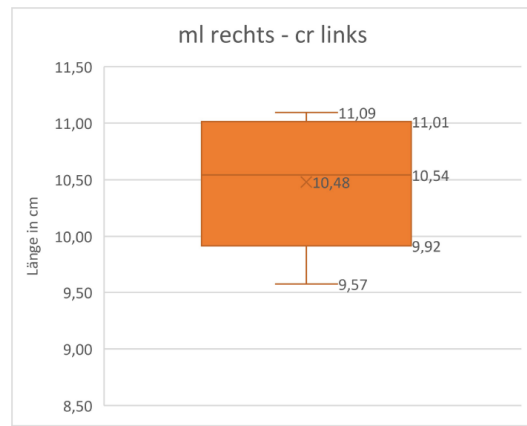


Abbildung A.54.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cr links.

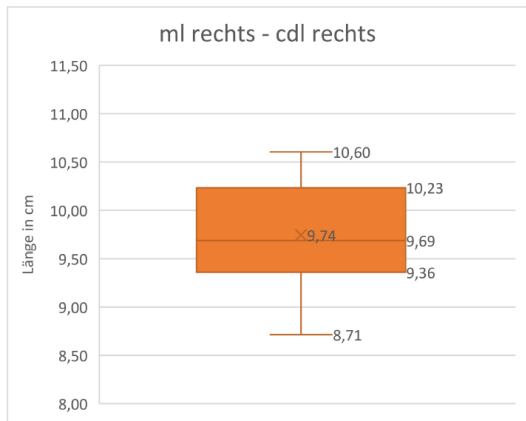


Abbildung A.55.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdl rechts.

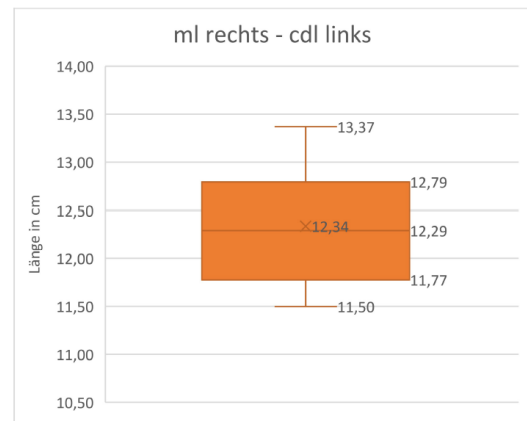


Abbildung A.56.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdl links.

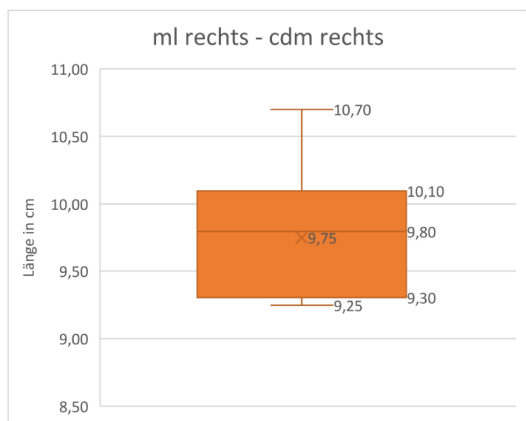


Abbildung A.57.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdm rechts.

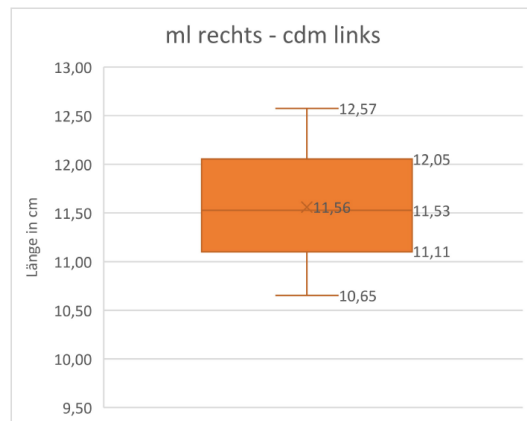


Abbildung A.58.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdm links.

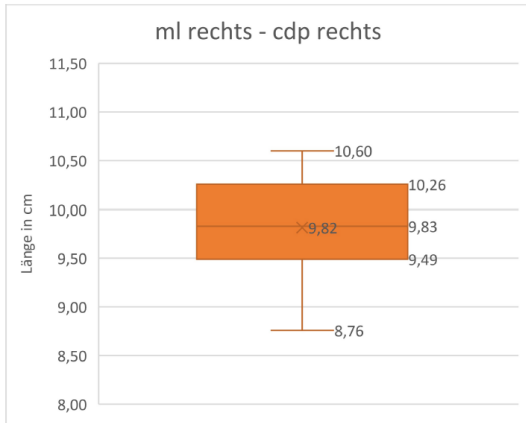


Abbildung A.59.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdp rechts.

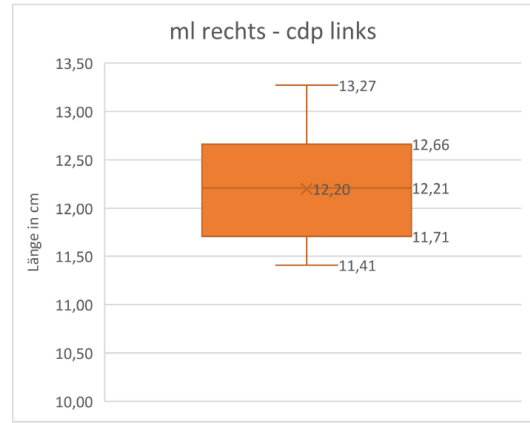


Abbildung A.60.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cdp links.

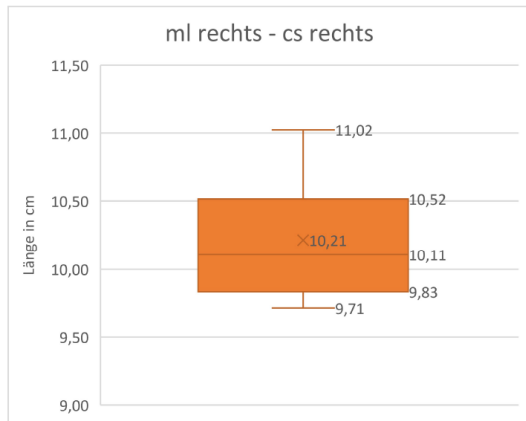


Abbildung A.61.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cs rechts.

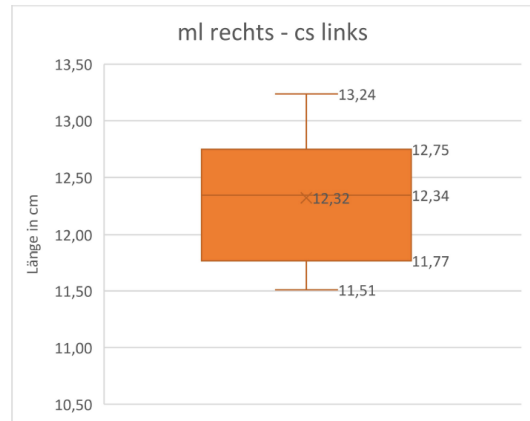


Abbildung A.62.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cs links.

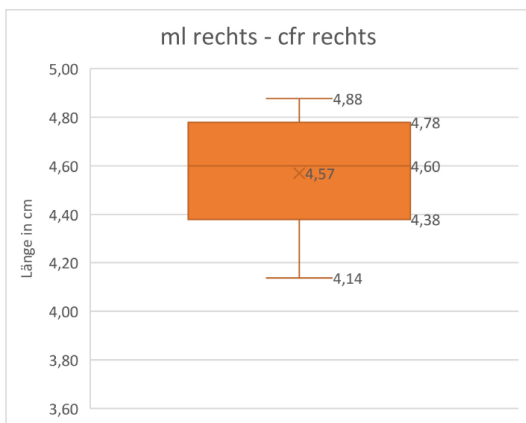


Abbildung A.63.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cfr rechts.

