

Aus der Klinik und Poliklinik
für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. Dr. Michael Ehrenfeld

Untersuchungen zu Frakturen der internen Orbita
in der CT-Bildgebung -
Flächengröße, Topographie, Korrelationen von frakturierten
Subregionen

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Tobias Stiebler
aus
Prien am Chiemsee

2018

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität zu München**

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. C.-P. Cornelius

Mitberichterstatter: PD Dr. Christian Schilcher
Prof. Dr. Andrea Wichelhaus

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 27.11.2018

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Grundlagen	3
2.1 Anatomie der Orbita.....	3
2.1.1 Knöchernen Strukturen - anatomisches versus geometrisches Konzept	3
2.1.2 Kanäle, Fissuren, Foramina, Öffnungen.....	5
2.1.3 Nervalen Versorgung - sensorisch / motorisch.....	6
2.1.4 Extraokuläre Muskeln	7
2.1.5 Bindegewebsstrukturen und Kanthus-Apparat der Orbita.....	8
2.1.6 Lidapparat	10
2.2 CT-Morphologie der internen Orbita	11
2.2.1 Orbitaboden.....	12
2.2.2 Canalis infraorbitalis	13
2.2.3 Mediale Orbitawand	14
2.2.4 Laterale Orbitawand	16
2.2.5 Orbitadach	17
2.3 Frakturen der internen Orbita	18
2.3.1 Klinische Aspekte und Diagnostik bei Frakturen der internen Orbita	18
2.3.2 Zur Behandlung von Frakturen der internen Orbita.....	20
2.3.2.1 Therapieziel.....	20
2.3.2.2 Indikationsstellung zur Rekonstruktion des Orbitabodens und der medialen Orbitawand	24
2.3.2.3 Operative Zugangswege zu Orbitaboden und medialer Orbitawand.....	25
2.3.2.4 Materialien zur Orbitawandrekonstruktion.....	27
2.3.2.5 Intraoperatives Vorgehen	30
2.3.2.5.1 Periorbitale Dissektion zur Darstellung von Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand	30
2.3.2.5.2 Applikation von Titan-Meshes	33
2.4 Klassifikation von Orbitafrakturen - Historie.....	37
2.5 Neue AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene.....	41
2.6 Codierung der AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene im Bereich der Orbita..	49
2.7 Problemstellung der vorliegenden Studie	54

3. Material und Methoden	55
3.1 Patienten / CT-Datensätze.....	55
3.2 Vermessung von inferioren und medialen Orbitawand-Defekten.....	57
3.2.1 Ermittlung der Frakturflächengröße	57
3.2.2 Probleme bei der Vermessung.....	62
3.2.3 Statistische Methodik	64
3.3 Klassifikation der Orbitafrakturen	65
3.3.1 AO COIAC – Software zur AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	65
3.3.2 Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene zu Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand	71
3.3.3 Unterschiede zwischen AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene und dem Modifikationsvorschlag – Zusammenfassung.....	85
3.3.4 Statistische Methodik	87
3.3.4.1 Multiple lineare Regressionsanalyse	87
3.3.4.2 Normalverteilung der Residuen	89
3.3.4.3 Residuals versus fitted	90
3.3.4.4 Scale location	90
3.3.4.5 Box und whiskers plot	90
4. Ergebnisse	92
4.1 Flächen-Ausdehnung von Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand.....	92
4.1.1 Orbitabodenfrakturen.....	92
4.1.2 Frakturen der medialen Orbitawand	99
4.2 Systematische Einteilung und Codierung von Frakturen der internen Orbita nach der neuen AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	103
4.2.1 Präzisions-Level 1	103
4.2.2 Präzisions-Level 2	104
4.2.3 Präzisions-Level 3	107
4.2.3.1 Häufigkeit der Frakturmuster – Mittelgesicht und Orbitae (Brutto-Codes)	107
4.2.3.2 Häufigkeit der Frakturmuster – Orbitaränder und Orbitawände, inklusive Apex (Netto1-Codes).....	113
4.2.3.3 Häufigkeit der Frakturmuster – Interne Orbita (Netto2-Codes).....	116
4.3 Modifikationsvorschlag zur Klassifizierung von Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand	119
4.3.1 Frakturmuster des Orbitabodens und der medialen Orbitawand.....	119
4.3.2 Topographische Subregionen	121
4.3.3 Beteiligung anatomischer Landmarken	122
4.3.4 Kombination der Subregionen und Involvierung der Landmarken bei Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand nach topographischen Gesichtspunkten.....	124
4.3.4.1 Orbitaboden medial des Infraorbitalkanals	124

4.3.4.2 Orbitaboden anterior	124
4.3.4.3 Orbitaboden in toto	125
4.3.4.4 Subregionen dorsal des Nasolacrimalkanals (NLC) und um die „internal orbital buttress“ (IOB)	126
4.3.4.5 Subregionen um die „posteromedial bulge“ auf Seiten des posterioren Orbitabodens und der medialen Orbitawand.....	128
4.4 Gegenüberstellung von AO CMF Klassifikation für Erwachsene und Modifikationsvorschlag zur Codierung von Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand	130
4.4.1 Vergleich der Häufigkeit von Frakturmustern im Orbitaboden (Netto3-Codes): AO CMF Trauma-Code für Erwachsene versus Codierung nach Modifikationsvorschlag ...	136
4.4.2 Vergleich der Häufigkeiten von kombinierten Frakturmustern in Orbitaboden und Medialer Orbitawand (Netto3-Codes): AO CMF Trauma-Code versus Codierung nach Modifikationsvorschlag.....	141
4.5 Inferenz-Statistische Auswertung – Flächenausdehnung der Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand	146
4.5.1 Regressionsmodelle für Frakturflächen im Orbitaboden	146
4.5.1.1 Subregionen nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene.....	146
4.5.1.2 Subregionen nach dem Modifikationsvorschlag	152
4.5.2 Regressionsmodell für Frakturflächen in der medialen Orbitawand	160
4.5.2.1 Subregionen nach dem Modifikationsvorschlag.....	160
5. Diskussion.....	165
5.1 Flächen-Ausdehnung von Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand	165
5.1.1 Flächenvermessung von inferioren und medialen Orbitawandfrakturen in der Literatur.....	165
5.1.2 Vergleich mit der vorliegenden Studie, unterschiedliche Vermessungsmethoden, Methodenkritik	170
5.2 Häufige Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand nach der AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	177
5.3 Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene für Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand	179
5.3.1 Topographische Subregionen	179
5.3.2 Anatomische Landmarken	182
5.4 Zusammenhänge zwischen Topographie bzw. Ausdehnung der Frakturmuster und Frakturflächengröße	184
5.4.1 Regressionsanalyse zur Vorhersage der Frakturflächen in den Subregionen nach der AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	184
5.4.2 Regressionsanalyse zur Vorhersage der Frakturflächen in den Subregionen nach dem Modifikationsvorschlag.....	185

5.4.2.1 Orbitaboden	185
5.4.2.2 Mediale Orbitawand	186
5.5 Frakturflächen in den infero-medialen Orbitawänden in Assoziation mit lateralen Mittelgesichtsfrakturen	187
5.6 AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene und Modifikationsvorschlag – ein Vergleich	190
5.7 Ausblick.....	193
6. Zusammenfassung	194
7. Verzeichnisse	197
7.1 Literaturverzeichnis	197
7.2 Internetquellenverzeichnis.....	210
7.3 Abbildungsverzeichnis	212
7.4 Verzeichnis der Diagramme und Tabellen.....	216
7.5 Abkürzungsverzeichnis	220
8. Anhang	222
9. Danksagung	235
11. Eidesstattliche Erklärung	2366

1. Einleitung

Frakturen der internen Orbita oder Orbitawandfrakturen können isoliert oder in Verbindung mit weiteren Mittelgesichtsfrakturen auftreten. Während Unfälle im Straßenverkehr durch Verbesserungen der Sicherheitsvorschriften und -maßnahmen (Anschallgurt, Airbag) als Ursache abnehmen, rücken Freizeit-/Sport-Unfälle, Stürze sowie Rohheits-Delikte (Patienten im Alter zwischen 20 und 29 Jahren ²²) in den Vordergrund. ¹⁹⁴

Mit dem technischen Fortschritt bei der Bildgebung wurden nicht nur enorme Verbesserungen in der Diagnostik, sondern auch in Behandlungsabläufen und -resultaten erzielt. Bei Verdacht auf Orbitafrakturen sind heute CT-Aufnahmen üblich, die axial, koronal und sagittal jeweils in mehreren Ebenen mit möglichst geringen Abständen (0,625 - 3 mm) erfolgen und zu 3D-Ansichten kombiniert werden können. ^{71, 72}

Im Laufe der Zeit etablierten sich innovative Verfahren zur Frakturversorgung von Calvaria-Transplantaten (autolog und Knochenersatz-materialien) bis hin zu anfangs konfektionierten, später präformierten und patienten-spezifischen Titanmeshes. Die möglichst exakte Wiederherstellung der originären anatomisch-topographischen Struktureigenschaften der internen Orbita (Volumen, Oberflächen-Konturen und -Profil) gilt dabei als eine entscheidende Voraussetzung für eine zufriedenstellende funktionelle und ästhetische Restitution. ^{10, 52, 67, 73, 163}

Aufgrund neuer Darstellungs- und Reparaturmöglichkeiten stellte sich die Frage nach einer zeitgemäßen, comprehensiven Klassifikation der Orbita-Traumen. Historischer Prototyp für ein intuitives und einfaches Klassifikationssystem ist die Einteilung der Mittelgesichtsfrakturen nach Le Fort. René Le Fort (1869-1951) konnte schon 1901 die Schwachstellen im menschlichen Gesichtsschädelskelett *in vitro* identifizieren und einem drei Etagen-Muster zuordnen, in dem die Frakturlinienverläufe in der Orbita jedoch nur cursorisch vorkommen. ^{189, 188, 171}

Eine Klassifikation von Orbitawandfrakturen muss heute imstande sein, die Topographie und Ausdehnung von Frakturlinienverläufen und Defekten auf der Basis einer geeigneten Bildgebung mit verschiedenen Ansprüchen an die Genauigkeit (Präzisions-Level) zu dokumentieren ^{5, 6}; darüber hinaus sollte sie eine weitgehend non-verbale Kommunikation gestatten, um so weltweit eine interdisziplinäre Verwendung erreichen zu können.

Von der „Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese Fragen“ (AO) wurde kürzlich ein Comprehensive AO Classification System (System for Fractures of the Craniomaxillofacial Skeleton) (Audigé et al 2014 ⁵) publiziert, das mit einem zugehörigen Softwareprogramm (AOCOIAC - AO Comprehensive Injury Automatic Classifier) (Audigé et al 2014 ⁶) in die Praxis umgesetzt werden kann. Eine Ikonographie zur graphischen Dokumentation und ein daraus generierter alpha-numerischer Code ermöglichen eine einfache Verständigung und die

Korrelation mit Fahrplänen zur Fraktur-Versorgung (AO surgical reference über www.aofoundation.org).

Die Mittelgesichts-^{31, 33, 112} und Orbitamodule¹¹¹ dieser neuen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ liefern die Grundlage für die folgende Auswertung von Orbitawandfrakturen in den Dünnschicht-CTs einer klinischen Serie. Von Interesse in dieser Studie waren in die Frakturverläufe involvierte Strukturen, die Flächengrößen von Frakturen mit Defektcharakter im Orbitaboden und der medialen Orbitawand und das Auftreten wiederkehrender Frakturmuster. Zudem stand die Eignung der neuen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ zur Dokumentation der Orbitawandfrakturen auf dem Prüfstand mit der Fragestellung, ob die Detailgenauigkeit zur Erfassung komplexer Frakturmuster ausreichend ist und ob sich hinsichtlich der Therapierelevanz ein Modifikationsvorschlag anbietet.

Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchungen war es, die Größenordnung der Frakturflächen in Orbitaboden und/oder medialer Orbitawand einer Sammlung von CT-Datensätzen von Patienten mit Mittelgesichtstraumen zu bestimmen. Dabei waren Flächenunterschiede in Abhängigkeit von der Topographie und von den Frakturmustern im übrigen Gesichtsskeletts – isolierte Frakturen der internen Orbita versus Orbitabeteiligung bei zentralen, zentrolateralen oder lateralen Mittelgesichtsfrakturen zu erwarten.

Mit Blick auf die chirurgische Rekonstruktion der Orbitawände mit präformierten oder individuellen Titanmeshes, hat die Prädiktion der Frakturflächen praktische Bedeutung. Wenn die Indikation zur Verwendung von Titanmeshes gestellt wird, sollten sie nach Größe und Oberflächen-Kontur so ausgewählt werden, dass sie den Defekträndern exakt aufliegen und der Oberfläche nach der Topographie in Orbitaboden und medialer Orbitawand entsprechen. Eine statistisch verifizierte Korrelation zwischen der mit der neuen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ oder nach dem Modifikationsvorschlag bestimmten Topographie variierender Frakturmuster und der zugehörigen Defektgrößen würde auf einfache Weise - ohne auf die Möglichkeiten einer Computer assistierten präoperativen Planung angewiesen zu sein - erlauben, eine geeignete Auswahl der Titanmeshes zu treffen.

2. Grundlagen

2.1 Anatomie der Orbita

2.1.1 Knöcherne Strukturen - anatomisches versus geometrisches Konzept

Die knöcherne Augenhöhle (Orbita) eines Erwachsenen hat ein Volumen von ca. 30 cm³ bei einer durchschnittlichen Breite von 26,9 mm und einer Länge von 37,6 mm (Baumann, Burggasser et al. 2002¹¹). Das Größenwachstum ist im Alter von 7 bis 13 Jahren abgeschlossen.¹³ Die Orbita beherbergt den Bulbus oculi (Augapfel), der ca. 7 cm³ am Gesamtvolumen einnimmt³⁶, und umgebende Hilfsstrukturen. Das alles wird als Sehorgan (organum visus) zusammengefasst.

Nach anatomischer Systematik bilden insgesamt sieben Gesichtsknochen die Orbita: Os frontale, Os ethmoidale, Os lacrimale, Os palatinum, Os sphenoidale, Os zygomaticum und Maxilla (**Abb. 1**). Der Orbitaboden, der zum Großteil der Maxilla zugehörig ist, grenzt an die mediale Orbitawand, die wiederum aus den naso-fronto-maxillären Fortsätzen, dem Os lacrimale und der quadrangulär geformten Lamina papyracea des Os ethmoidale sowie dem anterolateralen Anteil des Corpus sphenoidalis besteht.³⁶ Das Orbitadach entspricht der Facies orbitalis des Os frontale und dem Ala minor des Os sphenoidale. Die laterale Orbitawand setzt sich aus der Facies orbitalis des Os zygomaticum und dem Ala major des Os sphenoidale zusammen.

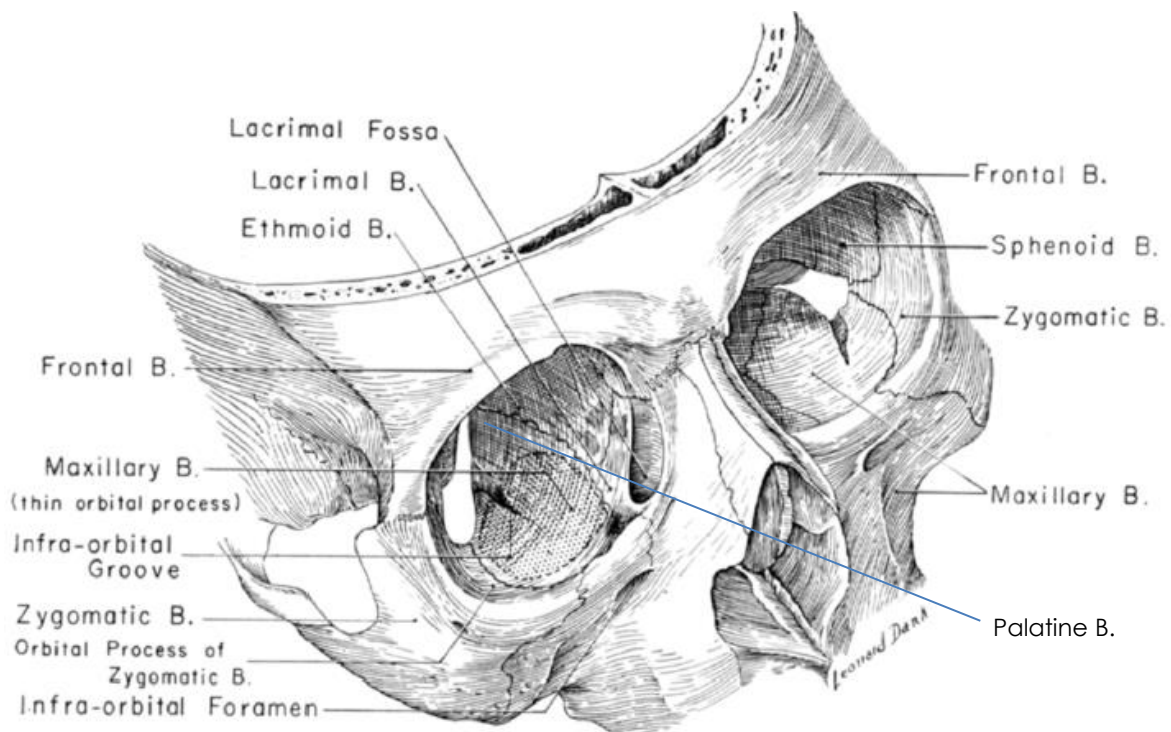


Abb. 1: Sieben Knochen bilden die Orbita: Os frontale (Frontal B.), Os ethmoidale (Ethmoid B.), Os lacrimale (Lacrimal B.), Os palatinum (Palatine B.), Os sphenoidale (Sphenoid B.), Os zygomaticum (Zygomatic B.) und Maxilla (Maxillary B.). (Quelle: Converse JM, Smith B; "Enophthalmus and Diplopia in fractures of the orbital floor")

Neben der anatomischen ist eine geometrische Unterteilung der internen Orbita gebräuchlich (**Abb. 2**). Entsprechend einer vierseitigen Pyramide, die in eine dreiseitige Spitze übergeht, können eine inferiore, mediale, superiore und laterale Wand unterschieden werden. Die Spitze bzw. die Apexregion, wird vom Os sphenoidale gebildet und schließt sich dorsomedial an die Fissura orbitalis inferior an.

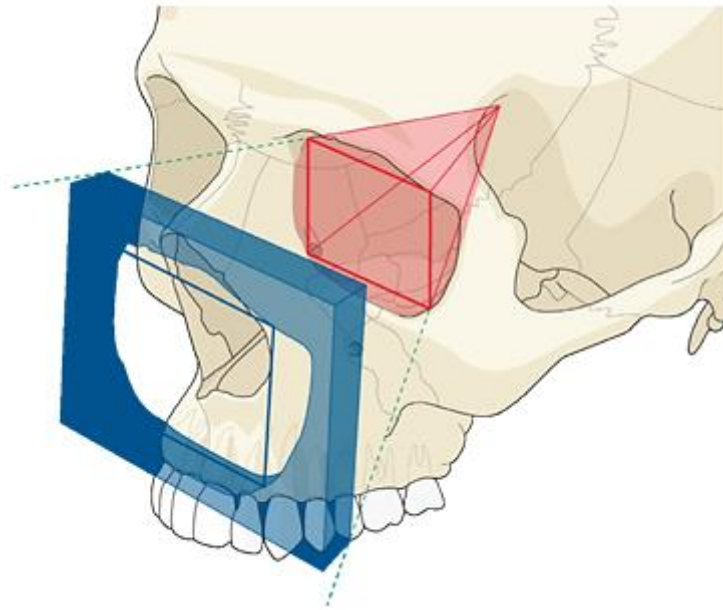


Abb. 2: Geometrisches Konzept der Orbita (links): Unterteilung in Orbitarahmenstrukturen (blau) und die interne Orbita (rot). Es ergibt sich eine vierseitige Pyramide mit Orbitaboden („orbital floor“), medialer Orbitawand („medial orbital wall“), lateraler Wand („lateral orbital wall“) und Orbitadach („orbital roof“) und dreiwandigem Apex. Der Orbitaboden, als kürzeste Wand, endet auf Höhe des „maxillary strut“ und ist nicht am Aufbau der posterioren Orbita beteiligt.

Neben der Einteilung in vier Orbita-Wände und den Apex wird eine Dreiteilung in anterior-posteriorer Richtung unternommen. Der Apex orbitae wird dabei der posterioren Orbita gleichgesetzt. Anterior schließt sich die „Midorbita“ an, die nach frontal in die anteriore Orbita übergeht. Diese Dreiteilung entspricht jedoch nicht einer metrischen Drittelung und bestimmten Längenrelationen, sondern orientiert sich vielmehr an anatomischen Landmarken: als Grenze zwischen „Midorbita“ und anteriorer Orbita ist der „anterior loop“, also die vordere Kurvatur der Fissura orbitalis inferior anzusehen. Die Grenzlinie nach dorsal, d.h. der Übergang in die Apexregion wird von der „maxillary strut“, der Knochenverstrebung zwischen Fissura orbitalis superior und Foramen rotundum, gebildet.^{36, 111}

Die inferiore Orbitawand bzw. der Orbitaboden endet am Hinterrand der Fissura orbitalis inferior und erstreckt sich als kürzeste Orbitawand ausschließlich über die anteriore Orbita und die „Midorbita“.

Orbitaboden, die mediale Orbitawand und Orbitadach grenzen an die pneumatisierten Hohlräume des Nasennebenhöhlensystems. Dabei separiert der Orbitaboden den Sinus maxillaris und die mediale Orbitawand (Lamina papyracea) die Cellulae ethmoidales. Die Lamina papyracea ist oftmals hauchdünn und damit fraktur anfällig. Die ungefähre Knochendicke beträgt 0,2 - 0,4 mm. Damit ist sie die dünnste Knochenwand in der Orbita (Orbitaboden: 0,5 – 1 mm, laterale Orbitawand: 1 – 1,5 mm, Orbitadach: 0,5 – 3 mm).³⁹ Das Orbitadach teilt schließlich den Sinus frontalis und außerdem die vordere Schädelhöhle von der Orbita. Die inneren Orbitawände sind von Periost bzw. der Periorbita ausgekleidet.

2.1.2 Kanäle, Fissuren, Foramina, Öffnungen

Hauptpforten für Nerven und Gefäße in die Orbita sind der Canalis opticus, die Fissura orbitalis superior (SOF) und die Fissura orbitalis inferior (IOF). Der Canalis opticus hat eine Länge von ca. 5,5 – 11,5 mm und einen Durchmesser von 4 – 9 mm. Der sogenannte „optic strut“ trennt den Optikuskanal nach lateral von der SOF.^{36, 79} Die IOF und SOF konfluieren am Verbindungssteg von Ala major und Corpus sphenoidalis.³⁹

Die SOF ist ein Spalt zwischen Ala major und Ala minor des Os sphenoidale und stellt einen Verbindungsweg zur mittleren Schädelgrube dar. Die IOF trennt den Orbitaboden im Bereich der Midorbita von der lateralen Orbitawand. Entlang des suturalen Übergangs von medialer Orbitawand zu Orbitadach liegen die Foramina ethmoidalia anteriora (AEF) und posteriora (PEF). Das PEF hat einen Abstand von 4,3 – 9,15 mm vom Foramen opticum und dient bei der periorbitalen Dissektion („deep orbital dissection“) als Orientierungshilfe.³⁶ Der Tränenabfluss in den inneren Nasenraum geschieht über den Canalis nasolacrimalis („nasolacrimonal duct“) im Bereich des medialen Augenwinkels.^{37, 170} Der Kanal ist ca. 12-15 mm lang und durchschnittlich 4-5 mm im Durchmesser. Er drainiert nach hinten, unten, endet lateral in den Meatus nasalis inferior und wird von Anteilen der Maxilla, Teilen des Os lacrimale und dem Processus lacrimalis der Concha nasalis inferior gebildet.