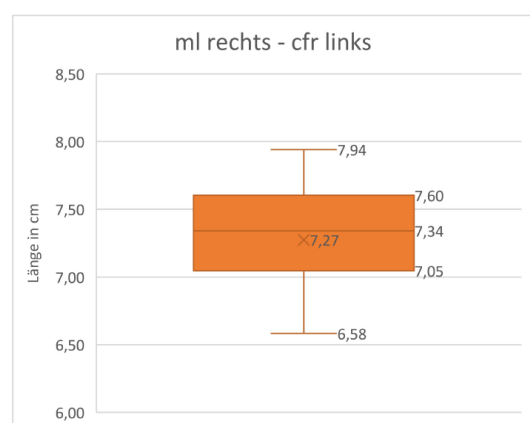


Abbildung A.64.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - cfr links.

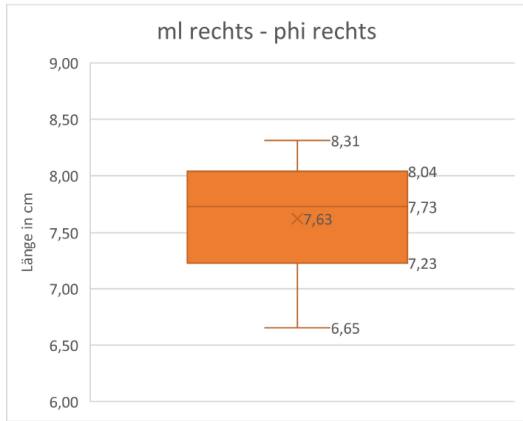


Abbildung A.65.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - phi rechts.

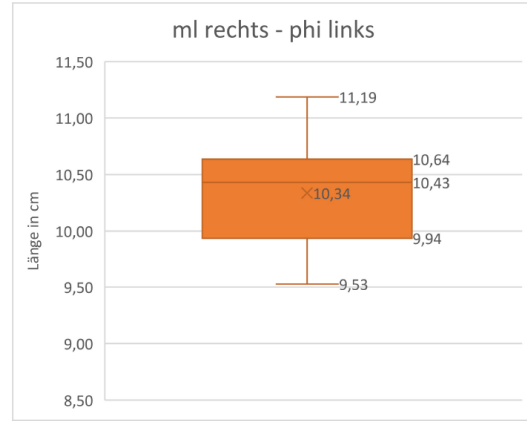


Abbildung A.66.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - phi links.

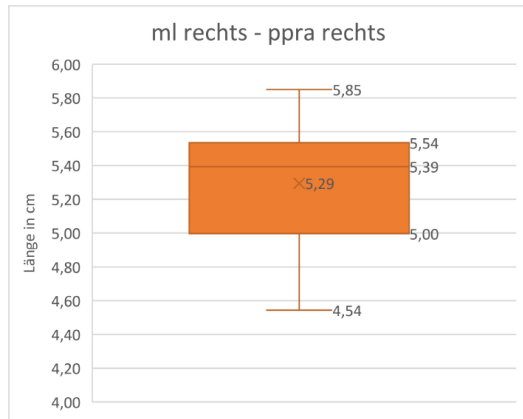


Abbildung A.67.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - ppra rechts.

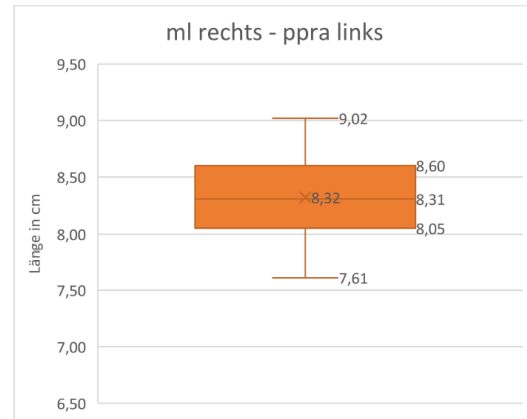


Abbildung A.68.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - ppra links.

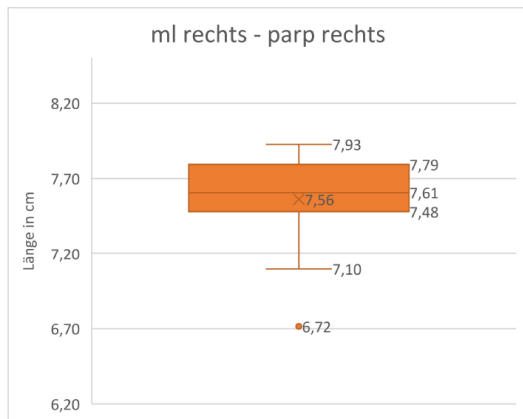


Abbildung A.69.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - parp rechts.

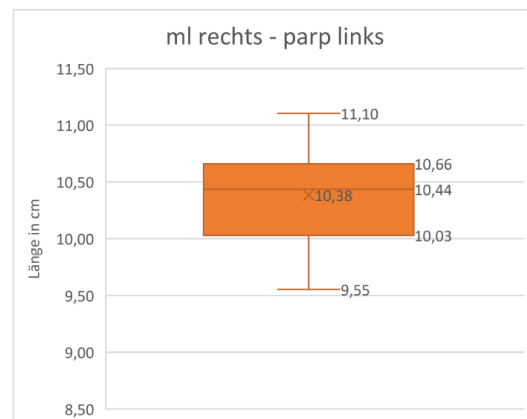


Abbildung A.70.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - parp links.

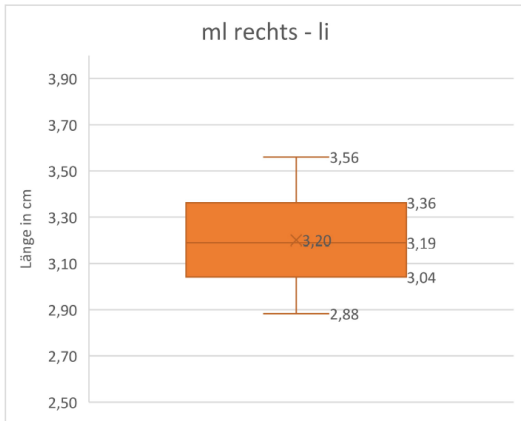


Abbildung A.71.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke ml rechts - li.

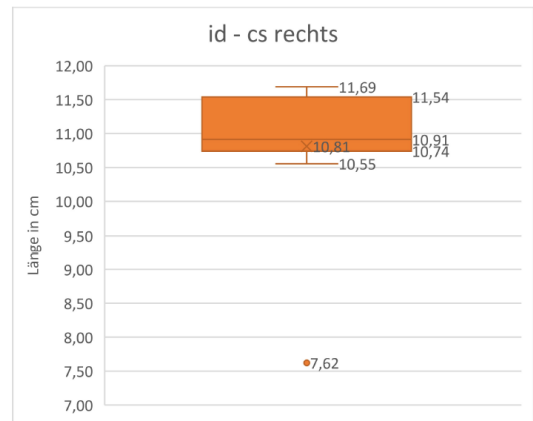
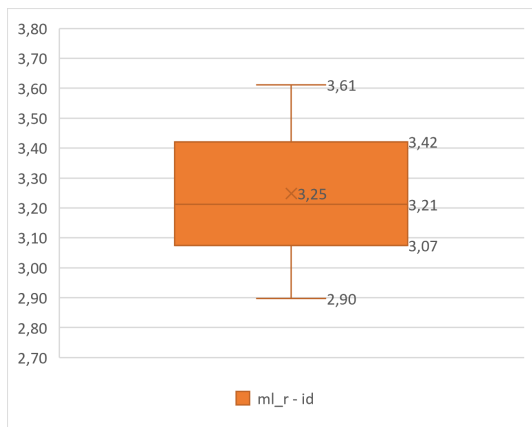
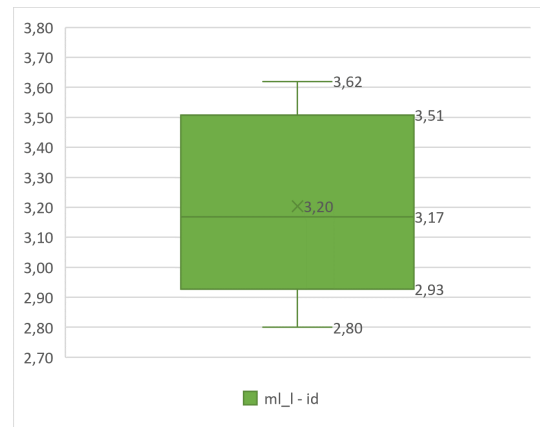


Abbildung A.72.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke id - cs rechts.

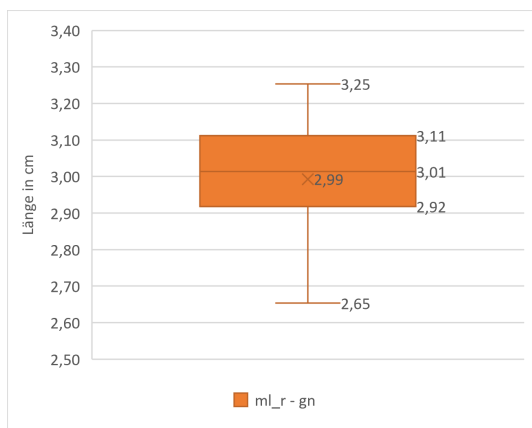


(a) ml rechts - id

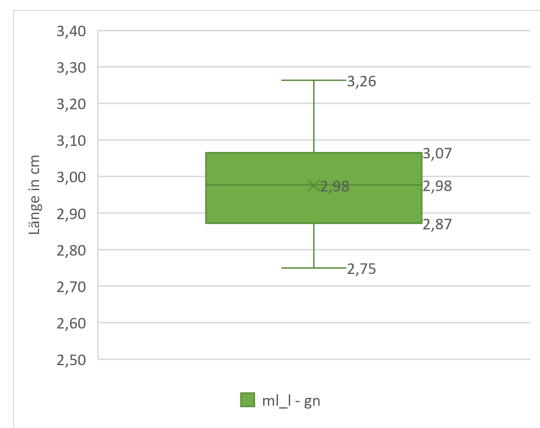


(b) ml links - id

Abbildung A.73.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken ml rechts - id und ml links - id.

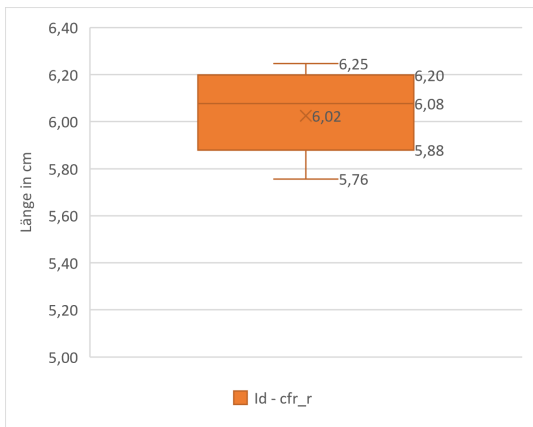


(a) ml rechts - gn

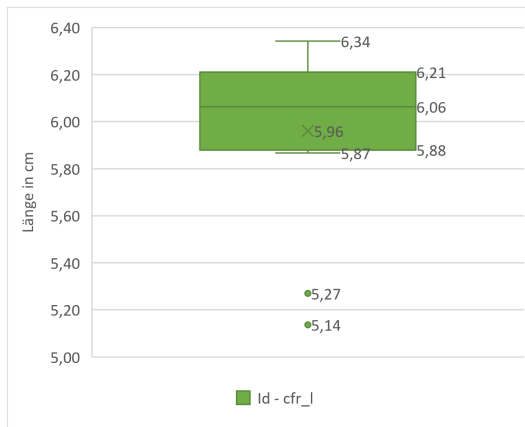


(b) ml links - gn

Abbildung A.74.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken ml rechts - gn und ml links - gn.

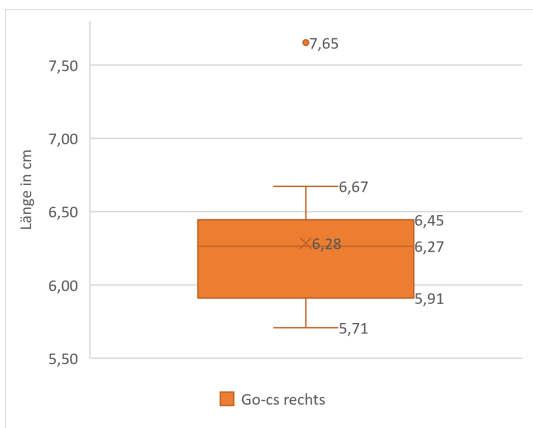


(a) id - cfr rechts

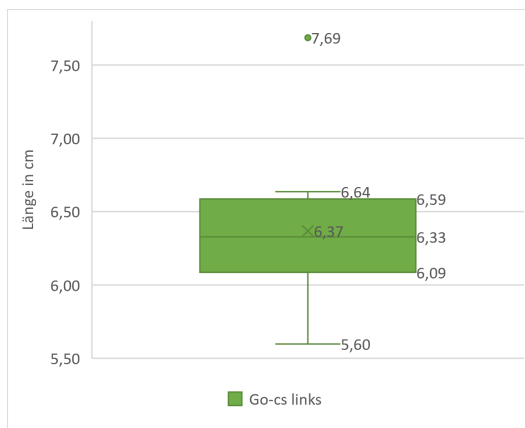


(b) id - cfr links

Abbildung A.75.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken id - cfr rechts und id - cfr links.

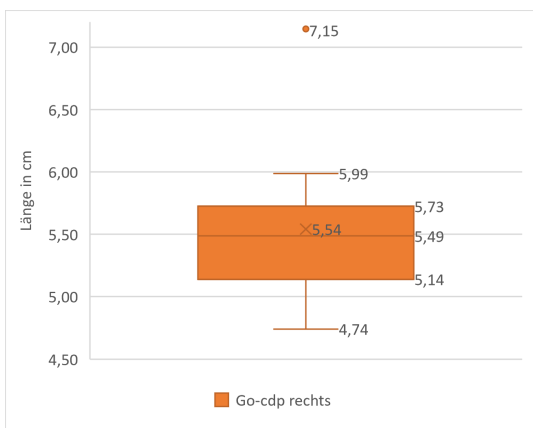


(a) go-cs rechts

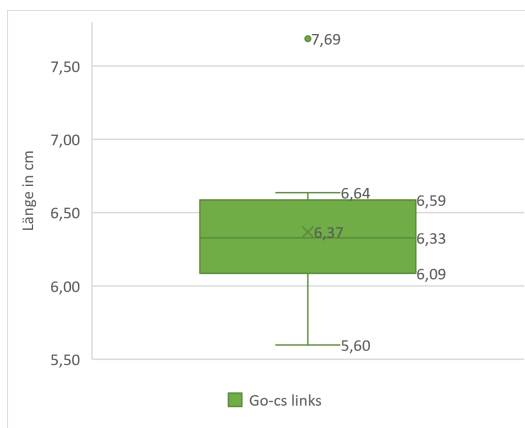


(b) go-cs links links

Abbildung A.76.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken go-cs rechts und go-cs links.



(a) go-cdp rechts



(b) go-cdp links

Abbildung A.77.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken go-cdp rechts und go-cdp links.

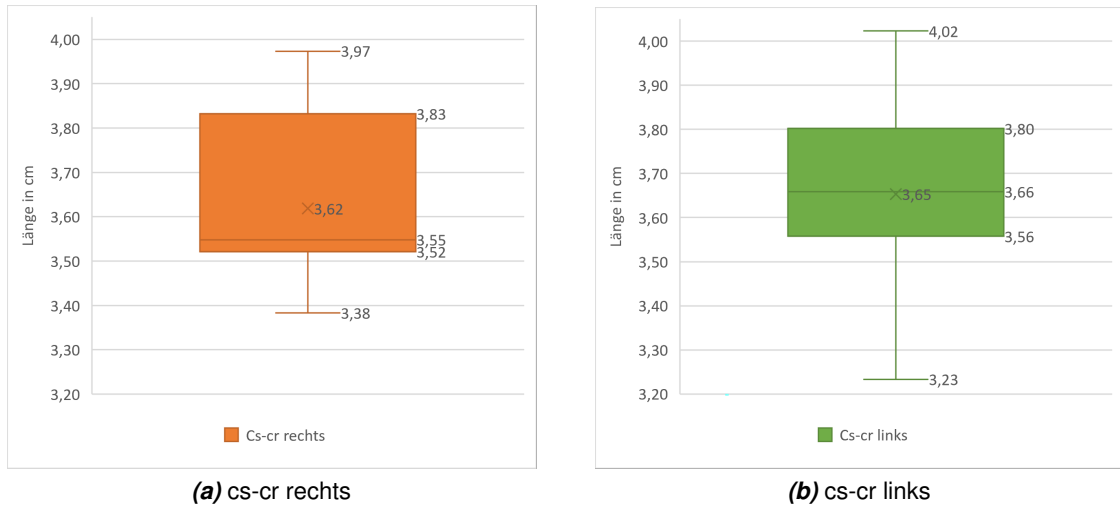


Abbildung A.78.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken cs-cr rechts und cs-cr links.