Das Foramen supraorbitale ist zwischen dem mittlerem und den lateralen zwei Dritteln des Supraorbitalrandes zu suchen. 7-10 mm unterhalb des Infraorbitalrandes finden sich meist ein Foramen infraorbitale oder mehrere Foramina infraorbitalia.^{28, 36}

Da der Sulcus bzw. Canalis infraorbitalis in unseren Untersuchungen eine wichtige Rolle spielt, werden seine Lokalisation und sein Verlauf (z.B. „infraorbital groove“) an anderer Stelle ausführlicher beschrieben (S. 13).

2.1.3 Nervale Versorgung - sensorisch / motorisch

N. nasociliaris, N. frontalis und der N. lacrimalis sind die drei Hauptäste des N. ophthalmicus. Diese haben überwiegend sensible Funktion. Der N. lacrimalis erhält zudem parasympathische Anteile für die Glandula lacrimalis über den N. zygomaticus.⁸⁶ Daneben durchziehen kleinere Äste des N. frontalis (Nn. supraorbitalis et supratrochlearis) die Orbita auf dem Weg zu ihren Erfolgsorganen (Augenwinkel, Stirn, Oberlid). Der N. nasociliaris innerviert sensibel den Bulbus oculi, die Schleimhaut der Nasenscheidewand, der Keilbeinhöhle und die Nasenspitze und erhält Fasern mit dem Ganglion ciliare. Im weiteren Verlauf gibt er die N. ethmoidales anterior et posterior ab.

Das Ganglion ciliare liegt dorsal des Bulbus und lateral des N. opticus. Als parasympathisches Ganglion ist es Umschaltzentrum präganglionärer zu postganglionären Fasern (Nn. ciliares posteriores breves), die u.a. die Mm. sphincter pupillae et ciliaris innervieren. Außerdem ist es Durchgangsstation für sympathische Anteile in Form der Radix sympathica (M. dilatator pupillae), die nicht im Ganglion ciliare umgeschaltet werden.^{8, 86, 153}

Der N. infraorbitalis entspringt dem N. maxillaris des N. trigeminus (5. Hirnnerv) nach dem Ganglion trigeminale. Sensible Anteile des N. infraorbitalis innervieren nach dem Austritt aus dem Canalis infraorbitalis am Foramen infraorbitale die ipsilaterale Wange, das untere Lid, die Konjunktiva und die Oberlippe sowie die Oberkieferzähne von den Frontzähnen bis zu den Prämolaren.

Neben den sensorischen Nervenbahnen des N. opticus (II [speziell somatoafferent]), N. ophthalmicus und des N. infraorbitalis [beide allgemein somatoafferent], seien die sog. optomotorischen Nerven N. oculomotorius (I), N. trochlearis (IV), N. abducens (VI) (sie ermöglichen die Bulbusbewegung) erwähnt.^{153, 177}

2.1.4 Extraokuläre Muskeln

Der Bulbus oculi kann in neun Hauptblickrichtungen bewegt werden.¹⁶¹ Für diese Bewegungen sind vier gerade (Mm. recti superior, inferior, medialis und lateralis) und zwei schräg verlaufende äußere Augenmuskeln (Mm. obliqui superior und inferior) zuständig (**Abb. 3**).¹⁶⁴

Mit Ausnahme des M. obliquus inferior entspringen die äußeren Augenmuskeln vom oder nahe des Anulus tendineus communis, einem Sehnenring in der Tiefe des Orbitatrichters (auch Zinn-Ring oder Zinn'scher Ring genannt)²⁰⁶, der die vordere Öffnung des Optikuskanals und den mittleren, aufgeweiteten Teil der Fissura orbitalis superior einfasst und dabei das sog. Oculomotor-Foramen kompartimentiert. Die Rectus-Muskeln verlaufen vom Sehnenring ausgehend gleichsam den Seiten eines Konus, der vorne vom Bulbus oculi abgeschlossen wird. Dementsprechend setzen die geraden, ebenso auch die beiden schrägen Augenmuskeln an der Sklera nahe des Limbus bzw. temporodorsal davon an.

Der M. levator palpebrae ist ein dreieckiger Muskel, der sich von einem punktförmigen Sehnenursprung oberhalb des Optikuskanals bis in eine Aponeurose erstreckt, die im Außenblatt des Oberlids bzw. am Septum orbitale endet. Er verläuft unterhalb des Orbitadachs und liegt dem M. rectus superior direkt auf. Eine laterale Ausziehung der Aponeurose (lateral horn) unterteilt die Tränendrüse in einen orbitalen und einen palpebralen Lappen und stellt eine Verbindung zum Whitnall-Tuberkel bzw. dem lateralen Kanthusapparat her.^{36, 37, 38}

Weitere Muskeln, wie der mit dem M. rectus superior teilweise zusammenhängende M. levator palpebrae oder der M. tarsalis superior (nach Müller¹⁴⁴) sowie der M. tarsalis inferior, sind in ihrer Funktion Lidöffner. Die Mm. tarsales gehören zur glatten Muskulatur und bilden zusammen mit dem Septum orbitale den frontalen Abschluss der Orbita.

2.1.5 Bindegewebsstrukturen und Kanthus-Apparat der Orbita

Die extraokulären Muskeln werden von einem komplexen System radiärer Bindegewebssepten^{108, 109} verbunden, das die Muskeln sowohl untereinander, mit der Periorbita und der Tenonschen Kapsel verbindet (**Abb. 3 und 4**). Die Tenonsche Kapsel ist eine dichte, elastische Bindegewebsmembran um den Bulbus, die von der Verbindung Sklera-Cornea bis nach posterior zum N. opticus reicht. Sie bildet ein Gleitlager für den Bulbus.³⁶

Das Bindegewebsystem besteht aus Faszien, Ligamenten und Membranen. Sie durchsetzen den orbitalen Fettkörper^{109, 154} in einer speziellen dreidimensionalen Architektur (**Abb. 3 und 4**). Der Aufbau des Bindegewebsystems ist bilateral identisch. Im anterioren Anteil der Orbita und Teilen der Midorbita ist das Bindegewebsystem am stärksten ausgeprägt. Weniger dicht gebündelt ist es hingegen in Richtung des Orbitaapex, wo es mit dem Zinn-Ring verwachsen ist.^{36, 206}

Medial und lateral ist das Bindegewebsystem am Periost der Orbitalränder verankert.

Der Ansatz des lateralen Kanthus-Ligaments liegt 2 - 4 mm posterior des Orbitalrandes im Einzugsbereich des Whitnall Tuberculum.^{36, 85, 108} Das Whitnall-Ligament zieht superior über den Bulbus, kreuzt den M. levator palpebrae superioris und setzt medial im Bereich der Trochlea an, die für den M. obliquus sup. ein fulcrum (schlingenförmigen Angelpunkt) bildet.^{36, 140} Das sog. Lockwood-Ligament liegt inferior des Bulbus und zieht von Whitnall-Tuberculum zum medialen Kanthus (Bandapparat zur Lidauflhängung medial in der Region des Ductus nasolacrimalis³⁷) und bildet - unterstützt von der Fascia capsulopalpebralis - eine Art zusätzliche Suspension des Bulbus (in Form einer „Hängematte“) (**Abb. 3, C1**).^{36, 108}

Durch den medialen und lateralen Kanthusapparat werden die Augenlider aufgespannt und am Periost verankert. Der mediale Kanthus besteht aus zwei Anteilen: der vordere Schenkel setzt am Vorderrand des Os lacrimale an, der hintere Schenkel ist ein Ausläufer nach posterior, der an der Crista lacrimalis ansetzt.^{36, 133}

Die Gesamtheit dieses komplexen Bindegewebsystems hat erheblichen Einfluss auf die Augenmotilität. Durch dieses kann der Bulbus oculi bei Augenbewegungen in Position gehalten werden.

Bei Frakturgeschehen im orbitalen Bereich (z.B. „blow-out“ Orbitabodenfrakturen) kommt es häufig nicht durch direkte Muskeleinklemmung des M. rectus inferior zu Bewegungseinschränkungen, sondern vielmehr durch Einklemmungen des Weichgewebes, d.h. von Periorbita, Fett und den radiären Bindegewebssepten.³⁶

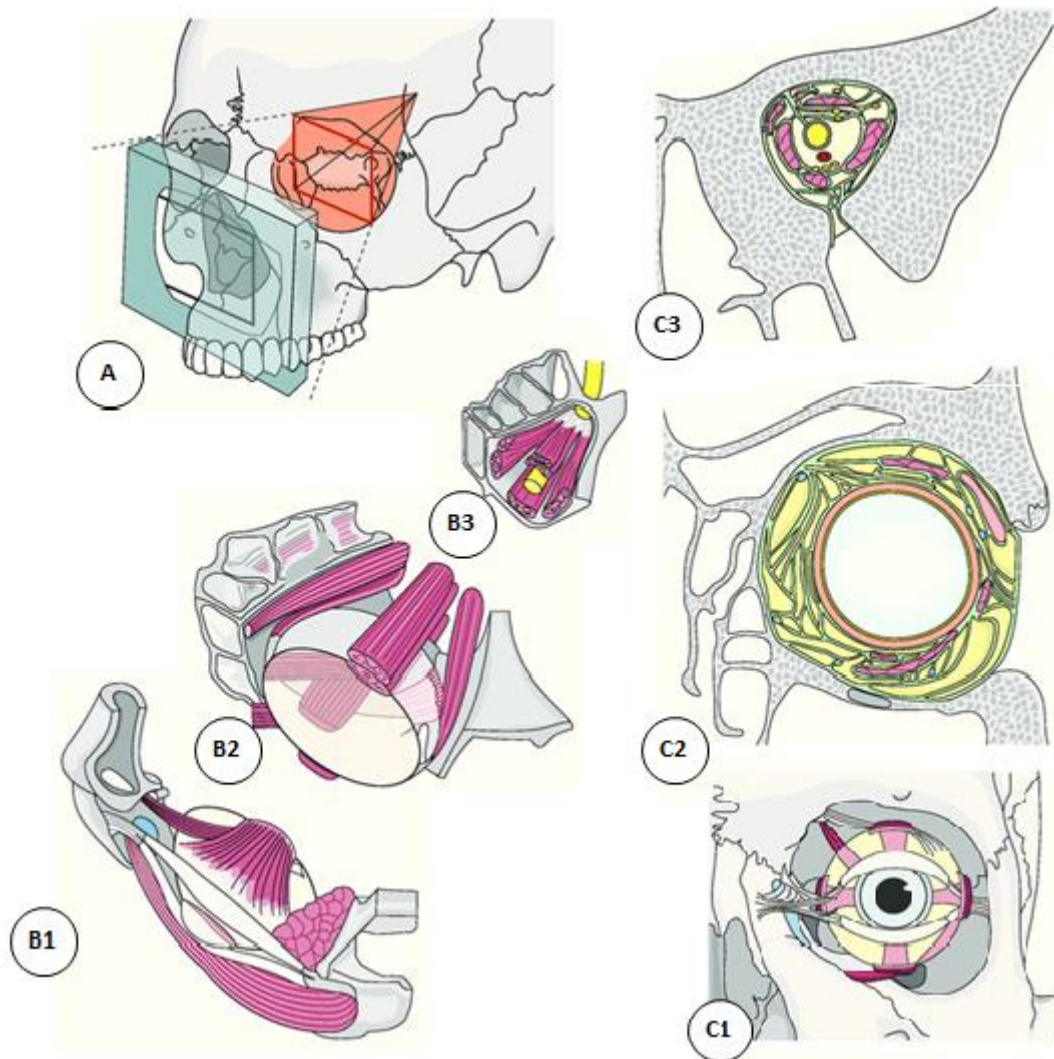


Abb. 3 A-C: Überblick Orbitainhalt – Anatomie. **3 A** Konzeption der Orbita als Pyramide mit quadratischer Basis. Die Orbitalränder bilden den äußeren Rahmen (blau), die Orbitawände die Pyramidenseiten (rot). **3 B1-3 und C1-3** Übersicht über den Orbitainhalt in 3 sagittalen Abschnitten: anterior (B1), Midorbita (B2), posterior (B3) und zugehörigen Querschnitten (C1-3). Frontalansicht der Orbita (C1) zeigt neben extraokulären Muskeln den medialen und lateralen Kanthus-Apparat sowie das Whitnall-Ligament (superior des Bulbus) und Lockwood-Ligament (inferior des Bulbus). Im Querschnitt durch die Midorbita (C2): quer angeschnittener Bulbus und quer angeschnittene Augenmuskeln, die in Fettgewebe eingebettet und von einem Netz aus feinen bindegewebigen Septen eingeschlossen sind, das sie untereinander verbindet und suspendiert. Der Apex (C3) enthält die dorthin zusammenlaufende, extraokuläre Muskulatur, bindegewebige Septen und (zentral gelegen) den N. opticus (Quelle: Jaquiéry C, Leiggner Ch, Cornelius C-P, Kunz Ch; „Aktuelle Behandlungsstrategien von knöchernen Verletzungen der Orbitae“)

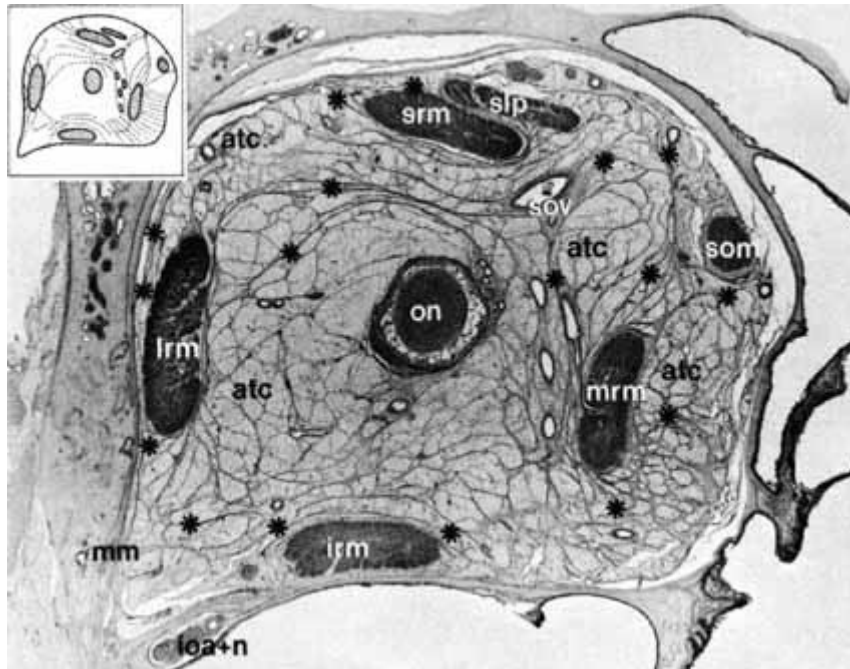


Abb. 4: Mikroskopische Partitionierung des Orbitainhalts. Muskeln und Nerven sind eingebettet in einen Fettkörper, der durch zahlreiche Bindegewebssepten unterteilt ist; auch größere Gefäße sind hier sichtbar. (3,5-fache Vergrößerung, ca. 1,4 mm hinter der Bulbusvorderseite geschnitten) Erläuterung: **ON** = optic nerve; **SOV** = superior ophthalmic vein; **SLP** = superior levator palpebrae muscle; **SRM** = superior rectus muscle; **LRM** = lateral rectus muscle; **IRM** = inferior rectus muscle; **MRM** = medial rectus muscle; **SOM** = superior oblique muscle; * = connective tissue septa; **ATC** = adipose tissue compartment; **IOA + IN** = infraorbital artery and nerve; **MM** = Müller's muscle) (Quelle: Koornneef L; "Spatial aspects of orbital musculofibrous tissue in man: A new anatomical and histological approach" ¹⁰⁹)

2.1.6 Lidapparat

Die Augenlider enthalten neben den drei- bis vierreihigen Wimpern auch verschiedene Drüsen wie ZEIS-, MOLL- und MEIBOM-Drüsen, deren Sekrete in unterschiedlicher Viskosität Anteile des Tränenfilms liefern.^{206, 192}

Um die elliptische Geometrie des sichtbaren Bulbusanteils bei Lidöffnung zu gewährleisten, ist eine ligamentäre Aufhängung der Lider medial und lateral am Periost nötig (medialer und lateraler Kanthus) (**Abb. 3**).¹⁵³ Verantwortlich für die Lidöffnung sind der M. levator palpebrae superioris, M. tarsalis superior (Müller) und der M. tarsalis inferior samt Fascia capsulopalpebralis des unteren Lides. Der Lidschluss ist Aufgabe des M. orbicularis oculi (Innervation über Äste des N. facialis VII).³⁶

2.2 CT-Morphologie der internen Orbita

Die CT-Technologie gilt heute als Goldstandard in der bildgebenden Diagnostik von Mittelgesichts- und Orbitatraumen.^{86, 176} Vorteil der im CT möglichen multiplanaren und dreidimensionalen Bildgebung gegenüber der zweidimensionalen Bildgebung ist, dass nicht nur die Existenz einer Fraktur, sondern auch deren Ausdehnung und Lokalisation relativ genau bestimmt werden kann. Anatomische Landmarken wie die Fissura orbitalis inferior können sicher identifiziert werden, weiterreichende Schäden im Bereich des Apex und des Canalis opticus können abgeklärt werden und eine Rekonstruktion der Orbita kann hinreichend geplant werden. Konventionelle Schädelröntgenbilder werden mittlerweile als obsolet angesehen.^{26, 141, 143}

Bei Frakturen der internen Orbita empfiehlt sich die Ansicht im sogenannten Knochenfenster, d.h. eine hochauflösende Darstellung der knöchernen Strukturen. Für die Beurteilung des Orbitabodens, des Orbitadachs bzw. der Schädelbasis, der Orbitalränder und z.T. auch der lateralen Orbita und der medialen Orbitawand wird die koronale Ansicht herangezogen. Die axiale Ansicht eignet sich für die Befundung der Kieferhöhlen, der Jochbögen sowie der medialen und lateralen Wand. Sagittal können Orbitaboden und Orbitadach überprüft werden.⁴⁹

Bei der CT Auswertung lassen sich - wie auch bei der klinischen Untersuchung - sichere von unsicheren Frakturzeichen unterscheiden. Zu den sicheren Anzeichen gehören Kontinuitätsunterbrechung und Stufenbildung der knöchernen Strukturen. Auch lineare Transparenzerhöhungen durch Frakturspalten bzw. Fragmente, die disloziert oder distrahiert sind, können als sichere Zeichen gewertet werden. Hingegen sind Luftansammlungen (z.B. Emphyseme) in der Orbita oder weichteilähnliche Densitäten im Sinus maxillaris, entsprechend eines Hämatosinus oder differentialdiagnostisch einer chronischen Sinusitis, nicht als sichere Zeichen einer Fraktur anzusehen.⁸⁴

Meist sind bei einer Fraktur der internen Orbita folgende radiologische Befunde anzutreffen:

- Verschattung der Kieferhöhle/Ethmoidalzellen durch Hämatosinus
- Luftermysem im orbitalen Gewebe
- Prolaps von Weichgewebe in die Kieferhöhle/Ethmoidalzellen
- Kontinuitätsunterbrechung der knöchernen Orbita durch einen Frakturspalt ggf. mit Dislokation eines Fragments

Alternativ zur computertomographischen Untersuchung der Orbita – vor allem bei Kindern und Verdacht auf Muskeleinklemmung – kann die Magnetresonanztomographie herangezogen werden.^{106, 107}

Die folgenden Unterpunkte widmen sich der Anatomie der einzelnen Orbitawände, die bei der CT-Beurteilung von Frakturen der internen Orbita in der vorliegenden Studie besondere Relevanz haben.

2.2.1 Orbitaboden

Der Orbitaboden oder die inferiore Orbitawand wird zum größten Teil von der Maxilla gebildet. Daneben gehört ein lateral und anterior gelegener kleiner Ausläufer des Os zygomaticum zum Orbitaboden.

Die Form der inferioren Orbitawand ähnelt einem Dreieck, dessen dorsal gelegene Spitze auch als „posterior ledge“ (Processus orbitalis des Os palatinum) bezeichnet wird und eine größere Knochendicke als die übrigen Bodenstrukturen aufweist (**Abb. 5**).

Da die „posterior ledge“ bei Frakturen meist erhalten bleibt, kann sie bei Rekonstruktionen als Auflage für Titangitter verwendet werden. Im dorsalen Übergangsbereich von der „inferior orbital fissure“ (IOF) zur „superior orbital fissure“ (SOF) befindet sich die „maxillary strut“. Es handelt sich um einen Knochensteg zwischen der SOF und dem Foramen rotundum. Die „maxillary strut“ entspricht folglich dem oberen Teil des Verbindungsstegs zwischen Corpus und Ala major des Os sphenoidale.^{37,38} Als „lateral promontory“ wird ein Plateau bezeichnet, das dorsomedial der Öffnung der „infraorbital groove“ bzw. des Sulcus infraorbitalis) - ebenfalls zum Os palatinum gehörig - liegt.

Weiter medial findet sich die „posterior medial bulge“, eine Konvexität des dorsomedialen Orbitabodens im Übergang zur medialen Orbitawand, die für die Projektion und Vertikalposition des Bulbus oculi (deshalb auch als „key-area“ bezeichnet) entscheidend ist.^{38,192}

Aufgrund der „posterior medial bulge“ besitzt der Orbitaboden in der Sagittalebene (paramedianer Anschnitt) eine S-Form („lazy-S-configuration“).³⁶ Ausgehend vom Infraorbitalrand senkt sich der Orbitaboden zunächst etwas, bevor er steil in Richtung auf die facies orbitalis des os palatinum ansteigt, um dann im Bereich der „posterior ledge“ wieder abzuflachen. Vom Infraorbitalrand bis zu seinem kranialsten Punkt steigt der Orbitaboden in einem Winkel von 30° an.⁵²

In der „Midorbita“ endet der Orbitaboden nach lateral in der Fissura orbitalis inferior. Nach medial grenzt er an das Os lacrimale und Os ethmoidale. Die sagittal verlaufenden Knochenstrukturen entlang der Suturen an diesen Grenzen sind verdickt und mechanisch widerstandsfähiger als die Umgebung. Sie werden daher als „inferomedial orbital strut“ (IOS), „internal orbital buttress“ (IOB) oder auch als „Transitionszone“ zwischen Orbitaboden und medialer Orbitawand bezeichnet.¹⁰¹ Nach anterior geht der Orbitaboden in den Infraorbitalrand (Margo infraorbitalis) über.