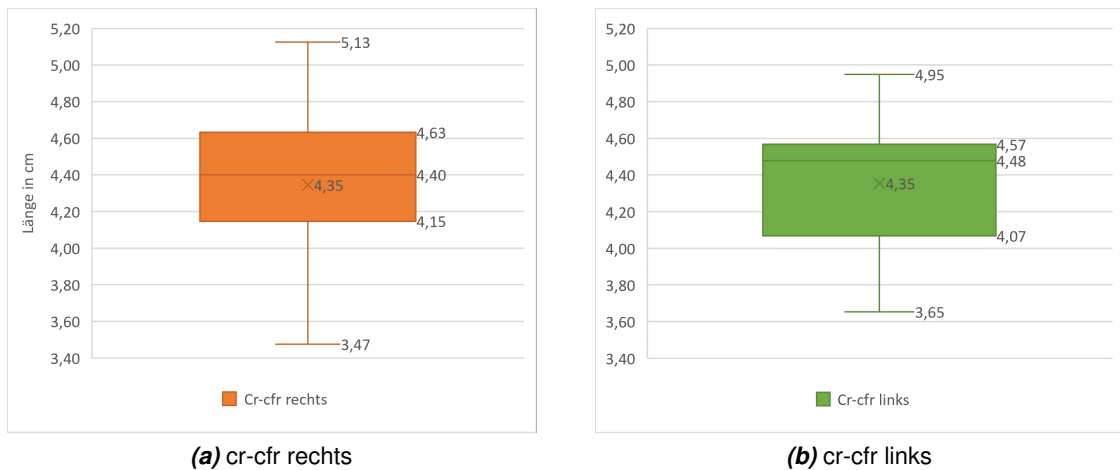


Abbildung A.79.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken cr-cfr rechts und cr-cfr links.

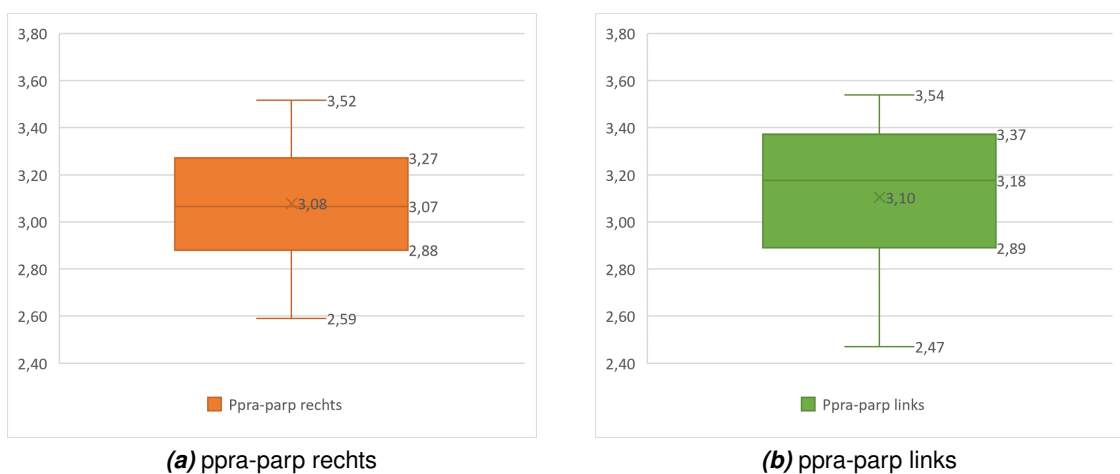
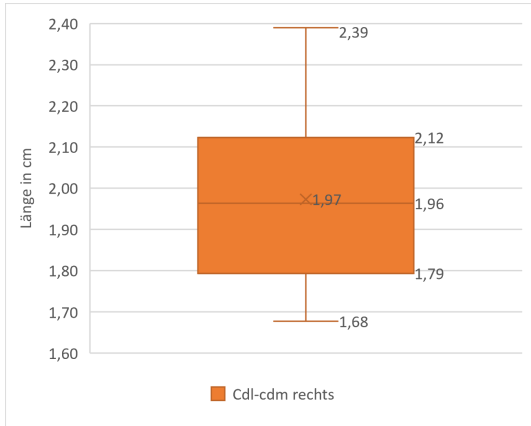
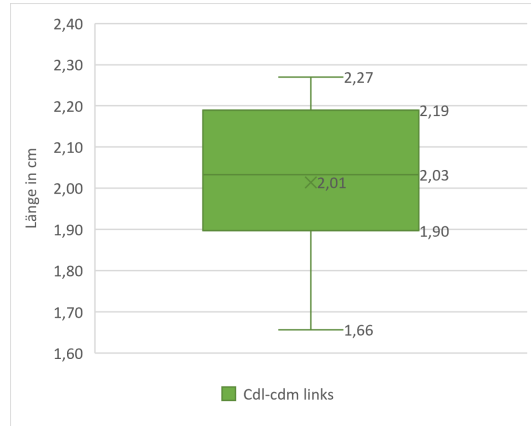


Abbildung A.80.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken ppra-parp rechts und ppra-parp links.

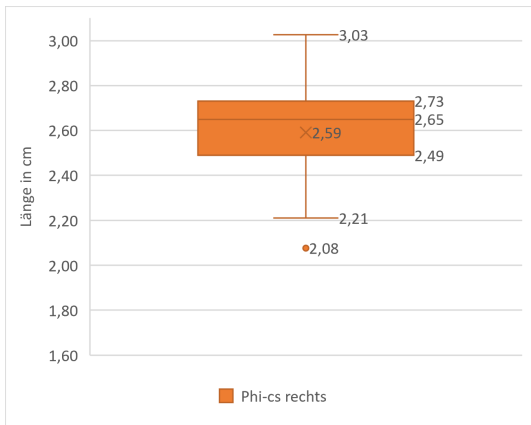


(a) cdl-cdm rechts

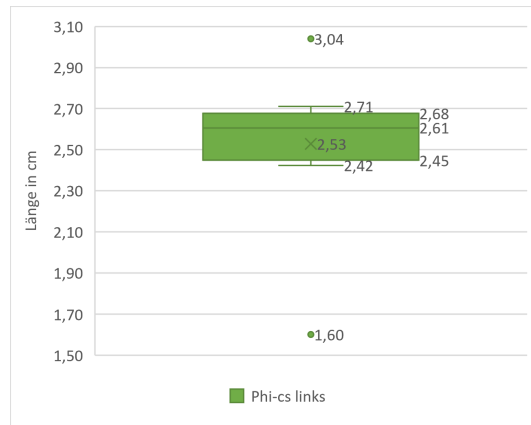


(b) cdl-cdm links

Abbildung A.81.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken cdl-cdm rechts und cdl-cdm links.

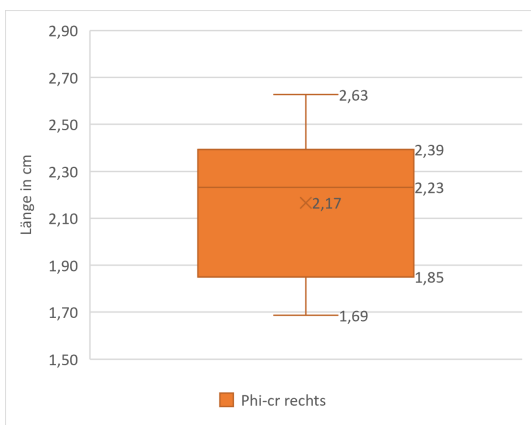


(a) phi-cs rechts

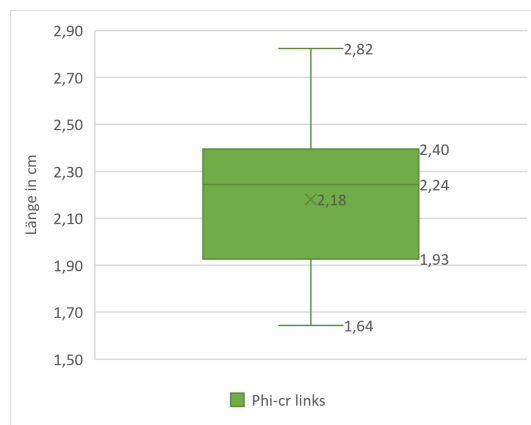


(b) phi-cs links

Abbildung A.82.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken phi-cs rechts und phi-cs links.