Der M. rectus inferior liegt dem Orbitaboden nahezu direkt auf und kann bei Frakturen zusammen mit dem Fettgewebkörper der Orbita und speziell den radiären Septen in die Kieferhöhle prolabieren.¹⁰⁸

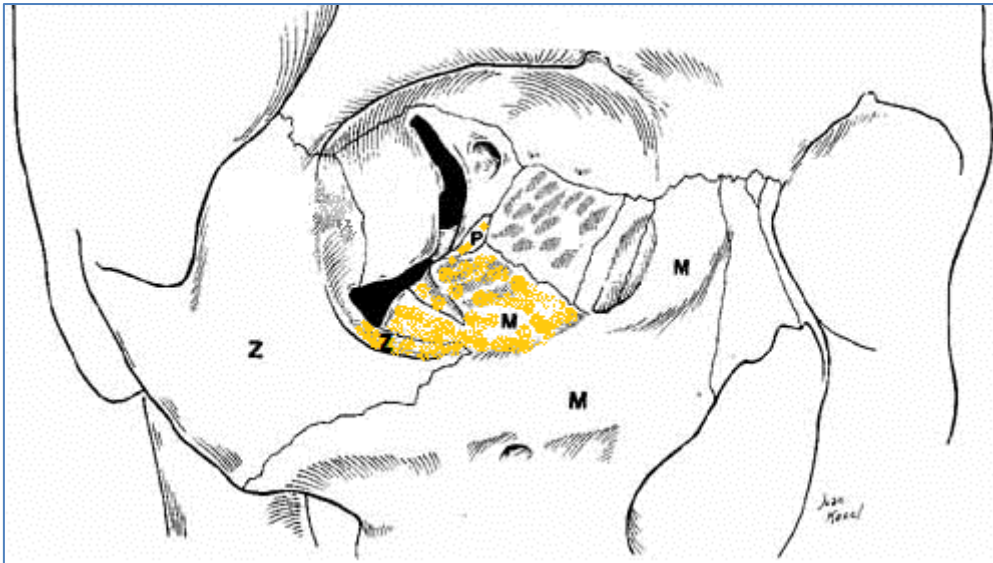


Abb. 5: Skizze Orbitaboden – Knöcherner Anatomie. Die inferiore Orbitawand bildet das Dach des Sinus maxillaris und wird von der Maxilla („maxilla [M]“), dem Os palatinum („palatine [P]“) und Anteilen des Os zygomaticum („zygomatic bones [Z]“) gebildet. (Quelle: Tasman W, Jaeger E; "Duane's Ophthalmology"; CD-ROM by Lippincott Williams & Wilkins; 2006)

2.2.2 Canalis infraorbitalis

Der Canalis infraorbitalis mit dem darin verlaufenden neurovaskulären Bündel aus N. sowie A./V. infraorbitalis ist Bestandteil des Orbitabodens. Die Streckenführung des Kanals beginnt an der Fissura orbitalis inferior mit einer nach oben offenen Knochenrinne, dem Sulcus infraorbitalis oder „infraorbital groove“. Ein eigentlicher, vollständig geschlossener Kanal ist erst ab etwa der Mitte des Orbitabodens auf dem Weg zum Foramen infraorbitale vollständig ausgebildet. Der intraossäre Verlauf des Sulcus und des Canalis infraorbitalis beschreiben einen Bogen, anfänglich nach lateral, weiter anterior zurück nach medial und unten in einer vom Orbitaboden nach kaudal protrudierenden Knochenleiste zum Foramen infraorbitale (**Abb. 6**).^{36, 62}

Die Foramina ethmoidalia posteriora et anteriora sowie die Foramina zygomatico-temporalia und zygomaticofacialia sind im Gegensatz zum Canalis infraorbitalis, der in der Regel in den koronaren CT Schichten gut zu identifizieren ist, aufgrund ihrer geringen Größe nur schwer auszumachen.

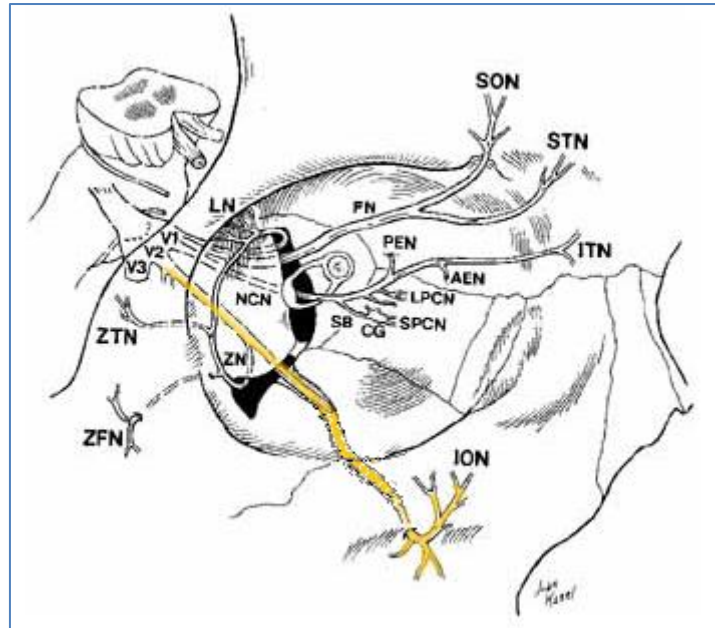


Abb. 6: Skizze Verlauf des N. infraorbitalis im Canalis infraorbitalis. Der Orbitaboden wird vom Canalis und Sulcus infraorbitalis bogenförmig von posterior nach anterior durchlaufen (orange Markierung). (Legende: **V1**, N. ophthalmicus; **V2**, N. maxillaris; **V3**, N. mandibularis; **FN**, N. frontalis; **SON**, N. supraorbitalis; **STN**, N. supratrochlearis; **LN**, N. lacrimalis; **ZTN**, N. zygomaticotemporalis; **ZFN**, N. zygomaticofacialis; **ZN**, N. zygomaticus; **NCN**, N. nasociliaris; **SB**, sensorischer Ast zum Ganglion ciliare; **CG**, Ganglion ciliare; **SPCN**, kurze Nn. posteriores ciliares; **LPCN**, lange Nn. posteriores ciliares; **PEN**, N. ethmoidalis posterior; **AEN**, N. ethmoidalis anterior; **ITN**, N. infratrochlearis; **ION**, N. infraorbitalis) (Quelle: aus Tasman W, Jaeger E; "Duane's Ophthalmology"; CD-ROM by Lippincott Williams & Wilkins; 2006)

2.2.3 Mediale Orbitawand

Die mediale Orbitawand hat Rechteckform und setzt sich im Wesentlichen aus der Lamina orbitalis bzw. Lamina papyracea des Os ethmoidale und einem kleineren vorderen Teil, dem Os lacrimale, zusammen. Die mediale Orbitawand trennt die Orbita von der Nasenhaupthöhle bzw. den Ethmoidalzellen ab.

Kaudal grenzt die mediale Orbitawand an die Sutura ethmoidomaxillaris („internal orbital buttress“, IOB), die mit ihren verdickten ossären Strukturen die Transitionszone zum Orbitaboden darstellt. Die „internal orbital buttress“ dient als sichere Referenz zur Abgrenzung von medialer Orbitawand und Orbitaboden in der CT-Befundung.^{111, 113} Die Grenze nach anterior wird vom Processus frontalis maxillae gebildet, der zusammen mit dem Os lacrimale die Fossa bzw. den Canalis nasolacrimalis („nasolacrimal canal“ - NLC mit dem Ductus nasolacrimalis „nasolacrimal duct“ - NLD) umgibt. Nach dorsal begrenzt die Sutura ethmoido-sphenoidalis die mediale Orbitawand (**Abb. 7**).

Die an der kranialen Grenze der medialen Orbitawand gelegene Sutura fronto-ethmoidalis bildet gemeinsam mit der der Sutura fronto-maxillaris und Sutura fronto-lacrimalis eine von posterior nach anterior annähernd gerade Linie als Abschluss zum Orbitadach und zur vorderen Schädelbasis.^{37, 38} Die Foramina ethmoidalia anteriora und posteriora mit den gleichnamigen Nerven und Gefäße sind entlang der Sutura fronto-ethmoidalis nacheinander aufgereiht.

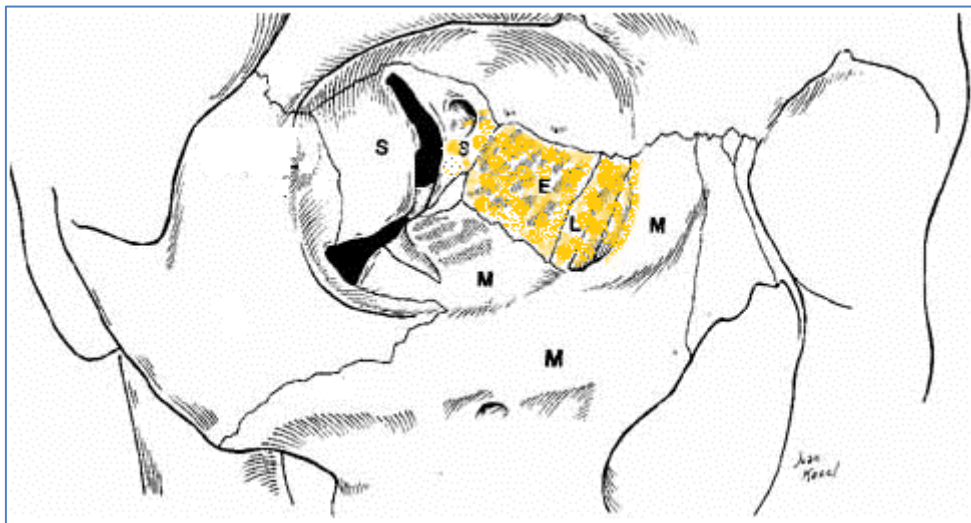


Abb. 7: Skizze Mediale Orbitawand – Knöcherner Anatomie. Bestandteile sind das Os ethmoidale (E), Os lacrimale (L) und Anteile des Os sphenoidale (S) und der Maxilla (M). (Quelle: Tasman W, Jaeger E; "Duane's Ophthalmology"; CD-ROM by Lippincott Williams & Wilkins; 2006)

2.2.4 Laterale Orbitawand

Die laterale Orbitawand ist die einzige Orbitawand, die keine pneumatisierten oder intrakraniellen Hohlräume abgrenzt.^{153, 205} Sie besteht aus dem Os zygomaticum (Jochbein) und dem Ala major ossis sphenoidalis (großer Keilbeinflügel). Das Jochbein entspricht der Knochenkontur des lateralen Mittelgesichts und verfügt über fünf Fortsätze als Verbindungselemente (unter Zwischenschaltung von Suturen) zur Umgebung: dem Processus frontalis nach kranial mit dem Stirnbein (Sutura fronto-zygomatice), der Facies orbitalis nach posterior zum großen Keilbeinflügel (Sutura zygomatico-sphenoidalis), nach medial mit dem Unterrand der Augenhöhle und zur Vorderwand der Kieferhöhle (Sutura zygomatico-maxillaris) und den Processus zygomaticus nach lateral zum Jochbogenanteil des Schläfenbeins (Sutura zygomatico-temporalis) (**Abb. 8**).

Der große Keilbeinflügel wird durch die Fissura orbitalis inferior vom Orbitaboden und durch die Fissura orbitalis superior vom Orbitatrichter separiert.

Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf die Repositionierung von Jochbein-Frakturen ist die bereits genannte Sutura zygomatico-sphenoidalis (SZS), die im dünnsten Bereich der lateralen Orbitawand den Übergang zum Ala major des Os sphenoidale bildet.^{77, 85, 181}

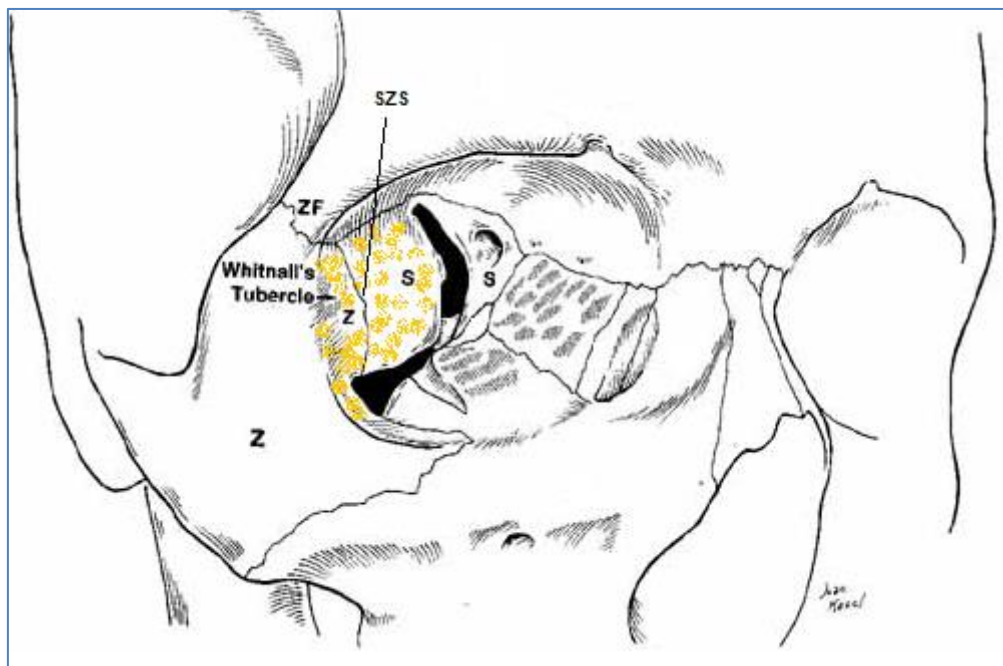


Abb. 8: Skizze Laterale Orbitawand – Knöcherner Anatomie. Bestandteile sind das Os zygomaticum (Z), Os sphenoidale (S). Außerdem gekennzeichnet: Whitnall-Tuberculum, Sutura fronto-zygomatice (ZF), Sutura zygomatico-sphenoidalis (SZS). (Quelle: Tasman W, Jaeger E; "Duane's Ophthalmology"; CD-ROM by Lippincott Williams & Wilkins; 2006)

2.2.5 Orbitadach

Das Orbitadach (superiore Orbitawand) ist überwiegend integraler Bestandteil des Os frontale. Im Orbitatrichter entspricht das Dach dem Ala minor ossis sphenoidalis. Im anterioren Bereich bildet das Orbitadach die Barriere zum unterschiedlich stark pneumatisierten Sinus frontalis, und posterior davon zur vorderen Schädelhöhle.

Das Orbitadach hat folgende Grenzlinien (**Abb. 9**): zur medialen Orbitawand die Suturae fronto-maxillaris, fronto-lacrimalis, fronto-ethmoidalis und fronto-sphenoidalis, nach lateral die Sutura fronto-zygomata und ebenfalls die Sutura fronto-sphenoidalis. Im Apexbereich setzt sich das Orbitadach auf den kleinen Keilbeinflügel fort und damit bis an den Canalis opticus und den oberen Bogen der Fissura orbitalis superior.^{36, 37, 38, 153} Anders als bei der medialen und inferioren Orbitawand ist der knöcherne Rahmen des Orbitadachs massiver, der zentrale Teil aber oftmals ebenso papierdünn.¹²⁵



Abb. 9: Skizze Orbitadach – Knöcherne Anatomie. Os frontale (F), Os sphenoidale (S) (Quelle: Tasman W, Jaeger E; "Duane's Ophthalmology"; CD-ROM by Lippincott Williams & Wilkins; 2006)

2.3 Frakturen der internen Orbita

2.3.1 Klinische Aspekte und Diagnostik bei Frakturen der internen Orbita

Klinische Anzeichen, die auf eine Fraktur der internen Orbita hinweisen, sind nach Milauskas (1969)^{143, 172}

bei Inspektion:

- Enophthalmus⁵⁵
- Hypoglobus (Bulbustiefstand)¹³⁴
- Exophthalmus/Proptosis
- Einschränkung der Bulbusmotilität / Diplopie (Doppelbilder)
- Ophthalmoplegie
- Periorbitale Ekchymose (kleinflächige, fleckenförmige Blutung der Haut)
- Monokel -/ Brillenhämatom
- Periorbitale Schwellung/ Ödem
- Periorbitales Emphysem, Pneumoexophthalmus
- Mediales Hyposphagma
- Hyphaema, Linsenluxation, Sklera-/Korneaperforationen, Bulbusruptur, offene Bulbusverletzungen
- Anisokorie (Seitendifferenz des Pupillendurchmessers)
- Ptosis
- Sichtbare Deformation der knöchernen Orbita
- Epistaxis (Nasenbluten) ipsilateral

bei Palpation:

- Sensorisches Defizit im Innervationsgebiet des N. infraorbitalis, der Nn. zygomaticotemporalis und zygomaticofacialis sowie des N. supraorbitalis
- Stufenbildung bei Fraktur des Infraorbitalrandes, des Stirnbeinpfeflers oder des nasofrontalen Überganges.

Der Inspektionsbefund zeigt meist eine ödematöse Schwellung und Rötung/Ekchymose im Lidbereich des betroffenen Auges, häufig mit Übergang in ein Monokelhämatom einige Tage später. Des Weiteren kann ein Exophthalmus (Proptosis) vorliegen oder sich - nach Rückgang der Schwellung infolge von Herniation des Orbitainhalts ins Nasenebenhöhlensystem, Verlust oder Verlagerung ligamentärer Aufhängungsstrukturen, Kontrakturen des bindegewebigen Septensystems und Fettgewebsatrophie - ein Enophthalmus entwickeln.^{128,}

¹⁸³ Ploder et al.¹⁶¹ konnten zeigen, dass die Größe der Frakturflächen im Orbitaboden und der Herniationsvolumina mit dem Ausmaß des Enophthalmus korrelieren. Der gleiche

Zusammenhang wurde für Frakturen der medialen Orbitawand gefunden.⁹⁶ Ein Enophthalmus von 2 mm und mehr ist zu erwarten, wenn die Frakturfläche in der medialen Orbitawand 1,9 cm² überschreitet oder das Herniationsvolumen größer als 0,9 ml ist.⁹⁶

In Milauskas Untersuchungen an einem Kollektiv (1969) von n=26 Patienten mit Orbitabodenfrakturen waren in n=20 Fällen Doppelbilder nachweisbar. Bei n=13 dieser Patienten zeigten sich Schwellung und Ekchymose und bei n=9 war Nasenbluten festzustellen. Restriktionen der Bulbus Aufwärtsbewegungen (n=12 Patienten) wurden im Vergleich zu Bewegungen des Bulbus nach unten (n=7 Patienten) häufiger diagnostiziert. Daraus wurde gefolgert, dass Einklemmungen des M. rectus inferior vornehmlich Auswirkungen auf die passive Bulbus Beweglichkeit haben. Horizontale Motilitätseinschränkungen konnten nur in einem Fall ermittelt werden. Sie stellen offenbar ein seltenes Symptom der Orbitabodenfrakturen dar und wurden eher dem klinischen Bild von Frakturen der medialen Orbitawand zugeordnet.¹⁴³

Aus Läsionen des N. infraorbitalis etwa durch Kompression, Überdehnung oder Ruptur während des Traumas, resultieren naturgemäß sensorische Defizite anfänglich ohne Pluszeichen (Reizerscheinungen, Schmerz).⁶⁰ Fogaca et al.⁶⁰ identifizierten nach Jochbeinfrakturen mit Orbitabodenbeteiligung zusätzlich zu Sensibilitätsstörungen im Innervationsgebiet des N. infraorbitalis regelmäßig auch sensorische Defizite im Bereich des N. zygomaticotemporalis, und paranasal. Neben den Orbitabodenfrakturen mit Involvierung des Infraorbitalkanals können auch Frakturen und Stufenbildungen nach Fragmentierung des Infraorbitalrandes und der fazialen Kieferhöhlenwand mit Frakturlinienverlauf durch das Foramen den Grund für Ausfallserscheinungen des Nerven darstellen.

Okuläre Traumen sind eine typische Begleiterscheinung bei Orbitafrakturen^{8, 142}, so dass ophthalmologische Untersuchungen und Mitbehandlung unabdingbar sind. Dabei soll auf spezielle Schädigungsmuster des Auges und seiner Adnexe, angefangen beim Hyposphagma⁸⁶ bis hin zu traumatischen Katarakten, Sekundärglaukomen, Glaskörperhämorrhagien und Linsendislokationen, Aderhaut- oder Bulbusrissen und Hyphaemae^{8, 105} sowie Tränengangsverletzungen, geprüft und ggf. therapiert werden.¹⁴³ Amaurosen¹²³ nach Optikusläsionen (sogenannte „TONL“ = traumatic optic nerve lesion) kommen im Zusammenhang mit massiven Mittelgesichtstraumen immer wieder vor, leider aber auch als Komplikation eines operativen Eingriffes im Bereich der Orbita oder der Schädelbasis.^{68, 69, 175, 204}

Das „Fissura-orbitalis-superior“-Syndrom (FOSS) kann nach (dislozierten) Frakturen im Orbita-Apex auftreten. Das klinische Symptommuster ist abhängig von den Verletzungen der dort eintretenden Hirnnerven (III, IV, V und VI) und kann bestehen aus einer Ptosis des Oberlids, Proptosis, Ophthalmoplegie, multidirektionaler Einschränkung der Bulbusmotilität, sensorischem Defizit im Innervationsgebiet des N. ophthalmicus und amaurotischer Pupillenstarre.¹⁴⁰

2.3.2 Zur Behandlung von Frakturen der internen Orbita

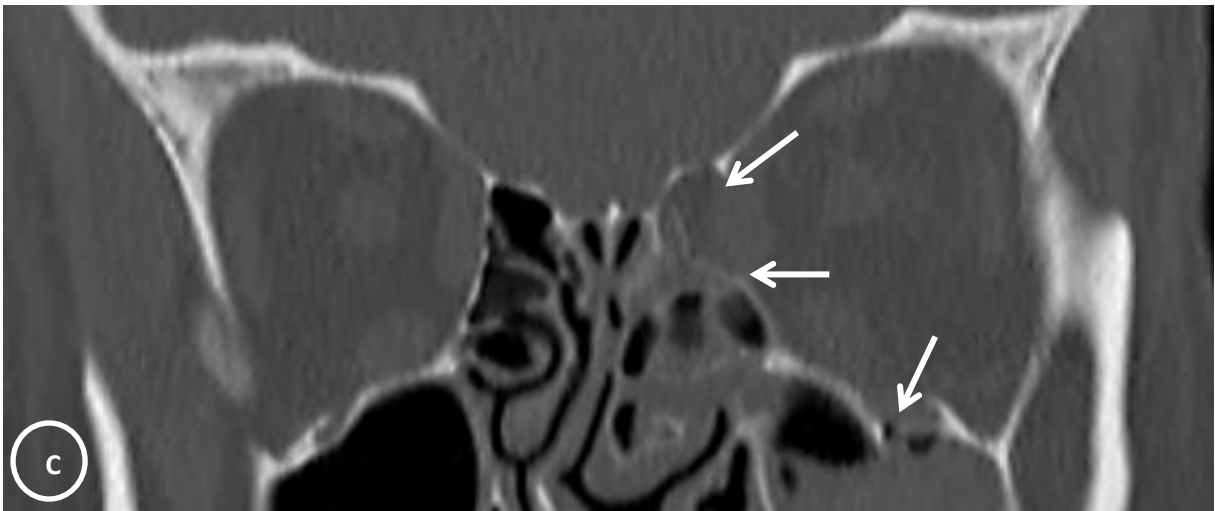
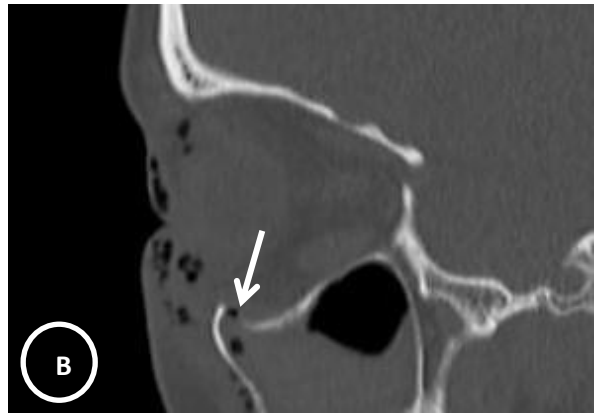
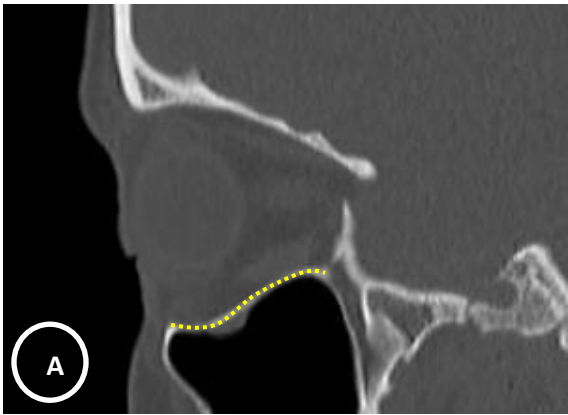
2.3.2.1 Therapieziel

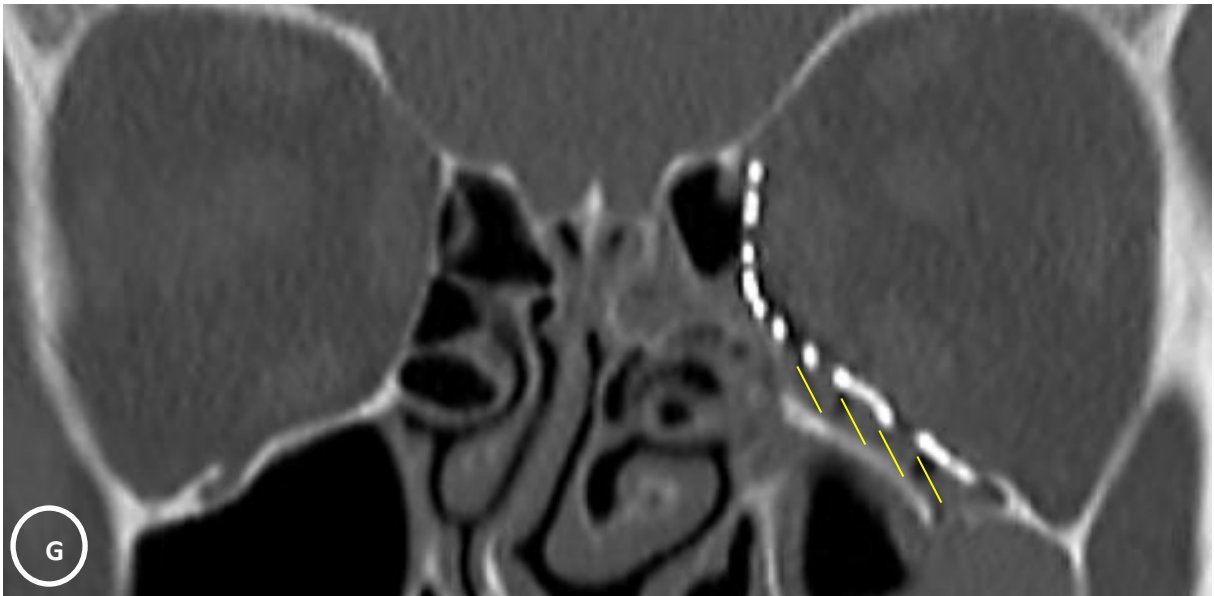
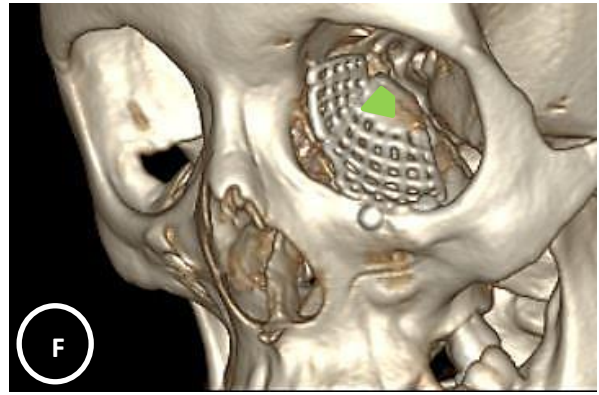
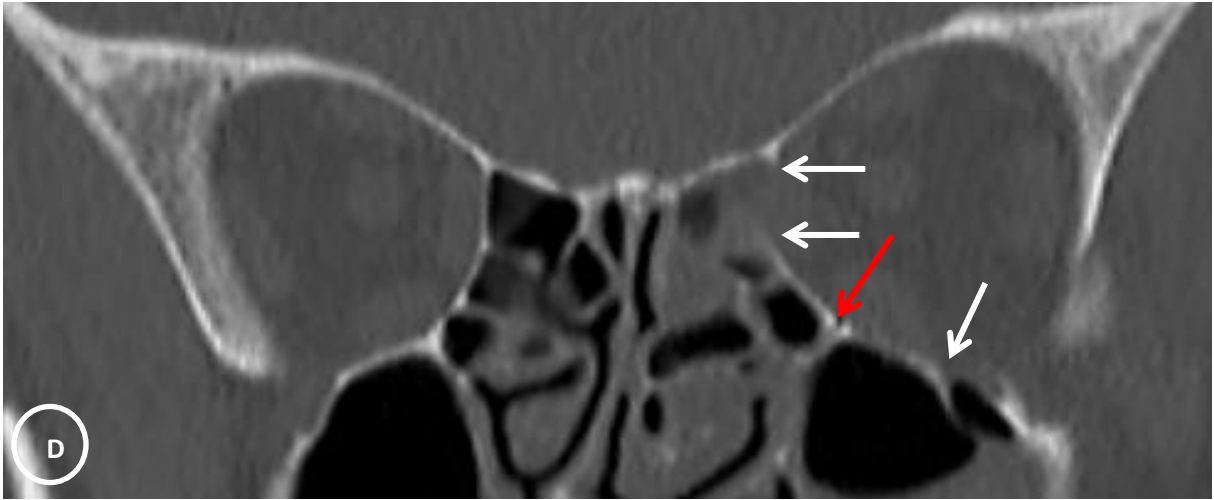
Ziel der operativen Therapie isolierter oder kombinierter Frakturen der internen Orbita ist es, das Volumen der Augenhöhle und zusammen damit das Oberflächenrelief der Orbitawände möglichst originalgetreu wiederherzustellen. Durch eine exakte anatomische Rekonstruktion (Fallbeispiel **Abb. 10 A-H**), soll neben der funktionellen Restitution auch das äußere ästhetische Erscheinungsbild wiederhergestellt werden^{9, 36, 138, 147, 173, 192} (Leitlinie DGMKG „Rekonstruktion von Orbitadefekten“²¹⁴). Bei der Frakturbehandlung können die sehr dünnen und oftmals kleinen Knochenfragmente, insbesondere der infero-medialen Orbitawände und des Orbitadachs nicht einfach wieder zusammengefügt werden, sondern es muss ein Ersatzmaterial zur Rekonstruktion der betroffenen Orbitawände eingebracht werden. Heute sind dazu in der Hauptsache spezielle Titanmeshes oder -platten im Gebrauch, die zur minimal invasiven Anwendung möglichst klein⁵² und anatomisch korrekt geformt sein sollten.

Wie oben bereits beschrieben, hat die „posterior medial bulge“ für die korrekte vertikale und horizontale Bulbusposition entscheidende Bedeutung weshalb dafür auch die Bezeichnung „critical bulge area“ vorgeschlagen wurde.¹⁶⁴ Ungenau platzierte und unzureichend konturierte Rekonstruktionsmaterialien können zu Fehlstellungen des Bulbus mit den klinischen Folgen Diplopie, Enophthalmus, Hypoglobus aber auch Exophthalmus führen.⁵²

Zur Abstützung eines Titanmeshes oder einer Orbitaplatte im hinteren Teil des Orbitabodens wird - wo immer möglich - die „posterior ledge“, d.h. die Facies orbitalis des Os palatinum oder ein stabiler Fragmentanteil davon verwendet (**Abb. 10**).

Unter Beachtung dieser Auflage, der anatomischen Landmarken „posterior medial bulge“ und „internal orbital buttress“ sowie einer korrekten Oberflächengestaltung bei der Rekonstruktion der inferomedialen Orbitawände ergibt sich nahezu automatisch eine anatoforme „lazy-S“-Konfiguration in Sagittalrichtung des paramedianen Orbitabodenbereichs^{137, 173} mit entsprechender funktioneller Bulbusreposition.^{9, 36, 147, 192}





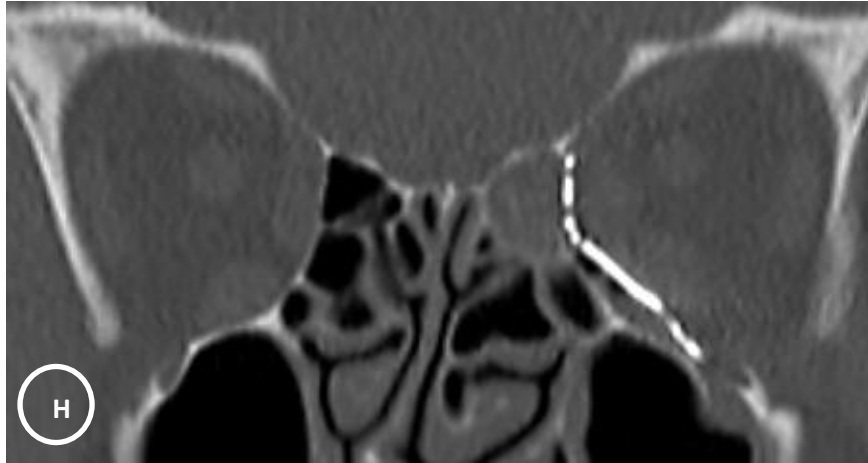


Abb. 10 A-H: CT – Sequenzen nach einer Fraktur der infero-medialen Orbitawände links – prä – (A-D) und postoperativ (E-H) in Multiplanar- und 3D- Darstellung. (AO CMF Trauma-Code: Midface92 m.Omi O (left)W1(im)2(im)). **10 A** Intakte Orbita kontralateral rechts in der Sagittalebene (paramedian) mit typischer lazy-S-Kontur des Orbitabodens (gelb gestrichelte Linie). **10 B** Defekt (Pfeil) im anterioren Orbitaboden links (Sagittalebene paramedian) nach lamelläarer Fraktur mit Dislokation um eine dorsale Transversalachse. **10 C** Fragmentierung und Defektbildung in Orbitaboden und medialer Orbitawand (Koronarebenen) auf dem Niveau der anterioren Orbita [nach AO-Klassifikation: W1im]) und **10 D** der Midorbita [nach AO-Klassifikation: W2im]) - Die internal orbital buttress ist im Zusammenhang mit dem Hauptfragment nach mediokaudal disloziert (roter Pfeil). **10 E, 10 F** Situation nach Rekonstruktion mit einem präformierten Titanmesh - Matrix MIDFACE™ Preformed Orbital Plate (DePuy Synthes®, West Chester, PA, USA) (Sagittalebene und 3D Ansicht) - Mesh mit lazy-S-Kontur korrelierend zur intakten Kontralateralseite (in 10F grüne Markierung = „posterior medial bulge“). **10 G, 10 H:** Koronarebenen im Bereich der anterioren Orbita (**G**) und der Midorbita (**H**). Gelb schraffierter Bereich (**G**) weist auf den Volumenunterschied zwischen Defektsituation und Zustand nach Rekonstruktion hin. Durch Rekonstruktion mit einem präformierten Titanmesh kann das prätraumatische Volumen der Orbita wiederhergestellt werden. (Quelle: Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie der LMU München; siehe Abb.-Verzeichnis)

2.3.2.2 Indikationsstellung zur Rekonstruktion des Orbitabodens und der medialen Orbitawand

Da die anfängliche klinische Symptomatik von Frakturen der infero-medialen Orbitawände stark variieren kann und daher oftmals kein zuverlässiger Wegweiser zur operativen Exploration mit anschließender Rekonstruktion ist, beruht die Entscheidungsfindung ganz wesentlich auf CT Aufnahmen.²⁰³

Die Mindestgröße des knöchernen Defekts, ab der eine operative Behandlung nötig wird, ist nicht einheitlich definiert: für den Orbitaboden werden Flächenmaße von $> 1 \text{ cm}^2$ bzw. $> 2 \text{ cm}^2$ bis hin zu $> 50 \%$ des Orbitabodens angegeben. Zudem wird Bezug auf die Fragmentierung und Dislokationen genommen.^{96, 122, 150, 152}

Patienten mit Frakturflächen von unter 1 cm^2 haben oft keine relevante klinische Symptomatik und begeben sich vermutlich nur selten in klinische Behandlung. Bei linearen Frakturverläufen ohne Dislokation und funktionelle Einschränkungen besteht keine OP-Notwendigkeit^{82, 214} im Gegensatz zu anfänglich symptomlosen lamellären Frakturen oder Defektfrakturen, bei denen erst später mit Funktionsstörungen zu rechnen ist. Fragmente, die Bulbusmotilitätsstörungen verursachen („Blow-in“-Frakturen), müssen entfernt werden.¹⁶¹

Das Volumen von Herniationen in die angrenzenden Nasennebenhöhlen ist für die Entwicklung eines Enophthalmus^{96, 158} und konsekutiven Diplopien verantwortlich und somit ein weiterer wichtiger Indikator für eine chirurgische Intervention.

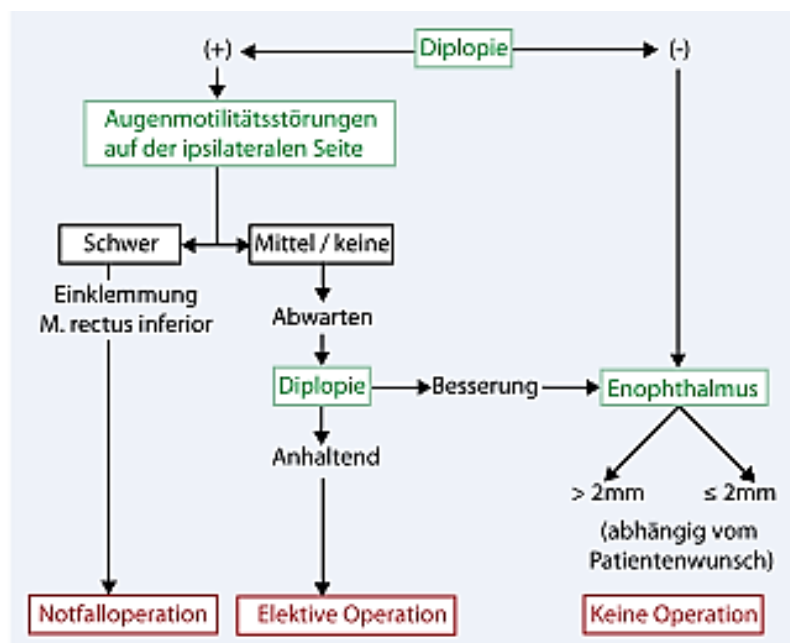


Abb. 11: Entscheidungsbaum zum operativen Vorgehen bei Orbitawandfrakturen.^{137, 200} (Quelle: Metzger M C, Lagrèze W A, Schön R; „Funktionserhaltende Rekonstruktion nach Orbitatrauma“)

Absolute Indikationen zum notfallmässigen chirurgischen Eingreifen sind akute hochgradige Augenmotilitätsstörungen mit dringendem Verdacht auf eine Muskeleinklemmung (z.B. trapdoor-fractures)^{97,155}; die Diagnosesicherung ergibt sich aus der Behinderung der passiven Beweglichkeit im Traktionstest („forced duction test“) (**Abb. 11**).^{52, 150, 176, 183}

Relative Indikationen zur Operation stellen sich bei längerfristiger Persistenz von Diplopien ohne Besserungstendenz. Ein einige Wochen nach Trauma einsetzender diskreter Enophthalmus (< 2mm) weist auf eine Malposition des Bulbus oculi hin und ist eine diskutabile OP-Indikation. Zusammen mit Doppelbildern und Hypoglobus ist eine OP notwendig (**Abb. 11**).^{52, 128} Andernfalls sind Pro und Contra abhängig vom Patientenwunsch und der subjektiven ästhetischen Beeinträchtigung des Patienten.

2.3.2.3 Operative Zugangswege zu Orbitaboden und medialer Orbitawand

Bewährte operative Zugänge zum Orbitaboden erfolgen über transfaziale oder transkonjunktivale Inzisionen. Die Auswahl wird nach einer ganzen Reihe von Gesichtspunkten individualisiert – Bulbus-Prominenz, „Scleral Show“, Alter, horizontale Liderschlaffung, vertikaler Descensus der Lidhaut, Erschlaffung der Lidbänder, Erhalt der Aufhängungsstrukturen, Notwendigkeit zur Darstellung des Infraorbitalrandes und des Foramen infraorbitale sowie zur subperiostalen Präparation der Wange, Erweiterbarkeit der Inzision, Größe bzw. Inserierbarkeit des Rekonstruktionsmaterials, Präferenzen des Operateurs u.v.m.

Optionale transfaziale Inzisionen und Zugangswege sind im Unterlidbereich lokalisiert (**Abb. 12**). Im Einzelnen sind dies:

- Subziliare Inzision (A)
- Unterlid-Mitten Schnitt (mideyelid-approach) bzw. subtarsale Inzision) (B)
- Infraorbitale Inzision (C)

Der Zugang über eine infraorbitale Inzision wird heutzutage nur noch im Ausnahmefall angewandt, da ihm angelastet wird, grundsätzlich ästhetische Nachteile mit sich zu bringen.^{85, 184, 185}

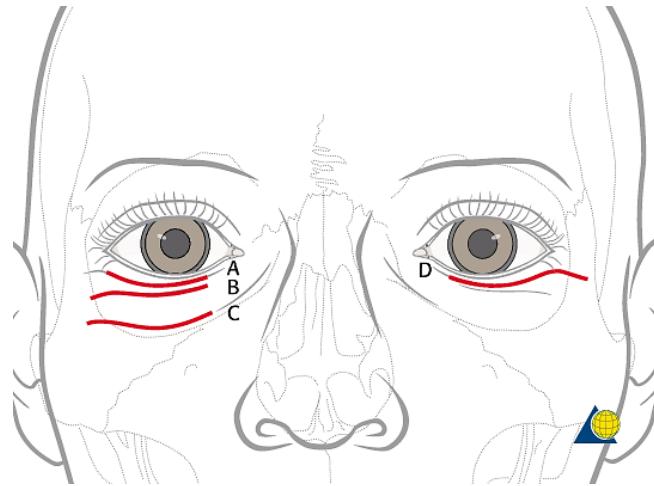


Abb. 12: Zugänge zum Orbitaboden im Überblick: A = subziliar ; B = subtarsal ; C = infraorbital; D = subziliarer Zugang mit lateraler Extension. (Quelle: AO Foundation; „Midface, Orbital floor fracture - Orbital reconstruction“)

Transkonjunktivale Inzisionen in Fornixnähe können über eine präseptale oder retroseptale Route zum Infraorbitalrand bzw. Orbitaboden fortgesetzt werden. Auf der präseptalen Route folgt die Präparation nach subtarsaler Durchtrennung des Septum orbitale auf dessen Vorderseite bzw. „suborbikulär“ auf der Rückseite des M. orbicularis oculi. Auf der retroseptalen Route werden im Anschluss an die Schleimhautinzision die Unterlidretraktoren durchtrennt und innerhalb des Orbitafettgewebes bis auf die Innenseite der Periorbita-Bedeckung auf dem Orbitaboden vorgegangen. Zur Exposition der knöchernen Strukturen wird die Periorbita dann durchgeschnitten.

Die unteren transkonjunktivalen Zugänge in Fornixnähe können durch eine laterale Kanthotomie extendiert werden (**Abb. 13**). Die anatomischen Verhältnisse bei präseptaler Präparation sind dann einfacher und übersichtlicher.²⁰⁹

Ein direkter Zugang zur medialen Orbitawand kann im medialen Lidwinkel nach einer trans- oder retrokarunkulären Inzision (medial transkonjunktival) hergestellt werden. Die stumpfe Präparation bis zur Knochenwandung hinter der Crista lacrymalis posterior entlang des sog. „Horner-Muskels“ gewährleistet die Schonung der Integrität der Tränenabflusswege und des medialen Kanthusapparates.²⁰⁹

Die Kombination eines medialen und unteren transkonjunktivalen Zugangs mit einer lateralen Kanthotomie erlaubt die maximal mögliche Exposition der Knochenränder und Wände in der unteren Orbita-Zirkumferenz und bietet eine Alternative zum Bügelschnitt, sofern das Orbitadach, die Supraorbitalregion, die Stirn bzw. die Sinus frontales und die NOE-Region nicht in das Frakturmuster einbezogen sind.^{85, 209}

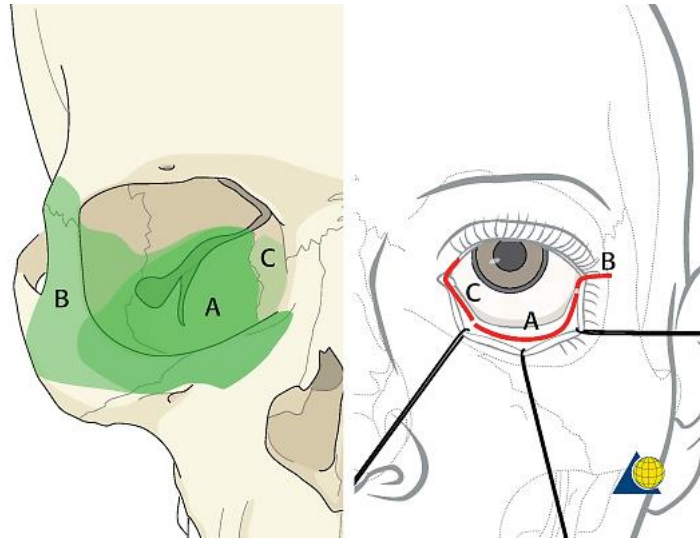


Abb. 13: Chirurgische Zugänge (rechts) und hierüber erreichbare topographische Regionen der internen Orbita (links). A: Zugang zum Orbitaboden (prä- oder retroseptal); B: laterale Kanthotomie für Zugang zu lateraler Orbitawand und Orbitapfeiler; C: trans- bzw. retrokarunkulärer/medialer transkonjunktivaler Zugang zur medialen Orbitawand. (Quelle: AO Foundation; „Midface, Orbital floor fracture - Orbital reconstruction“)

2.3.2.4 Materialien zur Orbitawandrekonstruktion

Zur Rekonstruktion der Orbitawände stehen verschiedene Werkstoffe zur Verfügung.¹⁶⁵ Diese können prinzipiell unterschieden werden in⁵¹:

- Autogen / allogen / xenogen / alloplastisch
- Resorbierbar / nicht resorbierbar
- Vorgeformt / nicht vorgeformt
- Porös / nicht porös
- Beschichtet / nicht beschichtet
- Thermoplastisch / nicht thermoplastisch

In den menschlichen Organismus eingebrachte Materialien müssen grundlegende Eigenschaften erfüllen^{9, 51, 52}: Um eine Zulassung nach dem Medizinproduktegesetz zu erhalten, darf das Material nicht allergen, nicht teratogen, nicht kanzerogen, nicht toxisch und nicht mutagen wirken (Biokompatibilität). Die Sterilisierbarkeit des Rekonstruktionsmaterials ist obligat, Radioopazität für postoperative computertomographische Kontrollen der korrekten Lage ist angebracht.