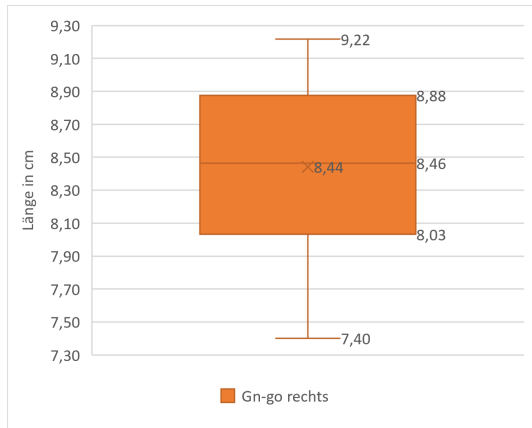


(a) phi-cr rechts

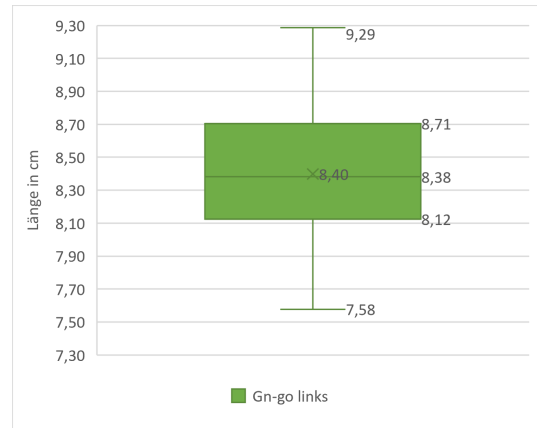


(b) phi-cr links

Abbildung A.83.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken phi-cr rechts und phi-cr links.

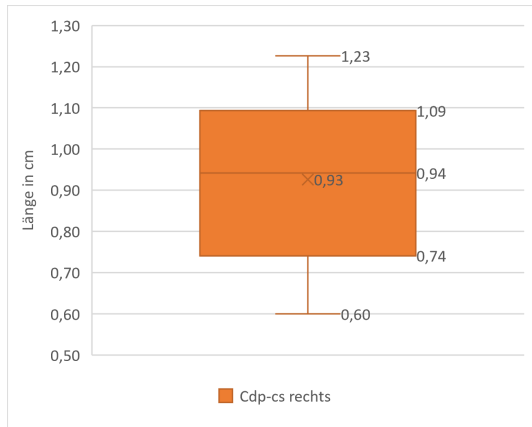


(a) gn-go rechts

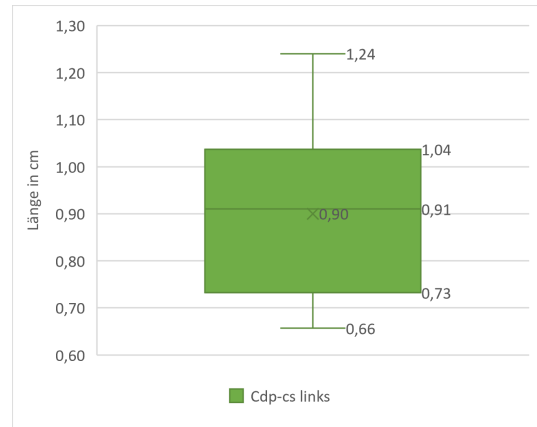


(b) gn-go links

Abbildung A.84.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken gn-go rechts und gn-go links.



(a) cdp-cs rechts



(b) cdp-cs links

Abbildung A.85.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken cdp-cs rechts und cdp-cs links.

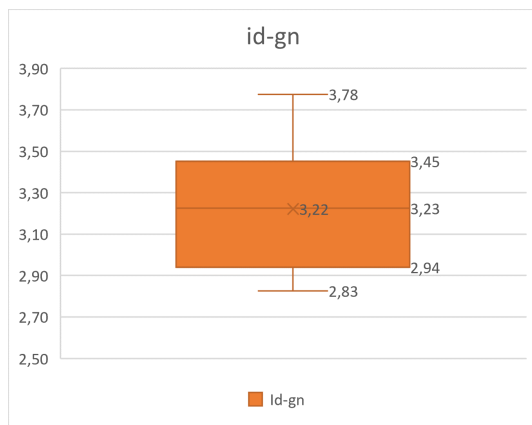


Abbildung A.86.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke id-gn.

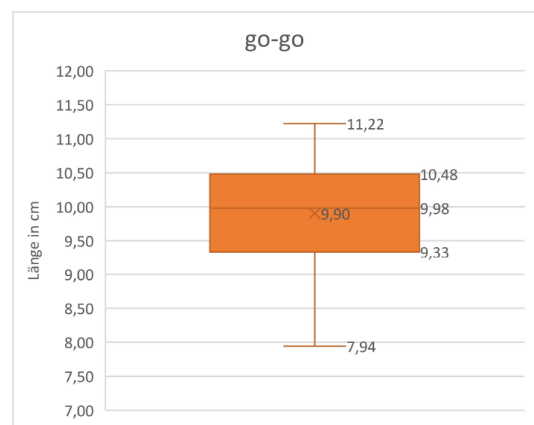


Abbildung A.87.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke go-go.

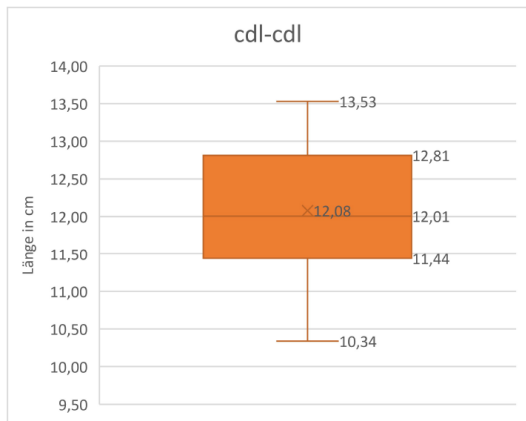


Abbildung A.88.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke cdl-cdl.

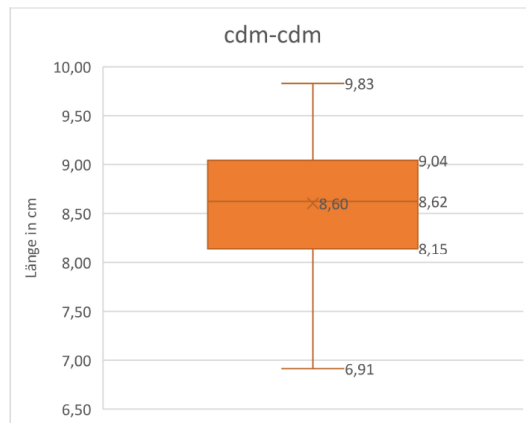


Abbildung A.89.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke cdm-cdm.

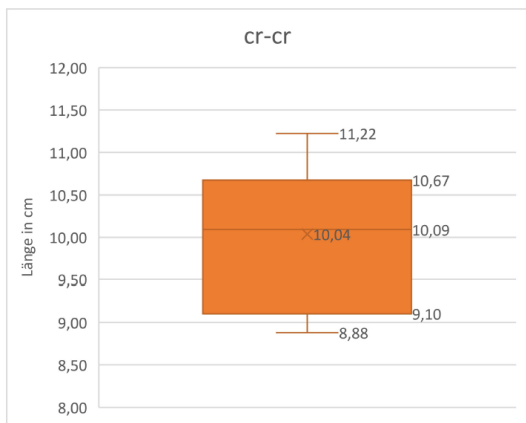


Abbildung A.90.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke cr-cr.