Für kleine Defekte mit zirkulärer Auflage eignen sich Folien (z.B. PDS) und Membranen^{11,30,91} für größere Defekte werden Knochentransplantate sowie während der letzten 15 Jahre

bevorzugt Titanmeshes verwendet. In der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der LMU München kommen derzeit überwiegend Titangitter (Titanmeshes) und spezielle Titanplatten als Orbitaimplantate zum Einsatz.

Die Anwendung von Titangitterplatten zur Rekonstruktion der Orbitawände geht auf Sugar et al. zurück und stammt aus dem Jahr 1992.¹⁸⁶

Titanmeshes sind einfach zu formen und zu fixieren, besitzen je nach Dicke eine gute bis sehr gute Härte und sind daher in vivo formstabil. Die Gitterstruktur erlaubt eine den Originalkonturen entsprechende Wiederherstellung der orbitalen Wände, einschließlich besonderer Oberflächenmerkmale („posterior medial bulge“) und damit des Orbitavolumens.⁹

Mit der technischen Weiterentwicklung hat sich die Einteilung und Nomenklatur für die verschiedenen Mesh- bzw. Plattenvarianten immer wieder geändert.

Zurzeit sind zwei Haupt-Kategorien mit mehreren Untergruppen zur Bezeichnung der Implantatvarianten in Gebrauch (**Abb. 14**):²⁰³

- Nicht-CAD basierte (non-CAD-based) Meshes / Platten^{64, 137, 139}:

Nicht vorgeformte („non-preformed“) 2D-Mesh-Platten zur freihändigen Größenanpassung und Konturierung während der Operation (Individualisierung)^{138, 139, 147},

Nicht vorgeformte („non-preformed“) 2D-Mesh-Platten zur intraoperativen Größenanpassung und Konturierung (Individualisierung) an einem sterilisierbaren auf statistischer Formanalyse beruhenden physischen Orbitamodell,

Standardisierte präformierte („preoperatively preformed“) Platten (anatoform, nach statistischer Formanalyse an CTs z.Zt. in zwei Ausgangsgrößen und für rechts / links erhältlich, Größe zur Individualisierung reduzierbar, Konturierung möglich).

- CAD basierte Meshes / Platten^{12, 103}:

An Biomodellen (Stereolithographie¹⁰³, 3D-Printing nach Spiegelung der intakten Kontralateralseite oder nach Maßgabe eines matched pair models aus einer Library) individualisierte (freihändige Anpassung!) Mesh-Platten,

Patienten-spezifische, individualisierte (PSI) Orbitaplaten – „True CAD Based Orbital Plates“ nach virtueller Planung und industrieller Anfertigung.

Hinter den „preformed plates“ und den „CAD-based plates“ stecken mehrere Absichten: die Verkürzung der OP-Zeit, die Erhöhung der Genauigkeit der Rekonstruktion und das Streben nach technischer Perfektion bei reduzierten Ansprüchen an konzeptionelle und manuelle Fähigkeiten des Operateurs.

Vor allem zur Rekonstruktion bei größeren Defekten eignen sich präformierte oder mit Hilfe von CAD/CAM individualisierte Titanmeshes.^{64, 67, 137} Die intraoperative Navigation aufgrund der Bildgebung ermöglicht direkte Kontrollen der richtigen Platzierung und Konturierung röntgenopaker Rekonstruktionsmaterialien.^{12, 131, 132, 173}

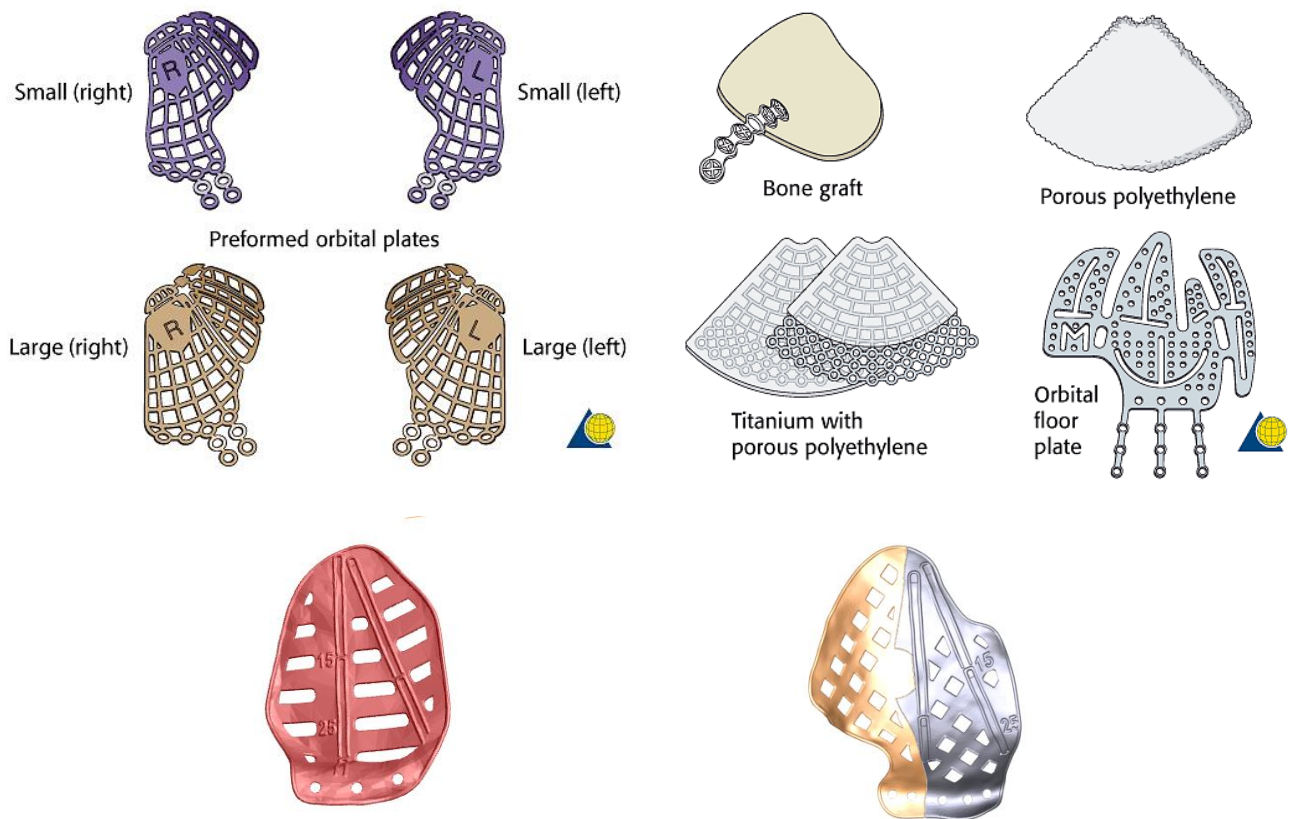


Abb. 14: Auswahl von Materialien zur Orbitawandrekonstruktion. *Links oben*²⁰⁹: Präformierte Titangitter (Matrix MIDFACE™ Preformed Orbital Plate (DePuy Synthes®, West Chester, PA, USA)). *Rechts oben*²⁰⁹: Knochentransplantat (Calvaria externa) mit Miniplatte, Porous Polyethylene Sheath, 2D Titangitter mit Porous Polyethylene Coating, 2 D Titangitter mit 3 Flanges zur Rekonstruktion der medialen Orbitawand (M), des Orbitaboden und zur Abdeckung der Fissura orbitalis inferior. *Links unten*: CAD/CAM generierte patientenspezifische Orbitaplatte für den Orbitaboden. *Rechts unten*: zweigeteilte CAD/CAM generierte, patientenspezifische Orbitaplatte für Orbitaboden und mediale Orbitawand. (Quelle: AO Foundation; „Midface, Orbital floor fracture - Orbital reconstruction“ und Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der LMU München)

2.3.2.5 Intraoperatives Vorgehen

2.3.2.5.1 Periorbitale Dissektion zur Darstellung von Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand

Nachdem ein adäquater operativer Zugang angelegt ist, kann mit der periorbitalen Dissektion des Orbitabodens begonnen werden. Liegt ein Weichgewebspanthelax in Richtung Kieferhöhle vor, so kann dieser von orbital und ggf. unterstützend transantral reponiert werden. Zum Anheben der intraorbitalen Weichgewebe gibt es spezielle Retraktoren bzw. Spatel, die der Anatomie des Orbitabodens angepasst sind. (**Abb. 15**). Zusätzlich können PDS-Folien unterlegt werden²⁰⁹, um Fettgewebsherniationen über die Spatelränder zu verhindern und die Präparationskavität offenzuhalten.²⁰⁹ Freie Knochensplitter werden entfernt und der involvierte N. infraorbitalis dekomprimiert.^{69, 86, 175, 204}

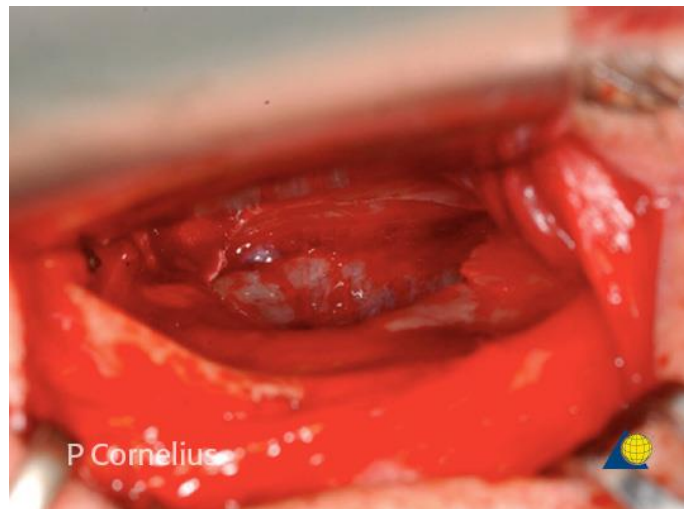


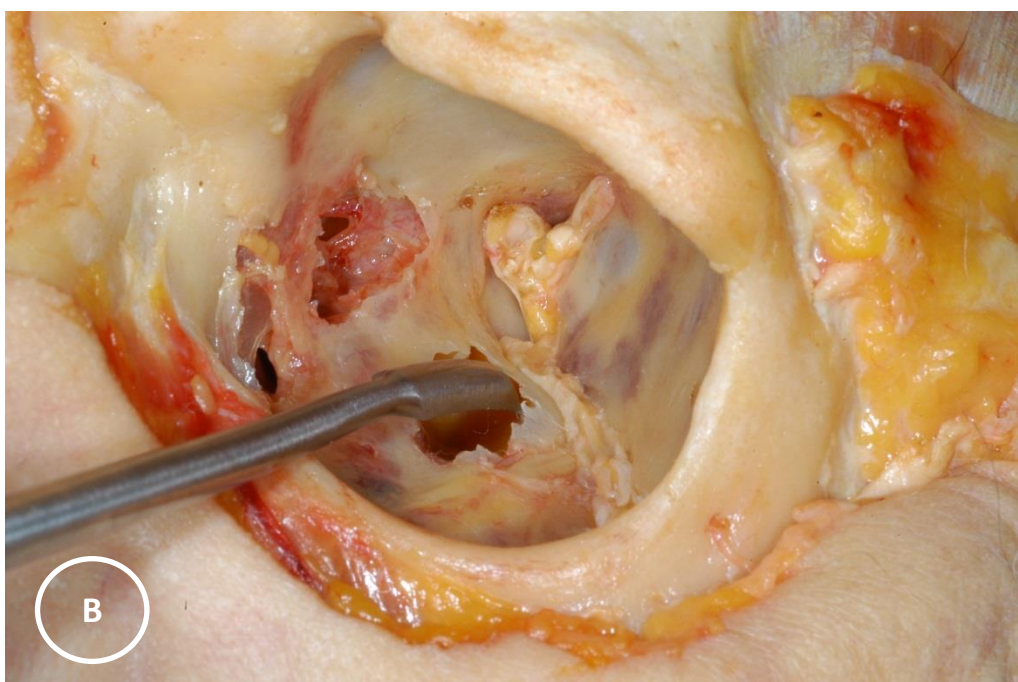
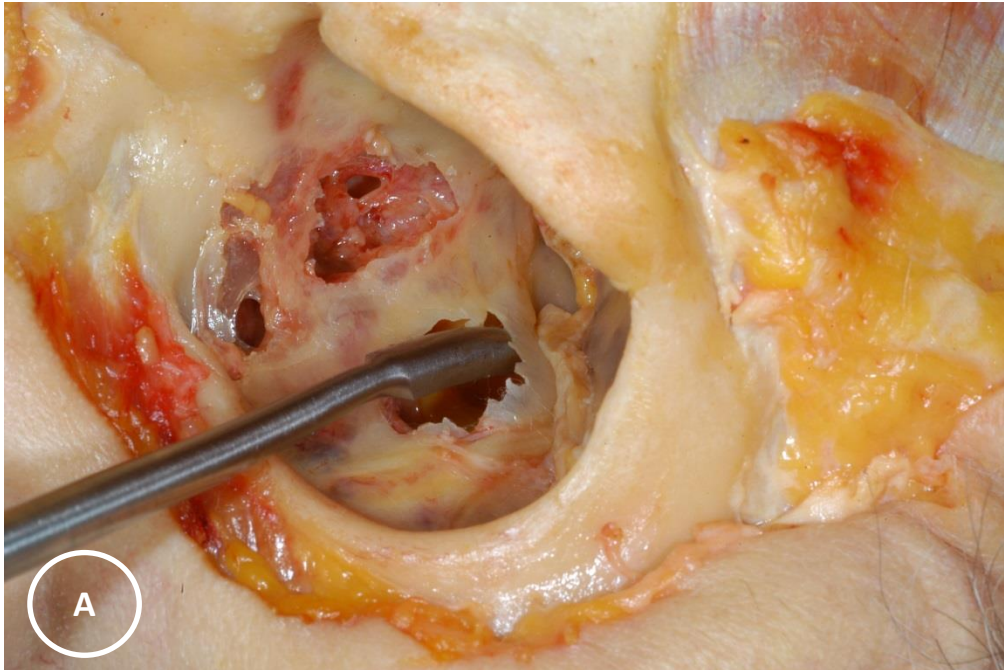
Abb. 15: Intraoperative Darstellung einer Defektsituation nach isolierter Orbitabodenfraktur. Spatel zur Retraktion des Weichgewebes. Lamelläre Fraktur von der anterioren Orbita bis in die Midorbita. (Quelle: AO Foundation; „Midface, Orbital floor fracture - Orbital reconstruction“²⁰⁹)

Kann der knöcherne Defekt im hinteren Orbitaboden oder der medialen Orbitawand im Zuge der periorbitalen Dissektion nicht ausreichend freipräpariert werden, kann es gegebenenfalls notwendig werden, die Invagination der Periorbita in die Fissura orbitalis inferior und das darin befindliche Weichgewebe kontrolliert zur besseren Einsichtnahme zu durchtrennen.^{44, 52, 209} Dabei empfiehlt sich eine sorgfältige Elektrokoagulation, um Blutungen aus der A. infraorbitalis und V. infraorbitalis (Plexus pterygoideus) zu vermeiden.⁵² Der N. infraorbitalis ist durch seine Lage im Canalis infraorbitalis und weiter posterior im Sulcus infraorbitalis bei der Präparation des Orbitabodens geschützt^{100, 218}, solange die periorbitale Dissektion nicht in den posteromedialen Anteil der IOF eindringt.

Die “posterior ledge” muss für eine sichere dorsale Abstützung des einzubringenden Ersatzmaterials genau identifiziert werden.^{137, 138, 147} (**Abb. 16 A-D**). Endpunkt der Dissektion

bei Orbitabodenfrakturen ist nach dorsal das „lateral promontory“.^{9, 36, 37, 38, 39, 208, 209} Sofern Frakturen zur medialen Orbitawand übergehen, ist die Freipräparation dorthin fortzusetzen.

Die „posterior ledge“ – als dorsale Auflage für Rekonstruktionsmaterialien – lässt sich auf relativ einfache Weise freilegen, indem mit dem Raspatorium durch den Defekt im Orbitaboden in den dorsokraniellen Recessus des Sinus maxillaris eingegangen wird (**Abb. 16 A-D**). Die „posterior ledge“ bzw. die facies orbitalis ossis palatini befindet sich dann oberhalb des Instruments. Die Instrumentenspitze wird unter Knochenkontakt zurückgezogen und um die Bruchkante herum auf die orbitale Oberfläche der „posterior ledge“ geführt.



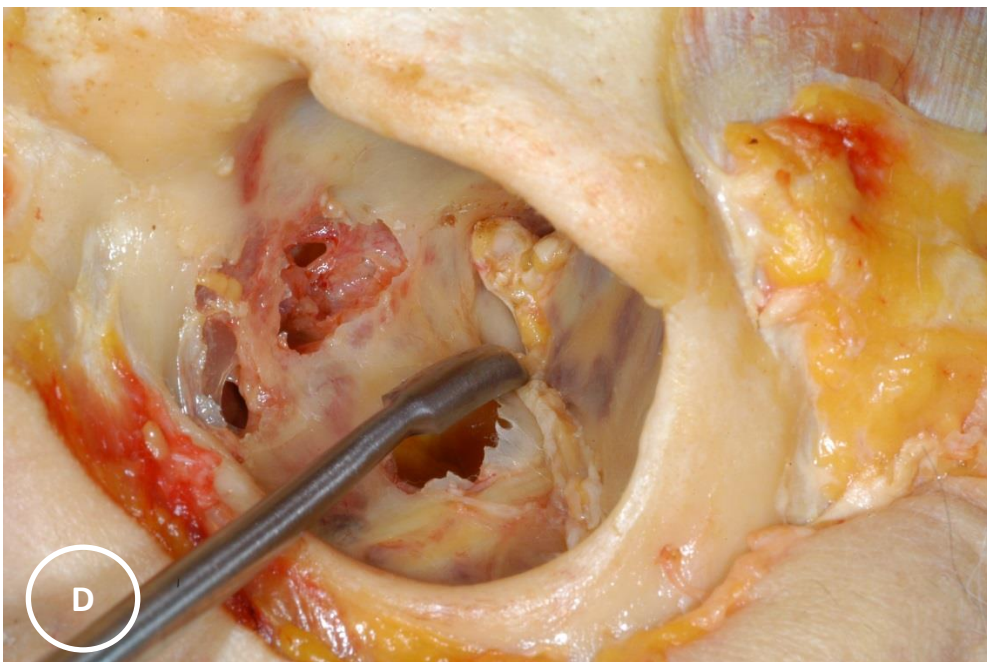
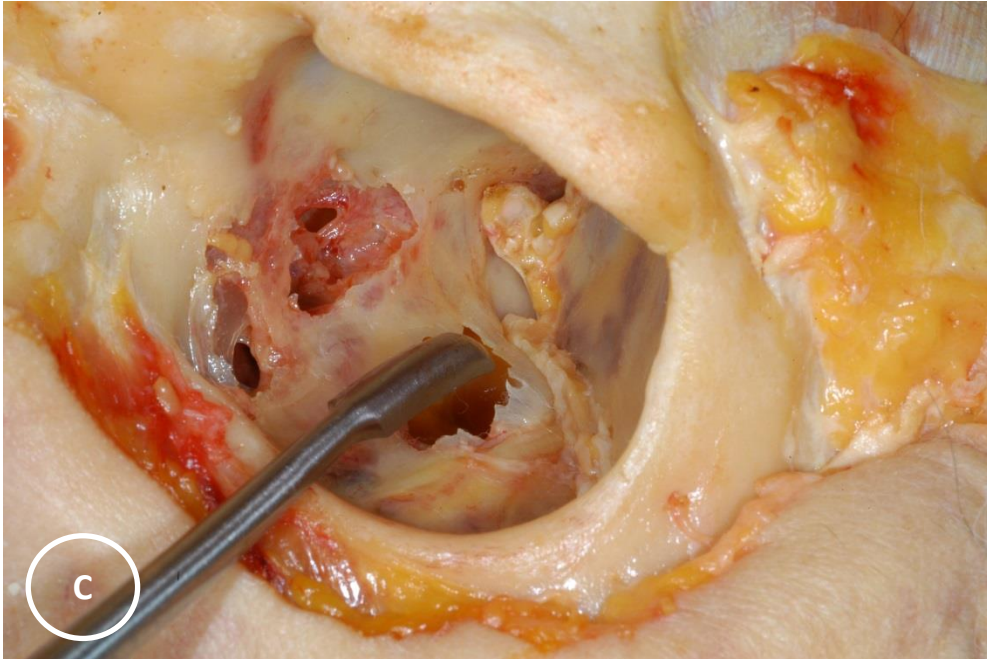


Abb. 16 A-D: Anatomisches Präparat - Orbita links nach Exenteration und Anlage eines Defekts im hinteren Anteil des Orbitabodens: Freipräparation der „posterior ledge“ **16 A:** Raspatorium im oberen hinteren Kieferhöhlen Recessus; **16 B und C** Zurückziehen, Ertasten und Umfahren der hinteren Bruchkante mit der Instrumentenspitze **16 D:** Vorschieben des Raspatoriums unter Knochenkontakt bis die „posterior ledge“ ausreichend freipräpariert ist. (Quelle: Sammlung Prof. Cornelius)

Bei der periorbitalen Dissektion der medialen Orbitawand ist darauf zu achten, den medialen Kanthus, den Tränenapparat und die nicht fragmentierten Anteile der dünnen Lamina papyracea zu schonen.

Anatomische Grenzlinie der periorbitalen Dissektion nach anterior ist die Crista lacrimalis posterior des Os lacrimale.^{153, 173, 177, 209} Als Landmarken an der kranialen Grenze bei der Präparation über Lid oder transkonjunktivale Zugänge von kaudal sind das Foramen ethmoidale anterius und das Foramen ethmoidale posterius (jeweils mit neurovaskulären Bündeln) zu beachten. Das Foramen posterius dient als Leitstruktur, die nach dorsal nicht überschritten werden soll, um Verletzungen des N. opticus zu vermeiden.^{68, 69, 123, 175, 204, 208, 209} Muss die Region kranial der Sutura frontoethmoidalis eingesehen werden, ist ein koronarer Zugang zu wählen.^{28, 209}

2.3.2.5.2 Applikation von Titan-Meshes

Im Anschluss an die periorbitale Dissektion der internen Orbita müssen defektähnliche Areale oder Defekte und anatomische Stützstreben („butfresses“) definiert werden, die bei der Rekonstruktion mit einem Titanmesh ersetzt bzw. abgedeckt werden sollen.

Dazu werden die Ausdehnung des Frakturmusters in den Untereinheiten der Orbitawände und die Fragmentierung von Dislokationen der „butfresses“ nach direkter Einsichtnahme im Einzelnen analysiert. Die „butfresses“ sind neben der Topographie und Größe der Frakturflächen von Bedeutung, weil sie wesentliche Bezugspunkte bei der Wiederherstellung des Oberflächenreliefs liefern und sich, sofern sie intakt geblieben sind, als sagittale Leitschienen zur Führung eines Titanmeshs/Orbita-Implantats bis zur „posterior ledge“ verwenden lassen (**Abb. 17 A und B**).

Als sagittale „butfresses“ sind aufgrund ihrer umgebenden Knochenverdickung folgende Strukturen zu werten:

- IOB („internal orbital buttfress“, Sutura ethmoidomaxillaris):

Die „IOB“ bietet Hilfestellung bei der Konturierung und Insertion von Titanmeshes, die kombiniert den Orbitaboden und die mediale Orbitawand abdecken. Selbst wenn der Orbitaboden und die mediale Orbitawand frakturiert sind, bleibt die „IOB“ oftmals stabil und unversehrt erhalten.⁵²

- Canalis infraorbitalis:

Der Canalis infraorbitalis bzw. der den Kanal umgebende Knochenwulst unterteilt den Orbitaboden und ist vor allem anterior durch den Knochenwulst relativ stabil. Der Kanal kann als Wegweiser zur „IOF“ und über das „lateral promontory“ zur „posterior ledge“ führen.

- Medialrand der Fissura orbitalis inferior:

Der Medialrand der Fissura orbitalis inferior weist neben seiner Konvexität verdickte und widerstandsfähige Knochenstrukturen auf, sodass er oft intakt bleibt. Dieser Rand dient als Orientierungshilfe – mehr bei der periorbitalen Dissektion in die „deep orbit“, weniger bei der Insertion eines Titanmeshes / Orbita Implantats.

Der Infraorbitalrand - als transversal verlaufende Strebe im Übergang von anteriorem Orbitarand zur inferioren Orbitawand wird zur Auflage und Schraubenfixierung des Titanmeshes benutzt.⁷²

Aus der Involvierung und Dislokation der sagittalen „buttresses“ in die Fragmentierung resultieren erhöhte technische Schwierigkeiten bei der Insertion von Titanmeshes/Orbita-Implantaten mit dem Risiko einer Malpositionierung³⁵ (**Abb. 17 C und D**).



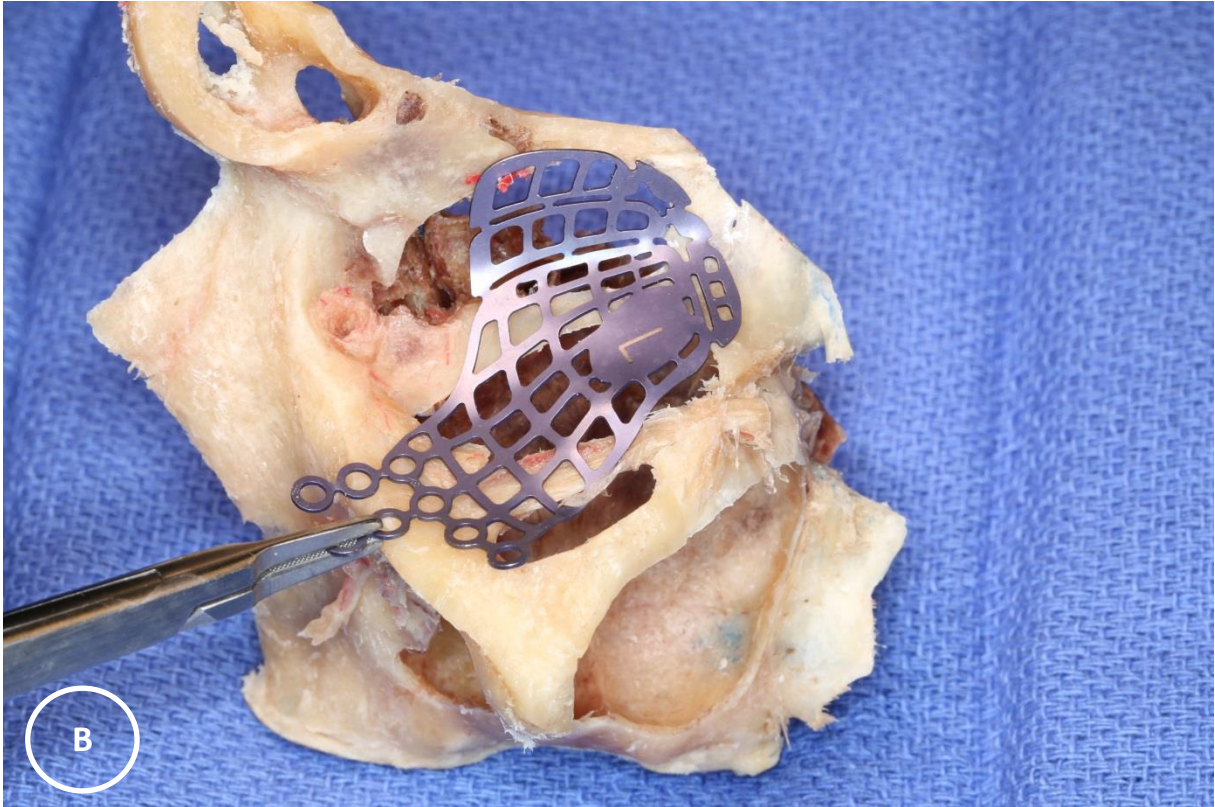




Abb. 17 A-D: Anatomisches Präparat – inferomediale Orbitawände links nach Entfernung von Anteilen des Orbitabodens und der Lamina papyracea **17 A:** Sagittale „buttresses“ - 1= IOB; 2= Canalis infraorbitalis; 3= Medialrand der IOF. **17 B:** Insertion und Abstützung eines präformierten Titanmeshes (Matrix MIDFACE™ Preformed Orbital Plate (DePuy Synthes®, West Chester, PA, USA). **17 C:** Fragmentierte und dislozierte sagittale „buttresses“. **17 D:** Malpositionierung des präformierten Titanmeshes in den Sinus maxillaris infolge fehlender Leitschienen (Quelle: Sammlung Prof. Cornelius)

2.4 Klassifikation von Orbitafrakturen - Historie

Seit Beginn der 1960er Jahre wurden mehrere Klassifikationen für Orbitafrakturen entwickelt:

- Knight JS, North JF 1961¹⁰⁴
- Milauskas 1966¹⁴³
- Larsen OD, Thomsen M 1978¹¹⁸
- Manson et al 1986¹³⁰
- Jackson IT 1989⁹⁰
- Antonyshyn O, Gruss JS, Kassel EE 1989³
- Markowitz BL, Manson PN, Sargent L et al 1991¹³³
- Blotta P 1992¹⁷ Zingg M, Laedrach K, Chen J et al. 1992²⁰⁵
- Nolasco FP, Mathog RH 1995¹⁴⁶
- Hammer B 1995⁸⁰
- Lauer SA, Snyder B, Rodriguez E et al. 1996¹¹⁹
- Harris GJ, Garcia GH, Logani SC et al. 1998⁸²
- Manolidis S, Weeks BH, Kirby M et al. 2002¹²⁷
- Carinci F, Zollino I, Brunelli G et al. 2006²⁵
- Jaquiéry C, Aeppli C, Cornelius CP et al. 2007⁹⁴

Grundlegende Überlegungen gingen zunächst dahin, Frakturen im Mittelgesichts- und kraniofazialen Übergangsbereich mit Involvierung der Orbitaländer bzw. des Orbitarahmens drei in der Zirkumferenz der Orbita lokalisierten, topographisch-anatomischen Komplexen zuzuordnen:

- Zygomatico-orbitaler Komplex (Knight JS, North JF 1961¹⁰⁴, Larsen OD, Thomsen M 1978¹¹⁸, Zingg et al 1992²⁰⁵)
- Naso-orbito-ethmoidaler Komplex (Gruss 1985⁷⁸, Manson 1985¹²⁹, Markowitz 1991¹³³)
- Fronto-orbitaler Komplex (Luce 1987¹²⁵, Gruss 1989⁷⁶, Burstein 1997²³)

Andere Autoren konzentrierten sich auf die interne Orbita bzw. die Orbitawände. In diesem Zusammenhang wurde das geometrische Konzept der internen Orbita als vierwandige Pyramide mit dreiwändigem Apex beschrieben (**Abb. 2**). Milauskas (1966¹⁴³) versuchte, die unterschiedlichen Formvarianten von Orbitabodenfrakturen (sternförmig, dreieckig, rechteckig, etc.) in einer Klassifikation zusammenzufassen.

Darüber hinaus interessierte ihn die Unterscheidung von Frakturen mit und ohne Beteiligung des Canalis infraorbitalis und möglichen Konsequenzen daraus für die Integrität N. infraorbitalis.

Mit Manson (1986), Antonyshyn (1989), Blotta (1992) und Nolasco (1995) folgten Ausführungen zu weiteren Aspekten bei der Klassifikation von Frakturen der internen Orbita:

Manson et al. ^{128, 130} untersuchten den Zusammenhang von posttraumatischer Volumenzunahme mit konsekutiver Deformation der intraorbitalen Weichgewebe und dem Schweregrad des resultierenden Enophthalmus. Antonyshyn et al. ³ befassten sich mit der Klassifikation von „blow-in“-Frakturen, die isoliert oder kombiniert mit Frakturen der Orbitaländer bzw. den obengenannten anatomisch-topographischen Komplexen vorkommen und infolge der Dislokations-bedingten Abnahme des Orbitavolumens zu akuten klinischen Symptomen (z.B. „Fissura-orbitalis-superior Syndrom“) mit sofortigem Handlungsbedarf führen können.

Blotta¹⁷ betrachtete die Orbita als Einheit. Die Klassifikation konnte also auf alle Orbitaanteile bezogen werden. Er berücksichtigte den Frakturbereich, die Fragmentdislokation, Veränderungen des Orbitainhalts (En-/Exophthalmus) sowie Motilitätsstörungen.

Nolasco und Mathog ¹⁴⁶ klassifizierten Frakturen der medialen Orbitawand in 4 Typen: je nachdem, ob die mediale Orbitawand allein, in Kombination mit dem Orbitaboden, dem Jochbein oder ausgedehnten Mittelgesichtsfrakturen betroffen war.

Lauer et al. (1996 ¹¹⁹) schlugen vor, Orbitabodenfrakturen nach ihrer Lokalisation in Relation zum Canalis infraorbitalis zu klassifizieren. Sie hatten festgestellt, dass „blow-out“-Frakturen überwiegend medial des Canalis infraorbitalis liegen oder den Canalis infraorbitalis in das Frakturareal miteinbeziehen. Ausschließlich lateral des Canalis infraorbitalis vorkommende „blow-out“-Frakturen waren hingegen nicht anzutreffen. Derartige laterale Orbitabodenfrakturen waren immer Bestandteil von Jochbein- oder Le Fort-Frakturen. Auf den medialen Orbitaboden limitierte Frakturen fanden sich bei ausgedehnter Fragmentierung unter Einbeziehung des Orbitarahmens nicht.

Harris et al. (1998 ⁸²) stellten den Prolaps von intraorbitalem Fett-Bindegewebe (Koornneef ^{108,109}) ins Nasennebenhöhlensystem als wesentliches Kriterium bei der Differentialindikation zur Behandlung von Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand heraus und nahmen neben der Einteilung nach der Fragmentierung und Dislokation eine Subtypisierung nach dem Verletzungsausmaß und der Verlagerung der Weichgewebe in die Sinus maxillaris et/sine ethmoidalis vor.⁸²

Carinci et al. (2006 ²⁵) propagierten eine neue Klassifikation zum Staging von Orbitafrakturen nach 4 Einteilungsmerkmalen (**Abb. 18**). Die Lokalisation wird mit den Anfangsbuchstaben „F“ für Frontal, „N“ für Nasal, „M“ für Maxillary und „Z“ für Zygomatic Bone angegeben, die Dislokation der Fragmente (fragment shift) mit „in“ für „blow in“ oder „out“ für „blow-out“. Die Bulbusposition mit „EX“ für Exophthalmus und „ENO“ für Enophthalmus und Richtungseinschränkungen der Bulbusmotilität mit 1 für „superior“, 2 für „internal“, 3 für „inferior“ und 4 für „external extrinsic muscular deficit“.²⁵

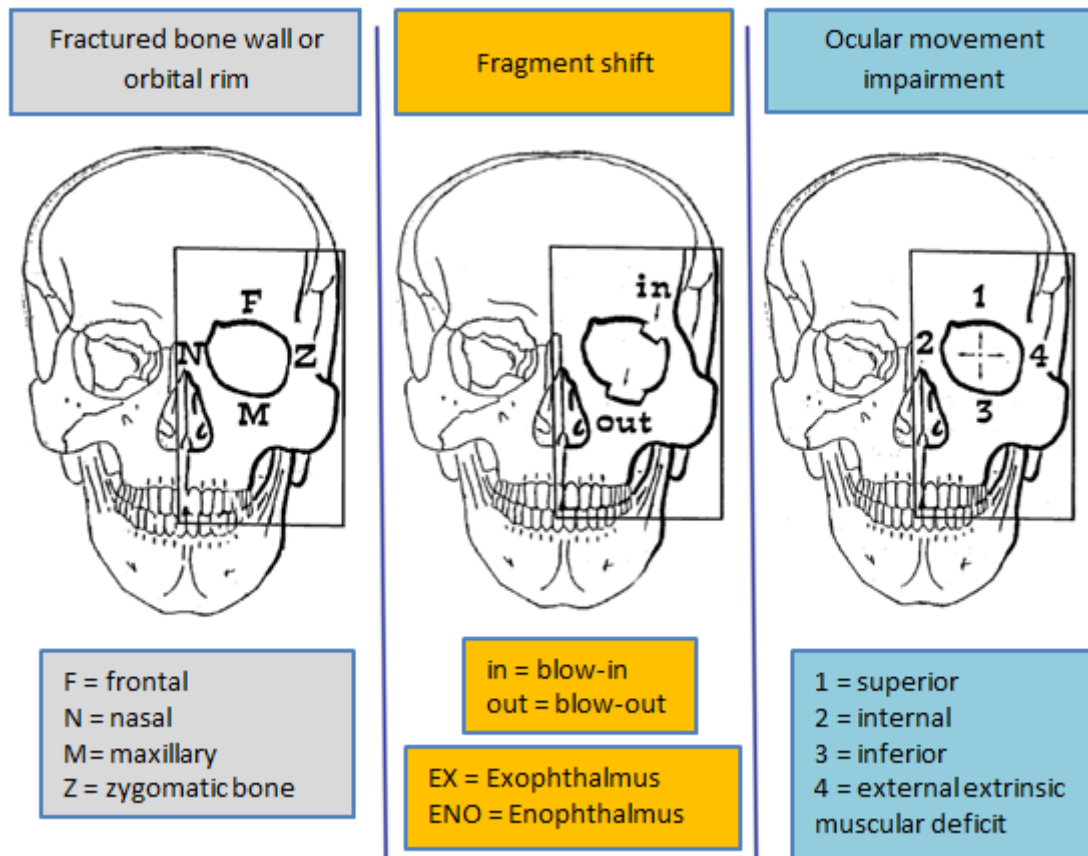


Abb. 18: Klassifikation von Orbitafrakturen nach Carinci et al. unter Berücksichtigung von 4 Variablen (siehe Text). (Quelle: Carinci et al; "Orbital Fractures: A New Classification and Staging of 190 Patients"; 2006 ²⁵)

Ein unmittelbarer Vorläufer zur aktuellen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ der internen Orbitafrakturen entstand in der Gruppe um Hammer ⁸⁰ bzw. Jaquiéry et al. ^{94, 95}. Anfänglich wurden darin die Frakturmuster in Orbitaboden und medialer Orbitawand entsprechend ihrer Lokalisation, Defektgröße und Einbeziehung anatomischer Landmarken (z.B. Fissura orbitalis inferior) und operativem Schwierigkeitsgrad in 5 verschiedene Kategorien eingeteilt. Die laterale Orbitawand blieb unberücksichtigt mit der Begründung, dass dortige Frakturen stets mit Jochbeinverletzungen assoziiert seien und die Kontinuität der lateralen Wand durch Reposition vergleichsweise einfach wiederhergestellt werden könne. Orbitadachfrakturen wurden den Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand zugerechnet und dann als besonders komplexes Frakturmuster eingestuft. ^{9, 94, 95}

Später wurde als Grundlage zu einer exakteren Lokalisationsbeschreibung der Frakturen die Topographie der internen Orbita im sogenannten „Trifol“-Schema (auch als „trifol like“-Schema bezeichnet) abgebildet (**Abb. 19**). Zur zweidimensionalen Darstellung und graphischen Dokumentation wurden die Orbitawände nach Art eines Kleeblatts in drei Untereinheiten (Orbitaboden zusammen mit medialer Orbitawand, lateraler Orbitawand und Orbitadach) aufgefaltet und eine zielscheibenartige Ringeinteilung superpositioniert. Die beiden Ringe verliefen durch die Ethmoidalforamina, womit eine Unterteilung der Wände in 3 in sagittaler Richtung aufeinanderfolgende Sektoren erreicht wurde. Das „Trifol“-Schema

fand u.a. in den Arbeiten von Dubois et al. ⁴⁷, Augustin ⁹, Kunz et al. ¹¹⁴ und Gabrielli et al. ⁶⁴ Verwendung.

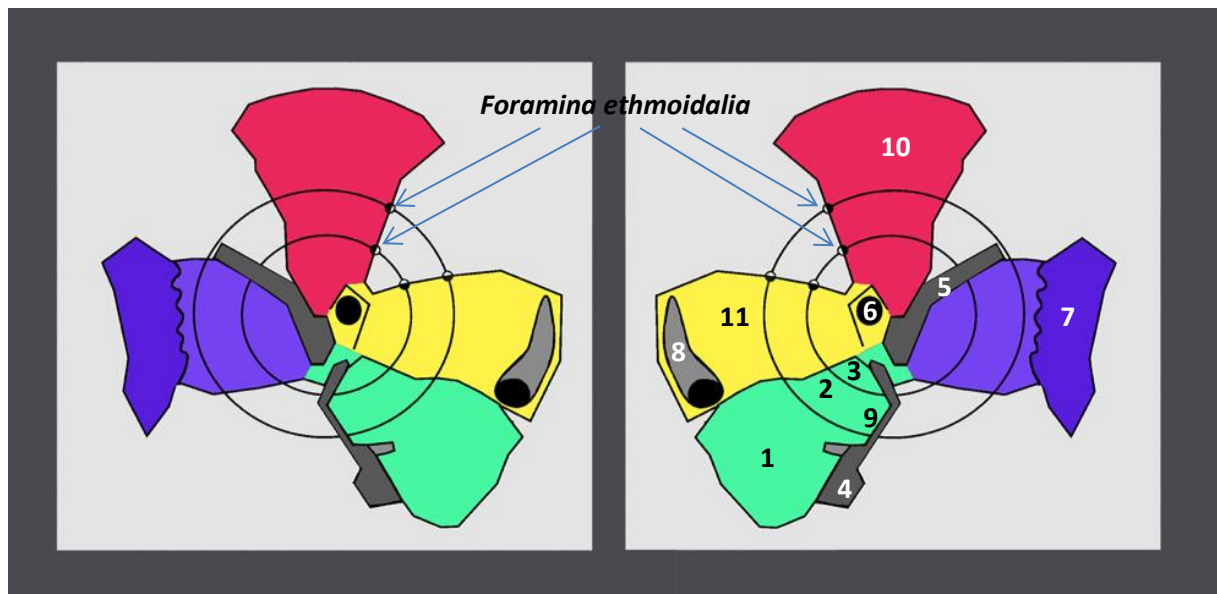


Abb. 19: Graphisches „Trifol“-Schema der internen Orbita rechts und links. 1= orbital floor, anterior part; 2= orbital floor, midorbit; 3= orbital floor, region of posterior ledge (dorsal orbital floor); 4= inferior orbital fissure; 5= superior orbital fissure; 6= optical canal; 7= lateral orbital wall; 8= nasolacrimal canal; 9= medial border of the inferior orbital fissure; 10= orbital roof; 11= medial orbital wall. (Quelle: Jaquiéry C et al.; „Reconstruction of orbital wall defects: critical review of 72 patients“; 2007 ⁹⁴)

2.5 Neue AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene

Die aktuelle „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ hat das Ziel, Frakturen des Schädelskeletts sinnvoll strukturiert zu erfassen und zu dokumentieren.

Sie steht am vorläufigen Ende einer langen Entwicklungsreihe und hat für viele Subregionen die erste Phase (**Abb. 20**) eines Validierungsprozesses passiert (3-Phasen-Prozess nach Audigé et al. 2005⁴). Eine Validierung ist eine essentielle Voraussetzung beim Erstellen von Klassifikationen.

3-Phasen-Prozess^{4, 33}

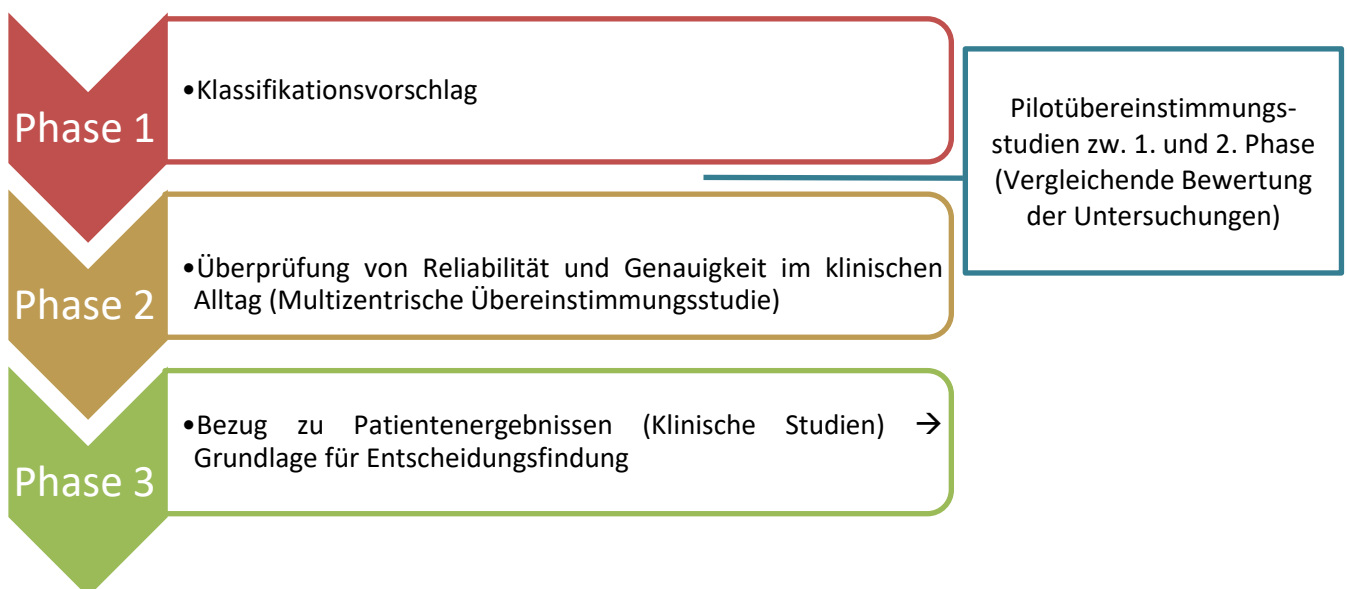


Abb. 20: Validierung einer Frakturenklassifikation im 3-Phasenprozess (Quelle: Audigé et al. 2005⁴- modifiziert)

„In Phase 1 werden der Klassifikationsvorschlag und die Pilot-Übereinstimmungs-Studien nach Durchsicht und Dokumentation z.B. von CT-Serien durch mehrere Auswerter in einer Wiederholungs-Schleife solange diskutiert und optimiert, bis die Reproduzierbarkeit und Übereinstimmung der Ergebnisse akzeptable Werte erreicht hat. In Phase 2 geht dieser Vorschlag dann innerhalb einer Multicenter-Studie im klinischen Alltag auf den Prüfstand. In Phase 3 wird die validierte Klassifikation dann zu klinischen Behandlungsstudien verwendet und kann erst dann abschließend nach ihrer potentiellen „Therapie-Relevanz“ modifiziert werden, um zukünftig Entscheidungsgrundlagen liefern zu können“ (Cornelius et al. 2013³³).