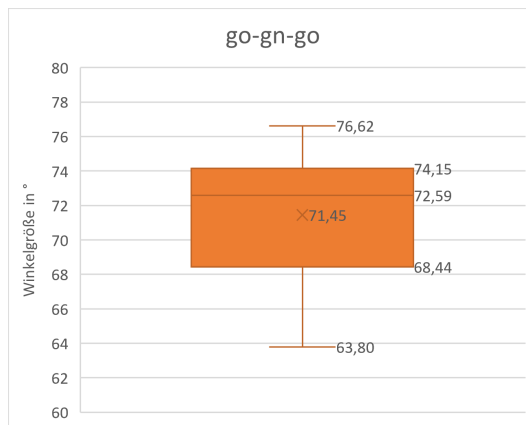
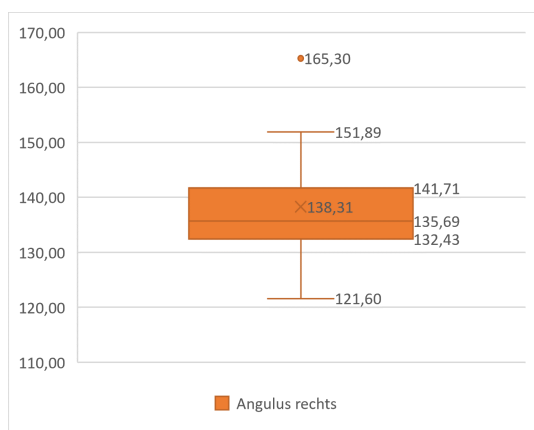
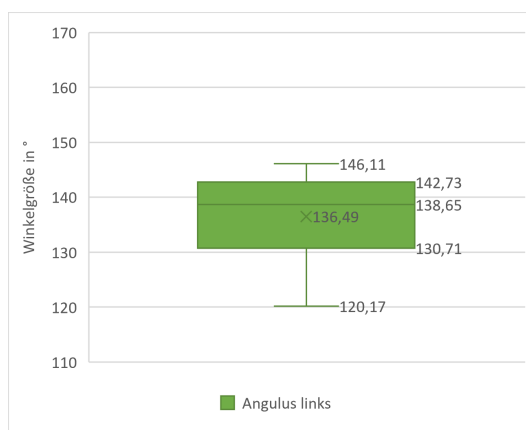


Abbildung A.91.: Boxplot-Diagramm der Messstrecke go-gn-go.



(a) Angulus rechts



(b) Angulus links

Abbildung A.92.: Vergleich der Boxplots von den Messstrecken Angulus rechts und Angulus links.

B. Literaturverzeichnis

- [1] J. E. Anderson. Skeletal "anomalies" as genetic indicators. *The Skeletal Biology of Earlier Human Populations*, 1968. 21
- [2] Alias Aspalilah, Ibrahim AbdelNasser, Noorain Abu Bakar Siti, Swarhib Shafie Mohamed, Das Srijit, Abdullah Nurliza, Mohammad Noor Helmee, Yi Liao Iman, and Faridah Mohd Nor. Anthropometric analysis of mandible: an important step for sex determination. *La Clinica terapeutica*, 169(5):e217–e223, 2018. 20
- [3] Gerhard Aumüller, Gabriela Aust, Arne Conrad, Jürgen Engele, Joachim Kirsch, Giovanni Maio, Artur Mayerhofer, Siegfried Mense, Dieter Reißig, Jürgen Salvetter, Wolfgang Schmidt, Frank Schmitz, Erik Schulte, Katharina Spanel-Borowski, Gunther Wennemuth, Werner Wolff, Laurenz J. Wurzinger, and Hans-Gerhard Zilch. *Duale Reihe Anatomie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2020. 5, 8, 13
- [4] Klaus Backhaus, Bernd Erichson, Wulff Plinke, and Rolf Weiber. *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, 9., überarb. und erw. aufl. edition, 2000. 37, 38
- [5] H. L. Barlett, editor. *Wesen und Methoden der Anthropologie 1 Wissenschaftstheorie, Geschichte, morphologische Methoden / mit Beitr. von H. L. Barlett. Osteometrie*, volume Band 1. Fischer, Stuttgart, New York, 4 edition, 1988. 95
- [6] I. Barthélémy, N. Telmon, J. F. Brugne, D. Rougé, and G. Larrouy. Cephalometric study of mandibular dimorphism in living population in south-west france. *International Journal of Anthropology*, 14(4):211–217, 1999. 38, 55, 88, 89
- [7] R. H. Baud, W. Ceusters, P. Ruch, A. M. Rassinoux, C. Lovis, and A. Geissbuhler. *Reconciliation of Ontology and Terminology to cope with Linguistics: In: Medinfo 2007: Proceedings of the 12th World Congress on Health (Medical) Informatics; Building Sustainable Health Systems*. IOS Press, Niederlande, 2007. 68
- [8] Robert H. Baud, Luis Filgueira, Pierre Sprumont Fribourg, and Paul E. Neumann. Federal international programme for anatomical terminology, 2020. 13, 28, 32, 105
- [9] Baud RH, Ruch, P, A. Gaudinat, P. Fabry, C. Lovis, and A. Geissbuhler. Coping with the variability of medical terms. *tud Health Technol Inform*, 107:322–326, 2004. 68
- [10] Andreas Bertsatos, Konstantina Athanasopoulou, and Maria-Eleni Chovalopoulou. Estimating sex using discriminant analysis of mandibular measurements from a modern greek sample. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, pages 1–12, 2019. 88, 89

- [11] BioPortal. Foundational model of anatomy - summary | ncbo bioportal, 08.12.2021. [67](#)
- [12] Blender. blender.org - home of the blender project - free and open 3d creation software, 09.12.2021. [71](#)
- [13] Tobias M. Böckers, Friedrich Paulsen, and Jens Waschke. *Anatomie: Das Lehrbuch*. Elsevier Urban & Fischer, 2 edition, 2019. [8](#), [9](#), [10](#), [11](#), [12](#)
- [14] Brkic H, Kaic Z, Poje Z, Singer Z. *Shape of the craniofacial complex in patients with Klinefelter syndrome*. Angle Orthod, 1994. [19](#)
- [15] Peter Bühler, Patrick Schlaich, and Dominik Sinner. *Digitale Fotografie: Fotografische Gestaltung - Optik -ameratechnik*. Springer Vieweg, Deutschland, 2017. [23](#)
- [16] Jane Buikstra and Douglas H. Ubelaker, editors. *Standards for data collection from human skeletal remains: Proceedings of a seminar at the Field Museum of Natural History*, volume 44 of *Arkansas Archeological Survey research series*. Arkansas Archeological Survey, Fayetteville, Ark., 1994. [18](#)
- [17] A. M. Child. Microbial taphonomy of archaeological bone. *Studies in Conservation*, 40(1):19–30, 1995. [16](#)
- [18] A. M. Child. Towards and understanding of the microbial decomposition of archaeological bone in the burial environment. *Journal of Archaeological Science*, 22(2):165–174, 1995. [16](#)
- [19] Angi M. Christensen, Nicholas V. Passalacqua, and Eric J. Bartelink. *Forensic anthropology: Current methods and practice*. Academic Press, Oxford and San Diego California, 2014. [1](#), [2](#)
- [20] Angi M. Christensen, Nicholas V. Passalacqua, and Eric J. Bartelink. *Forensic anthropology: Current methods and practice*. Academic Press, Oxford and San Diego California, 2014. [20](#)
- [21] Wolfgang Dauber, Heinz Feneis, and Gerhard Spitzer. *Feneis' Bild-Lexikon der Anatomie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart and New York, 10., komplett überarbeitete auflage edition, 2008. [xi](#), [xii](#), [13](#), [21](#), [22](#), [28](#), [32](#), [90](#), [105](#)
- [22] Andreas Dengel, editor. *Semantische Technologien: Grundlagen. Konzepte. Anwendungen*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2011. [7](#), [68](#)
- [23] Department of Nutrition, World Health Organization, Geneva, Switzerland and Members of the WHO Multicentre Growth Reference Study Group. Reliability of anthropometric measurements in the who multicentre growth reference study. 2006. [42](#), [79](#)