Die aktuelle „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ bietet drei Präzisions-Level zur Erfassung der Frakturmuster an:

- Präzisions-Level 1 – Elementary System
- Präzisions-Level 2 – Basic Regional System
- Präzisions-Level 3 – Focused Subregional System

Im Raster des Präzisions-Level 1 setzt sich das Schädelskelett aus den „Principal Bones“ der Müller AO Klassifikation¹⁴⁵ (Mandible 91, Midface 92, Skull Base 93, Cranial Vault 94) zusammen, die die Grundlage der Einteilung sind (**Abb. 21**).

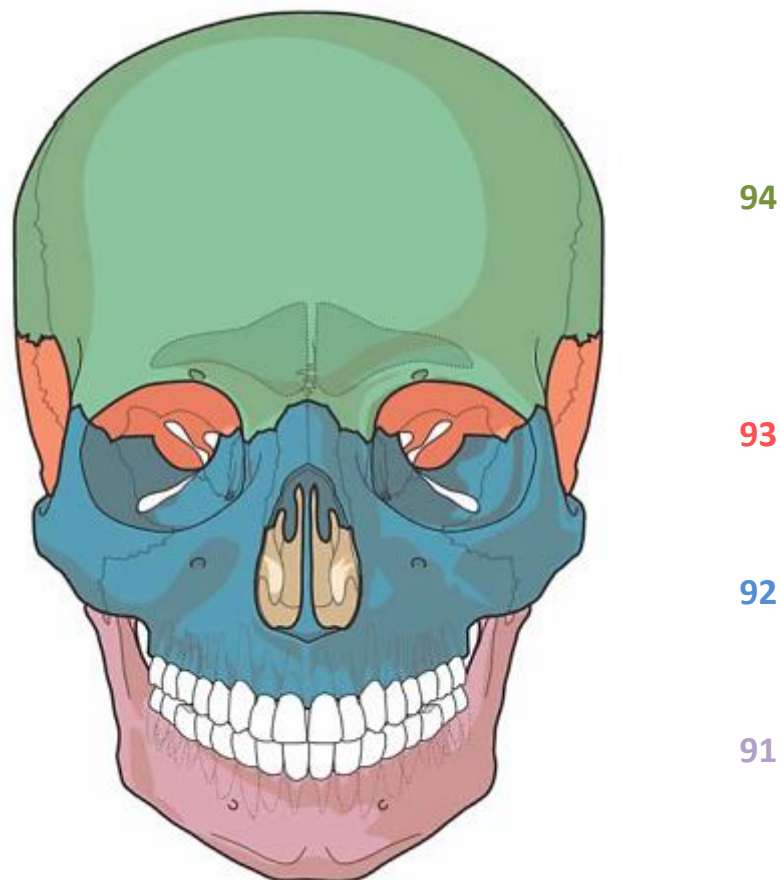


Abb. 21: Principal Bones der Müller AO Klassifikation für das Schädel skelett - Grundlage der Fraktуреinteilung nach Präzisions-Level 1: 91 = Mandible, 92 = Midface, 93 = Skull Base, 94 = Cranial vault (Quelle: Cornelius et al. 2013³³)

Innerhalb dieser 4 anatomischen Elementarmodule kann man im Präzisions-Level 2 die Topographie der Frakturen genauer angeben. Im Mittelgesicht wird dabei ein zentrales Kompartiment von der lateralen Region (Jochbein und Jochbogen) unterschieden (**Abb. 22**).

Das zentrale Kompartiment wird weiter in 3 übereinander liegende horizontale Untereinheiten aufgegliedert:

- UCM – **Upper Central Midface**
- ICM – **Intermediate Central Midface**
- LCM – **Lower Central Midface**

Der obere zentrale Anteil (UCM) entspricht dem Nasenskelett mitsamt der frontalen Maxillafortsätze. Der mittlere zentrale Teil (ICM) wird von infraorbitalen und parapiriformen Maxilla-Subregionen gebildet, die lateral bis zur Sutura zygomaticomaxillaris gehen, kaudal bis zu einer horizontalen Verbindungslinie vom lateralsten Punkt der Apertura piriformis in Richtung der „maxillary buttress“ reichen und mediokranial an das „UCM“ grenzen. Das untere zentrale Mittelgesicht (LCM) besteht aus dem Gaumendach, der Oberkieferbasis und den Alveolarfortsätzen und reicht nach dorsokranial bis zur pterygomaxillären Verbindung und an die Kante des Medialrands der Fissura orbitalis inferior.¹¹²

Mit „**P**“ (Palate) wird der knöcherne Gaumen bezeichnet und mit „**Pt**“ (Pterygoid) die Pterygoidfortsätze.

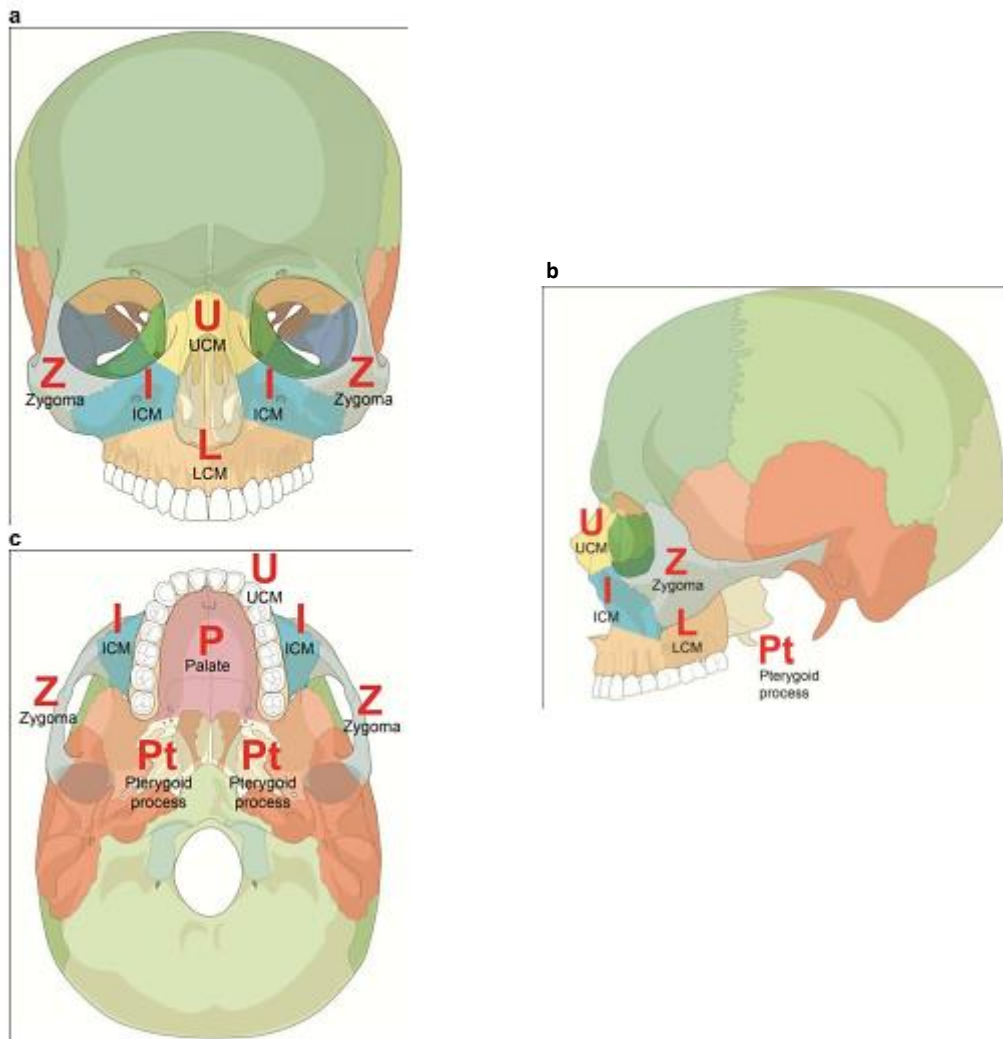


Abb. 22: Zentrales und Laterales Mittelgesicht – Anatomische Untereinheiten - Grundlage zur Fraktуреinteilung nach Präzisions-Level 2: Ansichten von a) frontal b) lateral; c) kaudal. Anatomischen Subregionen „UCM“, „ICM“, „LCM“ und „Zygoma“; (Quelle: Cornelius et al. 2013³³, Audigé et al. 2014⁶; Kunz et al. 2014¹¹²)

Anhand der Untereinheiten des Präzisions Level 2 und der zugehörigen Icons lassen sich auch die Le Fort I, II, III-Frakturlinien nach der Originalbeschreibung übersichtlich und genau darstellen:⁶

- Le Fort I = LCM (Grenzlinien)
- Le Fort II = UCM + ICM
- Le Fort III = UCM + ICM + Zygoma

Um weitere individuelle Patientenbefunde (z.B. Zahnstatus, Atrophiegrad der Alveolarfortsätze) und die sog. Morphologie der Frakturen (= Fragmentation und Dislokation) zu registrieren, steht der Präzisions-Level 3 zur Verfügung.

Die interne Orbita, d.h. die Orbitawände werden zur Frakturen-Klassifikation im Präzisions-Level 2 nach dem eingangs beschriebenen geometrischen Konzept (**Abb. 2**) in 5 Subregionen

aufgeteilt - 4 Wände und in einen dorsalen Abschnitt den im Querschnitt 3-seitigen Conus bzw. Apex „orbital apex“ (**Oa**) (**Abb. 23**).

Die 4 Orbitawände sind:

- der Orbitaboden/„orbital inferior wall“ (**Oi**)
- die mediale Orbitawand/„orbital medial wall“ (**Om**)
- die laterale Orbitawand/„orbital lateral wall“ (**OI**)
- das Orbitadach/„orbital superior wall“ (**Os**)

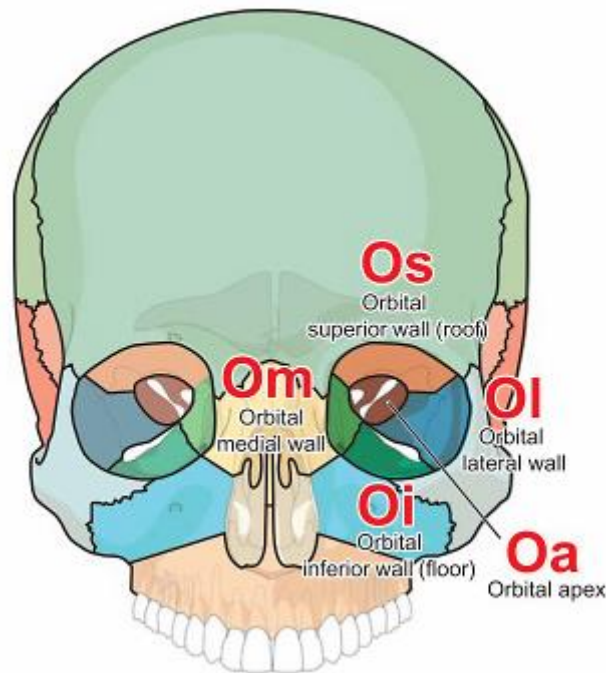


Abb. 23: Interne Orbita – Anatomische Untereinheiten in Frontalansicht - Grundlage zur Fraktуреinteilung nach Präzisions-Level 2: 4 Orbitawände (Oi, Om, OI, Os) und im Orbita-Apex (Oa) dorsal. (Quelle: Kunz et al. 2014¹¹², Cornelius et al. 2013³³)

Im Präzisions-Level 3 wird die Topographie der intraorbitalen Untereinheiten, also der Orbitawände und der Apex weiter detailliert, außerdem wird der Orbitarahmen in einzelne Randabschnitte bzw. Subregionen aufgeteilt (**Abb. 24 und 25**).

Die Orbitawände (inferior, medial, lateral, superior) werden von anterior nach posterior weiter unterteilt, sodass ringförmige Sektoren entstehen, die der anterioren Orbita, der Midorbita und der posterioren Orbita zuzuordnen sind (**Abb. 24**). Die drei posterioren Wandungen bzw. Subregionen im Apex orbitae mit seinem triangulären Querschnitt sind die Fortsetzung der medialen, lateralen und superioren Orbitawand (**Abb. 25**). Die inferiore Orbitawand bzw. der Orbitaboden besteht nur aus zwei Subregionen, die zur anterioren Orbita (der vordere und untere Teil der facies orbitalis des Jochbeins wird hinzugerechnet) und Midorbita gehören. Die Vorgrenzen der Unterteilungsringe werden durch die Lage der „anterior loop“ der IOF dem „maxillary strut“ bestimmt (**Abb. 24**).³³

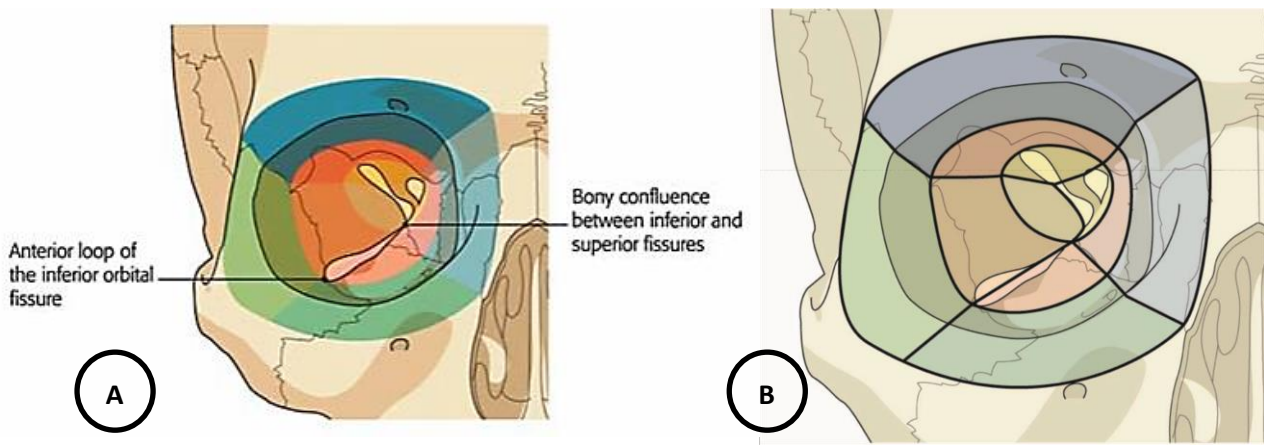


Abb. 24 A-B: Aufteilung der Augenhöhle in 3 anterior-posteriore Ringsektoren. **24 A)** Orientierung an den Landmarken - anterior loop der IOF und der maxillary strut: Anteriore Orbita, Midorbita und Posteriore Orbita bzw. Apex. **24 B)** Summe der topographischen Subregionen. (Quelle: Cornelius et al. 2013³³)

Insgesamt entsteht ein topographisches Schema von Orbitaländern und Orbitawänden, das in Summe pro Orbita aus 20 topographischen Subregionen zusammengesetzt ist (**Abb. 24b, 25, 27 und Tabelle 1**).

Jochbein und Jochbogen bestehen aus je 10 Subregionen, wovon jeweils 6 Subregionen gleichzeitig Bestandteile der inferolateralen Orbitaländer und Orbitawände sind. In der Nomenklatur der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ sind dies:

- zygomatic body - lateral orbital rim
- zygoma part of inferior orbital rim (infraorbital rim)
- anterior part of lateral orbital wall
- zygoma part of anterior part of inferior orbital wall
- area of zygomaticofrontal suture (ZFS)
- area of zygomaticosphenoidal suture (ZSS),

Der inferiore Orbitalrand (Infraorbitalrand) setzt sich aus 2 Subregionen zusammen:

- part of ICM
- part of zygomatic body

Die inferiore Orbitawand hat 2 [bzw. 3] Subregionen:

- inferior section of anterior orbit [including “part of zygoma”]

- inferior section of midorbit (including the palatine bone)

Der mediale Orbitarand ist in 2 Subregionen unterteilt:

- frontonasal maxillary process
- nasal process of frontal bone

Die mediale Orbitawand weist 2 Subregionen auf:

- medial section of anterior orbit (including the lacrimal bone)
- medial section of midorbit

Der superiore Orbitarand entspricht der Margo supraorbitalis ossis frontalis – ohne Unterteilung in Subregionen. Die 2 Subregionen der superioren Orbitawand sind:

- superior section of anterior orbit
- superior section of midorbit

Hinzu kommen 3 Subregionen im Orbita-Apex:

- lateral apex wall (greater wing of sphenoid)
- superior apex wall (lesser wing of sphenoid)
- medial apex wall.

Der Orbitaboden erstreckt sich nur bis in den hinteren Bereich der Midorbita und fehlt somit im Apex orbitae.

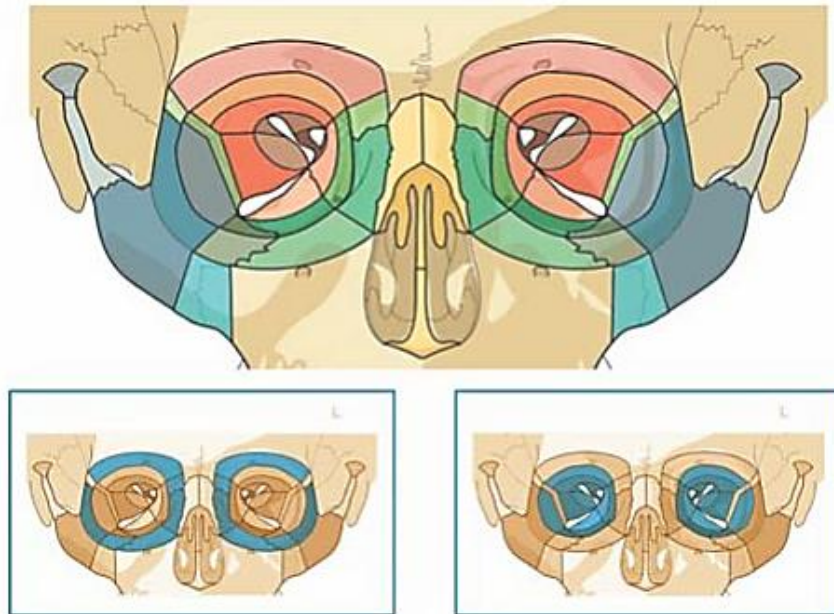


Abb. 25: AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene – Präzisions Level 3: Schema Icon / Topographische Untereinheiten der Orbita und Jochbein / Jochbogen-Region. Untere Illustrationen - Links Orbitarahmen bzw. Orbitaränder (blauer Farbring). - Rechts Orbitawände und Apex orbitae (blau gefüllter Kreis).

Über die Topographie und Größe der Fraktur hinaus kann die Morphologie (Fragmentation, Dislokation) charakterisiert werden. Unterschieden wird zwischen „linear fracture“ (lineare Fraktur), „lamellar fracture“ (Lamellenknochenbruch) und „defect fracture“ (Defektfraktur). Lineare Einzelfrakturen weisen gerade verlaufende Frakturlinien und allenfalls geringfügig verlagerte Fragmente auf.³⁴

Lamelläre Frakturen und Defektfrakturen haben mehrere konvergierende Frakturlinien, die Fragmente sind immer disloziert.

Bei Defektfrakturen ist die Dislokation so ausgeprägt, dass kein Kontakt mehr zum umliegenden, festen Knochen besteht - und Weichgewebeinhalt der Orbita in die Nebenhöhlensysteme verlagert werden kann. Zusätzliche Dislokationen werden als „displaced“/„non displaced“ charakterisiert bzw. als „displaced but not depressed“ oder „depressed“ bezeichnet.

Außerdem kann die Beteiligung wichtiger anatomischer Strukturen wie „inferior orbital fissure“ (IOF), „internal orbital buttress“ (IOB in anteriorer Orbita oder/und Midorbita), Canalis opticus, „superior orbital fissure“ (SOF), „posterior ledge“ (PL/palatine bone orbital surface depressed), der „nasolacrimal duct“/„nasolacrimal bone“, der Ansatz des inneren Lidbandes (vor allem bei NOE-Frakturen) oder der „greater wing of sphenoid“ (bei lateralen Orbitawandfrakturen) zur weiteren Beschreibung eines Frakturmusters in der Orbita genutzt werden.^{33, 34}

2.6 Codierung der AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene im Bereich der Orbita

Die Frakturmuster aus den graphischen Aufzeichnungen (Icons) der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ werden in einem alphanummerischen Code verschlüsselt. Der Code enthält Informationen zur Topographie und Morphologie einer Gesichtsschädelfraktur. Die Codierung wird automatisch im Software Programm (AO COIAC 4.0.0) vorgenommen (**Abb. 26**).

Im Präzisions-Level 1 („Elementary System“) werden die an der Orbitafraktur beteiligten „principal bones“ (**vgl. Abb. 21**) mit ihrem zweistelligen Zahlen-Code benannt:

- 92 = Midface
- 93 = Skull Base
- 94 = Cranial Vault

Diese Zahlen stehen an erster Position im Gesamtcode.