-
- [24] DigiCamControl. Easy to use, free solution for complex camera control, 23.11.2021. [26](#)
- [25] Richard L. Drake. *Terminologia Anatomica: International Anatomical Terminology*. Thieme, Stuttgart, 1998. [5](#), [6](#)
- [26] Richard L. Drake, A. Wayne Vogl, and Adam W. M. Mitchell. *Gray's anatomy for students*. Elsevier, Philadelphia MO, 4th edition edition, 2019. [13](#), [28](#), [32](#), [105](#)
- [27] Excel. Tabellenkalkulation – excel kostenlos testen | microsoft excel, 01.12.2021. [37](#)
- [28] Daniel Franklin. Determination of sex in south african blacks by discriminant function analysis of mandibular linear dimensions: A preliminary investigation using the zulu local population. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, pages 263–268, 2006. [37](#), [95](#)
- [29] Michael Frigge, David C. Hoaglin, and Boris Iglewicz. Some implementations of the boxplot. *The American Statistician*, (43):50–54, 1989. [37](#)
- [30] Hanjo Tim Fritzsch and Fabian Schmiedel. *Digitalisierung anthropologischer Skelettfundstücke und deren Untersuchung: Methoden und Werkzeuge der Spieleentwicklung im Anwendungsfeld der forensischen und archäologischen Anthropologie*. Bachelorarbeit, Hochschule Mittweida, Mittweida, 2020. [40](#)
- [31] Hanjo Tim Fritzsch, Fabian Schmiedel, Marie Heuschkel, Marleen Mohaupt, Dirk Labudde, Birgit Großkopf, Anna Lena Flux, Stefanie Meier, and Patricia van der Burgt. *Anthroworks3d: Digitalisierung von skelettfundstücken und die virtuell-osteologische untersuchung*. 2021. [1](#), [26](#)
- [32] Tim Hanjo Fritzsch and Fabian Schmiedel. *Anleitung: Projekt "Photogrammetrische Skelettdigitalisierung"*. PhD thesis. [27](#)
- [33] E. Giles and O. Elliot. Sex determination by discriminant function analysis of crania. *American journal of physical anthropology*, 21(1):53–68, 1963. [88](#)
- [34] Eugene Giles. Sex determination by discriminant function analysis of the mandible. *Am. J. Phys. Anthropol.*, (22):129–136, 1964. [38](#), [40](#), [55](#), [56](#), [88](#), [89](#)
- [35] O. P. Gobée, Daniël Jansma, and Marco C. DeRuiter. *Anatomicalterms.info*, 22.04.2021. [68](#)
- [36] O. Paul Gobée, Daniël Jansma, and Marco C. DeRuiter. *Anatomicalterms.info: heading for an online solution to the anatomical synonym problem hurdles in data-reuse from the terminologia anatomica and the foundational model of anatomy and potentials for future development*. *Clinical Anatomy*, 24(7):817–830, 2011. [67](#), [68](#)

- [37] Tilo Gockel. *Kompendium digitale Fotografie: Von der Theorie zur erfolgreichen Fotopraxis*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. [23](#)
- [38] Gisela Grupe, Kerrin Christiansen, Inge Schröder, and Ursula Wittwer-Backofen. *Anthropologie: Ein einführendes Lehrbuch*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012. [1](#)
- [39] Gisela Grupe, Michaela Harbeck, and George C. McGlynn. *Prähistorische Anthropologie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015. [1](#), [10](#), [11](#), [12](#), [16](#), [17](#), [18](#), [19](#), [20](#), [21](#), [22](#)
- [40] Benedikt Hallgrímsson, Miriam Leah Zelditch, Trish E. Parsons, Erika Kristensen, Nathan M. Young, and Steven K. Boyd. Morphometrics and biological anthropology in the postgenomic age. In P. Mitteroecker and P. Gunz, editors, *Advances in geometric morphometrics.*, pages 207–235. *Evolutionary Biology* 36, 2009. [20](#)
- [41] Andrea Hampel. Gräber der napoleonischen befreiungskriege in frankfurt a.m. - rödelheim: Kriegsrelikte des frühen 19. jahrhunderts im frankfurter stadtgebiet. In *Hessen Archäologie, Darmstadt: Theiss, 2002 (2015)*, pages 195–199. [25](#)
- [42] Gertrud Hauser and Gian Franco de Stefano. Epigenetic variants of the human skull. 1989. [21](#)
- [43] Jürgen Hedderich and Lothar Sachs. *Angewandte Statistik: Methodensammlung mit R*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 16 edition, 2018. [40](#)
- [44] G. Herms and G. Walter. *Einführung in die Behandlung von Messfehlern*. Universität Rostock, 2006. [40](#), [41](#)
- [45] Bernd Herrmann, editor. *Prähistorische Anthropologie: Leitfaden der Feld- und Labormethoden*. Springer, Berlin and Heidelberg and New York and London and Paris and Tokyo and Hong Kong, 1990. [1](#), [21](#)
- [46] Kyung-Seok Hu, Ki-Seok Koh, Seung-Ho Han, Kyoung-Jin Shin, and Hee-Jin Kim. Sex determination using nonmetric characteristics of the mandible in koreans. *Journal of forensic sciences*, 51(6):1376–1382, 2006. [28](#)
- [47] B. Isaac and S. J. Holla. Variations in the shape of the coronoid process in the adult human mandible. *Journal Anatomical Society India*, (50(2)):137–139, 2001. [21](#), [90](#)
- [48] David Kachlik, Vaclav Baca, Ivana Bozdechova, Pavel Cech, and Vladimir Musil. Anatomical terminology and nomenclature: past, present and highlights. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 30(6):459–466, 2008. [5](#), [6](#)
- [49] Kenhub. Anatomie lernen - einfach, schnell und online, 12.11.2021. [xi](#), [xii](#), [8](#), [10](#), [11](#), [13](#), [28](#), [32](#), [105](#)

-
- [50] Koordinierungsstelle wissenschaftliche Sammlungen. Digital bis ins mark?! ganztägiges online-symposium am 18. märz 2021, veranstaltet von der hochschule mittweida und der abteilung historische anthropologie der universität göttingen, 25.08.2021. 1
- [51] E. Kranioti, J. G. Donas, and H. Langstaff. Sex estimation of the greek mandible with the aid of discriminant function analysis and posterior probabilities. *Romanian Journal of Legal Medicine*, (22):101–104, 2014. 39, 55, 56, 89
- [52] Jeffrey T. Laitman. The bible the flock will not follow. *Anatomical sciences education*, 2(3):137–138, 2009. 68
- [53] David R. Lawrence. Taphonomy and information losses in fossil communities. *GSA Bulletin*, 79(10):1315–1330, 1968. 16
- [54] Wilfried Linder. *Digital Photogrammetry: A Practical Course*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 3 edition, 2009. 22
- [55] R. Lee Lyman. *Vertebrate taphonomy*. Cambridge manuals in archaeology. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1. publ edition, 1994. 16
- [56] Robert W. Mann, David R. Hunt, and Scott Lozanoff. *Photographic Regional Atlas of Non-Metric Traits and Anatomical Variants in the Human Skeleton*. Charles C. Thomas Publisher Ltd, Springfield Illinois U.S.A., 2016. 21, 90
- [57] Robert Walter Mann. *Stafne's defects of the human mandible*. PhD thesis, University of Hawai'i at Manoa, Hawaii, 2001. 21, 22
- [58] Laura Manthey, Richard L. Jantz, Michael Bohnert, and Katharina Jellinghaus. Secular change of sexually dimorphic cranial variables in euro-americans and germans. *International journal of legal medicine*, 131(4):1113–1118, 2017. 38
- [59] M. Marinescu, V. Panaitescu, and M. Rosu. Sex determination in romanian mandible using discriminant function analysis: Comparative results of a time-efficient method. *Romanian Journal of Legal Medicine*, 21(4):305–308, 2013. 39, 55, 56, 89
- [60] Evan W. Matshes. *Human osteology & skeletal radiology: An atlas and guide*. CRC Press, Boca Raton, 2005. 2
- [61] D. McDonnell, M. Nouri, and M. E. Reza and Todd. The mandibular lingual foramen: a consistent arterial foramen in the middle of the mandible. *Journal of Anatomy*, 184(Pt 2):363, 1994. 22
- [62] Alexander R. McNeill. *Knochen! Was uns aufrecht hält - das Buch zum menschlichen Skelett*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2007. 10
- [63] Jose L. V. Mejino and Cornelius Rosse. *Symbolic modeling of structural relationships*

- in the Foundational Model of Anatomy*. First International Workshop on Formal Biomedical Knowledge Representation (KR-MED 2004). 2004. [7](#), [8](#), [68](#)
- [64] P. Mitteroecker and P. Gunz, editors. *Advances in geometric morphometrics*. *Evolutionary Biology* 36, 2009. [20](#)
- [65] Moerkerke, C and Ceusters, W. The myth of preferred terms in medical sublanguage and its impact on natural language understanding applications: an empirical study. *Proceedings of the 18th MIC Conference*, 2000. [68](#)
- [66] Michael Mulligan. International anatomical terminology. *Skeletal Radiology*, 35(10):717–718, 2006. [68](#)
- [67] N. F. Noy, M. A. Musen, Mejino Jr., J. L., and C. Rosse. Foundational model of anatomy - summary | ncbo bioportal, 26.05.2021. [13](#), [28](#), [32](#), [105](#)
- [68] Ontology Search. Foundational model of anatomy ontology, 08.12.2021. [7](#), [67](#)
- [69] Nancy S. Ossenberg. The influence of artificial cranial deformation on discontinuous morphological traits. *American journal of physical anthropology*, 33(3):357–371, 1970. [21](#)
- [70] Friedrich Paulsen, Jens Waschke, and Johannes Sobotta, editors. *Kopf, Hals und Neuroanatomie*, volume / Sobotta ; Band 3 of *Atlas der Anatomie des Menschen*. Elsevier Urban & Fischer, München, 24. auflage edition, 2017. [xi](#), [xii](#), [13](#), [18](#), [28](#), [32](#), [70](#), [90](#), [105](#)
- [71] K. Potter, H. Hagen, A. Kerren, and P. Dannenmann. Methods for presenting statistical information: The box plot. *Visualization of large and unstructured data sets*, (4):97–106, 2006. [37](#)
- [72] Ranganathan Priya and K. Y. Manjunath. The varying shape of the coronoid process of the mandible. *Indian journal of dental research: official publication of Indian Society for Dental Research*, 15(3):96–98, 2004. [21](#), [90](#)
- [73] Anwar Ramadhan, Elias Messo, and Jan-Michaél Hirsch. Anatomical variation of mental foramen: A case report. *Stomatologija, Baltic Dental and maxillofacial Journal*, (Vol. 12, No. 3), 2010. [21](#), [90](#)
- [74] T. Reich, J. W. James, and C. A. Morris. The use of multiple thresholds in determining the mode of transmission of semi-continuous traits. *Annals of Human Genetics*, 36(2):163–184, 1972. [21](#)
- [75] F. W. Rösing. *Discreta des menschlichen Skeletts—ein kritischer Überblick*. *Homo* 33, 1982. [21](#)

-
- [76] Cornelius Rosse. Terminologia anatomica: Considered from the perspective of next-generation knowledge sources. *Clinical Anatomy*, 14(2):120–133, 2001. 67
- [77] Michael Sachs. *Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik: Für Ingenieurstudierende an Hochschulen : mit 35 Bildern, 93 Beispielen und 71 Aufgaben*. Mathematik-Studienhilfen. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, 5. auflage edition, 2018. 36
- [78] Saunders S. R. Nonmetric skeletal variation. *Reconstruction of Life from the Skeleton*, pages 95–108, 1989. 21
- [79] Louise Scheuer. Application of osteology to forensic medicine. *Clinical Anatomy*, 15(4):297–312, 2002. 20
- [80] Michael Schünke, Erik Schulte, and Udo Schumacher. *PROMETHEUS: Kopf, Hals und Neuroanatomie*, volume 3. Georg Thieme Verlag, Stuttgart and New York, 5 edition, 2018. xi, xii, 13, 28, 32, 105
- [81] Michael Schünke, Erik Schulte, and Udo Schumacher. *Prometheus LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. Thieme, Stuttgart, 5 edition, 2018. 13
- [82] Frank Siegmund. *Statistik in der Archäologie: Eine anwendungsorientierte Einführung auf Basis freier Software*. BoD - Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2020. 41, 42, 79
- [83] Rahul Singh, Suniti R. Mishra, Sushobhana, Jigyasa Passey, Pramod Kumar, Shailendra Singh, Priyanka Sinha, and Smrity Gupta. Sexual dimorphism in adult human mandible of north indian origin. *Forensic Medicine and Anatomy Research*, 03(03):82–88, 2015. 20
- [84] V. Singh, M. K. Anand, and K. Dinesh. Variations in the pattern of mental spines and spinous mental foramina in dry adult human mandibles. *Surgical and radiologic anatomy : SRA*, 22(3-4):169–173, 2000. 21
- [85] Dennis E. Slice. Geometric morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36(1):261–281, 2007. 2, 20
- [86] Edward C. Stafne. Bone cavities situated near the angle of the mandible. *The Journal of the American Dental Association*, 29(17), 1942. 22, 90
- [87] stageonair. Software - 3d produktfotografie 360 grad produktfoto animation mit automatik. 360° drehvorrichtung, 23.11.2021. 25
- [88] Johannes Streicher, editor. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas*

- in einem Band ; [44 Tabellen. De Gruyter Studium. de Gruyter, Berlin, 19., vollst. überarb. und aktualisierte aufl. edition, 2012. xi, xii, 13, 28, 32, 105*
- [89] Tom Striewisch. *Der große humboldt Fotolehrgang*. Humboldt, Deutschland, 7 edition, 2010. 22
- [90] Tabida Hasan, Fauzi M, and Hasan D. Bilateral absence of the mental foramen: A rare variation. *1308-4038*, (3):167–169, 2010. 21
- [91] Talita Adão Perini, Glauber Lameira de Oliveira, Juliana dos Santos Ornellas, and Fátima Palha de Oliveira. Technical error of measurement in anthropometry (english version). *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 11(1):81–85, 2005. 40, 41, 42, 79, 81
- [92] A. Thoma. The pattern of quasi-continuous variation in homo sapiens. *Journal of Human Evolution*, 10(4):303–310, 1981. 21
- [93] TurboCAD. Die professionelle & günstige cad-software, 22.11.2021. 26
- [94] Douglas H. Ubelaker. *Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretation*. Taraxacum, Washington, 1978. 19
- [95] Marin Vodanović, Jelena Dumančić, Željko Demo, and Damir Mihelić. Determination of sex by discriminant function analysis of mandibles from two croatian archaeological sites. *Acta stomatologica Croatica*, 40(3):263–277, 2006. 19, 38, 54, 55, 56, 88, 89, 92, 93
- [96] Kanchankumar P. Wankhede, Rajesh V. Bardale, Gunwant R. Chaudhari, and Nanddeo Y. Kamdi. Determination of sex by discriminant function analysis of mandibles from a central indian population. *Journal of forensic dental sciences*, 7(1):37–43, 2015. 89
- [97] Christian Westphalen. *Die große Fotoschule: Digitale Fotopraxis*. Galileo Press, Bonn, 1 edition, 2011. 22
- [98] Karl Zilles and Bernhard Tillmann. *Anatomie: Mit 121 Tabellen*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin and Heidelberg, 2010. xi, xii, 10, 11, 12, 13

C. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Prof. Dr. rer. nat. Labudde für die Übernahme dieser Arbeit bedanken. Danken möchte ich außerdem Frau Mohaupt (M.Sc.) für die Betreuung und hilfreichen Anregungen. Ein besonders großer Dank geht an Frau Heuschkel (M.Sc.), welche mir bei allen Fragen stets zur Seite stand und sich fortwährend die Zeit für Hilfestellungen nahm. Weiterhin möchte ich mich bei Lisa Marie Paris für das Mitwirken an den Messungen und Fotografien sowie ihrer Unterstützung bedanken. Der Universität Göttingen gilt mein Dank für die Leihgabe des Materials der Rödelheimer Skelettsammlung. Herrn Fabian Schmiedel (B.Sc.) und Herrn Hanjo Tim Fritsch (B.Sc.) möchte ich für die programmatische Arbeit in AnthroWorks3D und der Bereitstellung von neuen Builds danken. Abschließend möchte ich mich auch bei meiner Familie für die ständige Unterstützung und den beistehenden Worten bedanken.

D. Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 24.01.2022



Laura Penne