Entsprechend der topographischen Felderung im Präzisions-Level 2 (**vgl. Abb. 22**) folgen für Frakturen im Mittelgesicht bzw. der Orbitalränder und Orbitawände / Apex region die Abkürzungen:

- F = Frontal bone
- U = UCM (Upper Central Midface)
- I = ICM (Intermediate Central Midface)
- Z = Zygoma
- O = Interne Orbita

Frakturen in der internen Orbita - „O“ - werden nach der Involvierung der Wandstrukturen und des Apex (**vgl. Abb. 23**) weiter unterteilt in:

- Oi = Orbital inferior wall - Orbitaboden
- Om = Orbital medial wall
- Ol = Orbital lateral wall
- Os = Orbital superior wall - Orbitadach
- Oa = Orbital apex

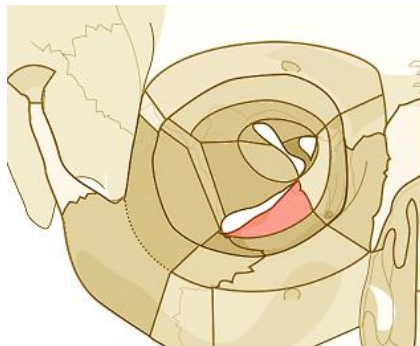
Im Präzisions-Level 3 werden die Frakturmuster der Orbita nach ihrer Ausdehnung in die im Einzelnen weiter spezifizierten topographischen Subregionen eingeteilt. Die Bezeichnungen dieser Subregionen setzen sich aus der Kombination folgender Buchstaben bzw. Zahlen zusammen:

- R = rim, W = wall, A = apex ¹¹¹
- 1 = anterior section of the orbit, 2 = midorbit ¹¹¹
- i = inferior, m = medial, l = lateral, s = superior ¹¹¹

Die Codes für die 4 Orbitaländer, „orbital rims“ („R“) lauten dann: Rs = „orbital rim superior“, Ri = „orbital rim inferior“, Rl = „orbital rim lateral“, Rm = „orbital rim medial“.

Bei den Orbitawänden „orbital walls“ („O“) wird zunächst unterschieden, ob die 4 Subregionen der anterioren Orbita (= W1) oder die 4 Subregionen der Midorbita (= W2) bzw. die 3 Subregionen des Apex von der Fraktur betroffen sind. Dann wird die Wand bzw. die Wände, in der die frakturierten Sektoren lokalisiert sind (i / m / l / s) benannt (Beispiel siehe **Abb. 26**).

Die Codierung erfolgt in der Reihenfolge R → W1 → W2 → A von außen nach innen mit separaten Codes für die Orbita rechts bzw. links.



AO - Classification code	
Midface	92 Oi.m
O (right)	W2(i)

» AO Surg. Ref.

Abb. 26: AO CMF Fraktur – Icon – Midface / Orbitafrakturen – Präzisions-Level 3: Farbmarkierung (rot=defect fracture) einer isolierten Orbitabodenfraktur im Bereich der Midorbita rechts. Daraus ergibt sich („AO COIAC 4.0.0“) der AO-Code: **Midface92 Oi.m O (right)W2(i)** - „W2(i)“ entspricht einer Fraktur der inferioren Midorbita („i“). „m“ (=middle) bedeutet, dass die Fraktur der Orbita rechts lokalisiert ist.

Falls sowohl der Orbitaboden als auch die mediale Orbitawand von Frakturen betroffen sind, wird das im Präzisions-Level 2 mit der Codierung „Oim“ ausgedrückt (nicht zu verwechseln mit Oi.m - siehe nächster Absatz) und im Präzisions-Level 3 beispielsweise mit „**W1(im)**“ oder/ und „**W2(im)**“.

Die rechts/ links/ beidseits Zuordnung zu den Körperhälften im Präzisions-Level 2 erfolgt durch „.m“ / “.m.” oder „.m.“. Das „m“ mit einem Punkt jederseits oder zwischen zwei Punkten ist die Abkürzung für „middle“ und wird demgemäß in der Mitte einer Codierungs-Formel platziert. Es bezeichnet kein topographisches Feld, sondern hat eine Trennfunktion. So steht „(Oim).m“ für eine Fraktur der infero-medialen Orbitawand rechts, „m.(Oim)“ für eine Fraktur der infero-medialen Orbitawand links und „(Oim).m.(Oim)“ für infero-mediale Orbitawandfrakturen beidseits. Ist das „UCM“ von Frakturen betroffen, ersetzt „U“ mit den gleichen Konnotationen durch einen oder zwei Punkte die Abkürzung „m“.

Im Präzisions-Level 3 wird die Körperhälfte im Klartext mit „(right)“ oder „(left)“ angegeben.

Zur näheren Kennzeichnung von Frakturen im Jochbeinbereich wird u.a. die Bezeichnung „ZEB“ zur Charakterisierung typischer „zygoma en bloc“-Frakturen verwendet, womit dann automatisch die zugehörigen Frakturen in den Orbitalrändern und Orbitawänden in die Codierung aufgenommen werden.

Details zur Frakturenmorphologie (Fragmentation und/oder Dislokation (Präzisions-Level 3)) können in den „Drop-Down Menues“ der „AO COIAC 4.0.0“-Software zwar festgehalten werden, was aber nicht für alle Subregionen gleichermaßen mit Änderungen in der Codierung einhergeht. So kann eine „linear fracture“/“lamellar fracture“/ oder “defect fracture“ sowie die Dislokation („displaced“ / „non displaced“) einer Orbitawand zwar unterschieden und markiert werden, jedoch wird dies nicht im alphanumerischen Code verschlüsselt.

Auch in die Fraktur involvierte wichtige intraorbitale anatomische Landmarken - das sind „internal orbital buttress“ („midorbit“ oder „anterior orbit“), „palatine bone“, „inferior orbital fissure“ (IOF), „nasolacrimal duct“, „medial canthal ligament insertion“, etc. – können lediglich im „Drop-Down Menue“ registriert werden.

Präzisions-Level 3 für das Mittelgesicht ermöglicht zudem eine Unterscheidung der Fragmentierung (linear, lamellär, Defekt) und der Dislokation (displaced/non displaced) ebenfalls innerhalb der „Drop-Down Menues“. Die Befunde gehen jedoch nicht explicit in die Codierung ein.³¹

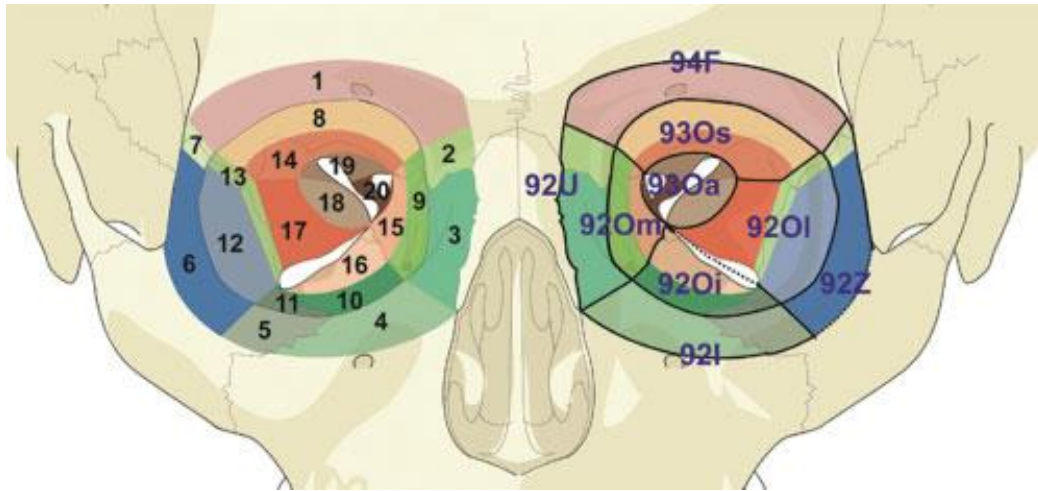


Abb. 27: AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene – Präzisions-Level 3: Schema Icon / Topographische Untereinheiten der Orbita. Nummerierung und Bedeutung in **Tabelle 1** (Quelle: Kunz et al. 2014 ¹¹¹)

Specific level 3 orbital system			Related level 1 and 2 systems			
Subdivisions	ID	Additional description	Code	Region	Subregions	Code
Orbital rims						
Superior	1		Rs	Cranial vault	Frontal bone	94F
Medial	2		Rm	Cranial vault	Frontal bone	94F
Medial	3	Frontonasal maxillary processes	Rm	Midface	UCM	92U
Inferior	4	Part of ICM	Ri	Midface	ICM	92I
Inferior	5	Part of zygomatic body	Ri	Midface	Zygoma	92Z
Lateral	6	Part of zygoma but not zygomatic body	Rl	Midface	Zygoma	92Z
Lateral	7	Area of zygomaticofrontal suture	Rl	Midface	Zygoma	92Z
Orbital walls						
Superior	8	Anterior section of orbit ^a	W1s	Skull base	Anterior	93Os 93A
Medial	9	Anterior section of orbit ^a (including the lacrimal bone)	W1m	Midface		92Om
Inferior	10	Anterior section of orbit ^a	W1i	Midface		92Oi
Inferior	11	Anterior section of orbit ^a (including part of zygoma)	W1i	Midface	Zygoma	92Oi 92Z
Lateral	12	Anterior section of orbit ^a	W1l	Midface	Zygoma	92Ol 92Z
Lateral	13	Area of zygomaticosphenoidal suture (greater wing of sphenoid)	W1l	Midface	Zygoma	92Ol 92Z
Superior	14	Midorbit ^b	W2s	Skull base	Anterior	93Os 93A
Medial	15	Midorbit ^b	W2m	Midface		92Om
Inferior	16	Midorbit ^b (including the palatine bone)	W2i	Midface		92Oi
Lateral	17	Midorbit ^b (greater wing of sphenoid)	W2l	Midface		92Ol 93M
Orbital apex^c						
	18	Lateral wall (greater wing of sphenoid)	Al	Skull base	Middle	93Oa 93M
	19	Superior wall (lesser wing of sphenoid)	As	Skull base	Anterior	93Oa 93A
	20	Medial wall	Am	Skull base	Sphenoid bone	93Oa 93S

Tabelle 1: Zusammenstellung der topographisch-anatomischen Subregionen der Orbita in den Präzisions-Level 3, 1 und 2. In Präzisions-Level 3 sind die zugehörigen topographischen

Subregionen mit einer ID Nummer von 1 bis 20 (**Abb. 27**) versehen und in der Spalte „additional description“ anatomisch bezeichnet. Ein zusammenhängender Fraktur-Code wird generiert, indem die in das Frakturmuster einbezogenen Einzelcodes der topographischen Regionen aufgereiht werden. (Quelle: Kunz et al. 2014 ¹¹¹)

Abschließend ein Codierungs-Beispiel (rechts- und linksseitig) für eine nicht dislozierte – laterale Mittelgesichts(92)-/Jochbeinfraktur („Z“) unter Einschluss des ICM („I“) in Form einer Fraktur des maxillären Infraorbitalrandes „R(i)“ und des lateralen Orbitapfeilers „R(l)“, der in sich fragmentiert ist („1“), mit Beteiligung der lateralen „W(l)“ (anterior „1“) und inferioren Orbitawände „W(i)“ (anterior „1“ und Midorbita „2“).

Dargestellt ist das gleiche Frakturmuster einmal für die rechte und einmal für die linke Gesichtshälfte (**Abb. 28**). Zur Verdeutlichung der rechts/links Zuordnung in der Code-systematik des Präzisions-Level 2 ist „m“/“m.“ unterstrichen.

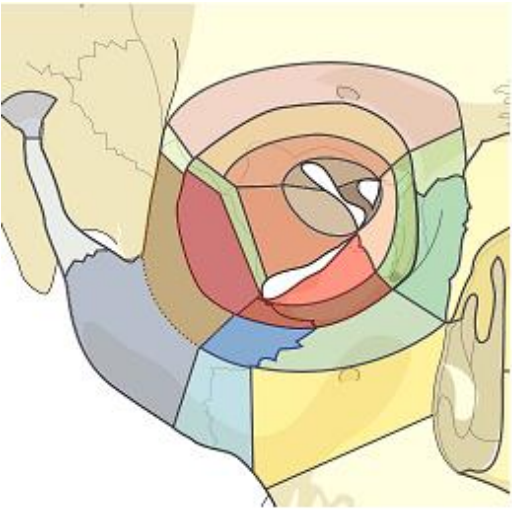
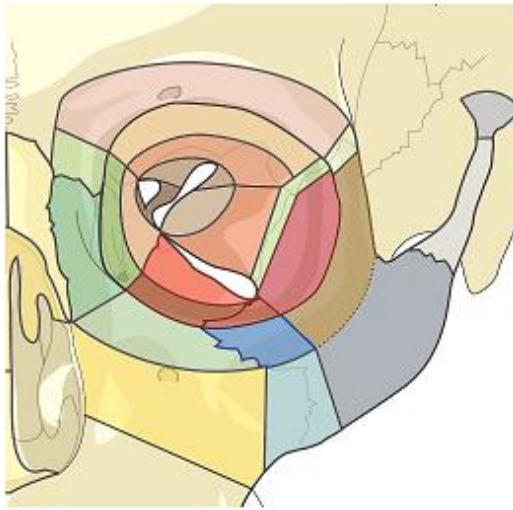
			
Rechtsseitige Fraktur		Linksseitige Fraktur	
Level 1	92	92	
Level 2	Z 1li.Oli.<u>m</u>	<u>m.</u>Oil.Z 1li.	
Level 3	O(right) R(li) W1(li)2(i)	O(left) R(li) W1(li)2(i)	

Abb. 28: „AO COIAC“-Icon - Fraktur des lateralen Mittelgesichts („92“) / Jochbeinfraktur („Z“) mit Einschluss des ICM („I“) (Fraktur der maxillären Infraorbitalrand-Subregion „R(i)“), des lateralen Orbitapfeilers „R(l)“ (fragmentiert [„1“]), Beteiligung der lateralen („W(l)“ [anterior „1“]) und inferioren Orbitawände „W(i)“ (anterior „1“ und Midorbita „2“) – spiegelbildliche Darstellung (rechts / links).

2.7 Problemstellung der vorliegenden Studie

Frakturen im Bereich des Orbitabodens und der medialen Orbitawand unterscheiden sich in ihrer individuellen Flächenausdehnung bzw. Defektgröße. Relevant ist die Frakturausdehnung bei der Indikationsstellung zur operativen Behandlung und bei der Auswahl von Rekonstruktionsmaterialien. Bei letzteren handelt es sich heutzutage gewöhnlich um Titanmeshes oder Titanplatten, deren Größe der Frakturfläche angepasst wird.

Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchungen war es, die Größenordnung der Frakturflächen in Orbitaboden und/oder medialer Orbitawand innerhalb einer Sammlung von CT-Datensätzen von Patienten mit Mittelgesichtstraumen zu bestimmen. Dabei waren Flächenunterschiede in Abhängigkeit von der Topographie und von den Frakturmustern im übrigen Gesichtsskelett – isolierte Frakturen der internen Orbita versus Orbitabeteiligung bei zentralen, zentrolateralen oder lateralen Mittelgesichtsfrakturen - zu erwarten.

Die neue „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ bietet auf verschiedenen Präzisions-Level umfangreiche Möglichkeiten zur visuellen Registrierung (Icons) und alphanumerischen Codierung von Frakturen im Mittelgesicht und craniofazialen Übergangsbereich einschließlich der internen Orbitae.

Daher wurde eine Charakterisierung der Frakturmuster und deren Häufigkeitsverteilung in den CT Datensätzen auf der Grundlage dieser Klassifikation durchgeführt und die Häufigkeitsverteilung der Frakturcodes ermittelt.

Wiederholte Literaturberichte^{52, 60, 92, 137, 172} über persistierende posttraumatische bzw. postoperative sensorische Defizite im Innervationsgebiet des N. infraorbitalis mit Häufigkeiten zwischen 15% und 80% gaben den Anlass, die neue „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ um topographische Areale medial und lateral des Canalis infraorbitalis zu ergänzen.

Die Codierungs-Ergebnisse der Original-Einteilung und der modifizierten „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ wurden einander gegenübergestellt, um den potentiellen Informationsgewinn durch die Erweiterungen zu überprüfen.

Neben der praktischen Anwendung und Eignung der beiden Klassifikationen stellte sich die Frage nach Zusammenhängen zwischen der Topographie der Frakturen in einzelnen oder kombiniert in mehreren Subregionen der inferioren und/oder medialen Orbitawände und der Frakturflächengröße. Ein quantitativer Zusammenhang der Variablen ist nahe liegend. Eine statistisch Vorhersage konkreter Mittelwerte für die Frakturflächengröße bei Involvierung bestimmter Subregionen würde sowohl die Indikationsstellung als auch die Auswahl der Rekonstruktionsmaterialien (Größe und Konturnotwendigkeit - z.B. präformierte oder patientenspezifische Meshes/Implantate) zur Abdeckung der Orbitawanddefekte bei der OP-Planung vereinfachen.

3. Material und Methoden

An 137 CT-Datensätzen von Patienten mit Mittelgesichtstraumen wurde im ersten Schritt die Flächenausdehnung von Frakturen im Orbitaboden und in der medialen Orbitawand vermessen. An denselben CT-Datensätzen wurde die neue „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ überprüft und eine Datenbank der dementsprechend codierten Frakturmuster angelegt. Mit einer modifizierten topographischen Einteilung, hauptsächlich im Orbitaboden und in der medialen Orbitawand, wurde eine weitere Klassifizierung durchgeführt. Schließlich wurden die Frakturmuster beider Klassifikationsvarianten mit den Frakturflächengrößen korreliert, um die Prädiktionsmöglichkeiten der Codierungsformeln im Hinblick auf das Ausmaß der Orbitawanddefekte zu untersuchen.

3.1 Patienten / CT-Datensätze

Es lag eine Sammlung (Klinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie München Innenstadt, Lindwurmstraße) von n=137 präoperativen CT DICOM-Datensätze von Patienten im Erwachsenenalter aus dem Zeitraum 2002-2014 vor, die im Rahmen von Mittelgesichtsfrakturen uni- oder bilaterale Orbitabodenfrakturen, ggf. auch Frakturen der medialen Orbitawand erlitten hatten

Insgesamt standen CT-Daten von 137 Patienten (Durchschnittsalter 43,5 Jahren, n=98 männlich, n=39 weiblich) zur Verfügung. In der CT Bildgebung fanden sich bei 129 Patienten einseitige - (n=67 unilateral rechts; n=62 unilateral links) Orbitabodenfrakturen - und bei n=8 Patienten bilaterale Orbitabodenfrakturen.

Folglich konnten n=145 Orbitabodenfrakturen in den Software-Programmen („iplan CMF 3.0.3“ [Brainlab, Feldkirchen] und „AO COIAC 4.0.0“ [Marschelke Messtechnik, Reichenau]) analysiert werden. Unter diesen n=145 Orbitabodenfrakturen kamen n=34 Kombinationen mit Frakturen der medialen Orbitawand vor. Es wurden ausschließlich die Frakturflächen/-volumina von Orbitabodenfrakturen und Frakturen der medialen Orbitawand bestimmt. Frakturen der lateralen Wand und des Orbitadaches wurden nicht vermessen.

Ausschlusskriterium war eine für die Beurteilung nicht ausreichende Qualität der computertomographischen DICOM-Datensätze. War der Schichtabstand der CT zu groß (> 6mm) war eine Vermessung nicht möglich. In der Software „iplan CMF 3.0.3“ (Brainlab, Feldkirchen) wurden die in den einzelnen koronalen Schichten markierten Frakturareale nicht mehr automatisch zu einem Gesamtfakturareal verbunden, sodass Messfehler entstanden wären.

Die „DICOM“-Datensätze, vorliegend auf CD/DVD-Medium, waren Dünnschicht-CT-Aufnahmen. Diese Spiral-CT-Aufnahmen [angefertigt im Institut für klinische Radiologie der

Universitätsklinik München Innenstadt [Nußbaumstraße und Ziemssenstraße]: „GE optima CT520“, NNH-Einstellung, 120 kV, 300 mA] realisieren meist Schichtabstände („slice distance“) von 0,625 -3 mm und eignen sich bei Einstellung des Knochenfensters sehr gut zur Darstellung von knöchernen Läsionen. In den untersuchten CT-Daten aus den Jahren 2002-2006 waren 4 CT-Datensätze mit Schichtabständen von mehr als 4 mm enthalten, die allerdings eine Beurteilung zuließen.

Zur multiplanaren Analyse können Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand in koronalen sagittalen und axialen Ebenen eingesehen werden.

3.2 Vermessung von inferioren und medialen Orbitawand-Defekten

3.2.1 Ermittlung der Frakturflächengröße

Als Hilfsmittel zur Ermittlung der Frakturflächengröße stand das Softwareprogramm „iplan CMF 3.0.3“ (Brainlab, Feldkirchen) zur Verfügung, dessen Funktionsweise die Firma Brainlab nicht offenlegte. „iplan CMF 3.0.3“ wurde zur computerunterstützten, dreidimensionalen OP-Planung von Tumorsektionen und zur Rekonstruktion im Mittelgesicht sowie als Grundlage zur intraoperativen Navigation entwickelt. Es besitzt Features wie die Autosegmentierung oder die Möglichkeit der Spiegelung von intakten anatomischen Strukturen an der Gesichts-Mittellinie.²¹³ Mit dem Programm können Volumina aus den CT-Aufnahmen im DICOM-Format ermittelt werden (Arbeitsrechner HP workstation xw 8600, Betriebssystem Windows Vista). Dazu kommt das sog. „brush-tool“ dieses Programms zum Einsatz. Seine Dicke lässt sich auf eine dem Orbitaboden ähnelnde Dicke von 0,16 cm einstellen. Mit dem „brush“ werden in den frontalen CT-Aufnahmen, von der dorsalen bis zur anterioren Schicht, die Frakturänder von medial nach lateral bzw. lateral nach medial – wie im Beispiel (**Abb. 30 und 31**) gezeigt - verbunden. Das Programm digitalisiert dann dieses Band zu einem Körper und berechnet aus diesen Daten das Volumen V der Fraktur. Laut Firma Brainlab (Stand 28.08.2014) basiert die Berechnung auf dem Prinzip von Cavalieri²²⁵. Bei diesem Prinzip wird angenommen, dass ein Objekt in n aufeinanderfolgenden Schichten liegt. Das Volumen kann bestimmt werden, indem man annimmt, dass n Schnittflächen Kreise desselben Flächeninhalts sind, und berechnet dann die Summe der Volumina der Kegelstümpfe. Das Volumen unterhalb der untersten und oberhalb der obersten Schicht wird als Kegel berechnet, wobei die Spitze in der nächsten leeren Schicht liegt. Die Genauigkeit des Volumens hängt dabei stark von den Schichtabständen (hier der CT-Aufnahme), der Form und Größe des Objektes ab. Wenn man die obige Berechnung zu Grunde legt und für sein Objekt ein vereinfachtes Modell annimmt, kann man – wie im Programm angewendet - obere und untere Schranken schätzen. Im Allgemeinen muss man mit Fehlern um die 10% rechnen (Angaben laut Brainlab, Feldkirchen). Das vom Programm errechnete Volumen ist unter dem Menüpunkt „plan content“ abzulesen.

Aus diesem im Programm angezeigten Volumen V , wurde nun die zugrundeliegende Frakturfläche hergeleitet.

Würde man eine Schnittebene von dorsal nach anterior im Bereich des Frakturareals kontinuierlich wandern lassen, ergäbe sich die Oberfläche des Frakturvolumens bzw. des sog. „defect body“. Da sich dessen Volumen durch einen flachen Polyeder mit der (kontinuierlichen) Dicke d annähern lässt, gibt $A = V : d$ die Frakturfläche A im Orbitaboden und entsprechend auch der medialen Orbitawand an (**Abb. 29**). Die Volumen- und Flächendaten wurden in einem Tabellenkalkulationsprogramm „Microsoft Excel 2010“ (Microsoft Corporation, Redmond, USA) auf einem zweiten Rechner (ACER Aspire 5532, Betriebssystem Windows 7) verarbeitet.

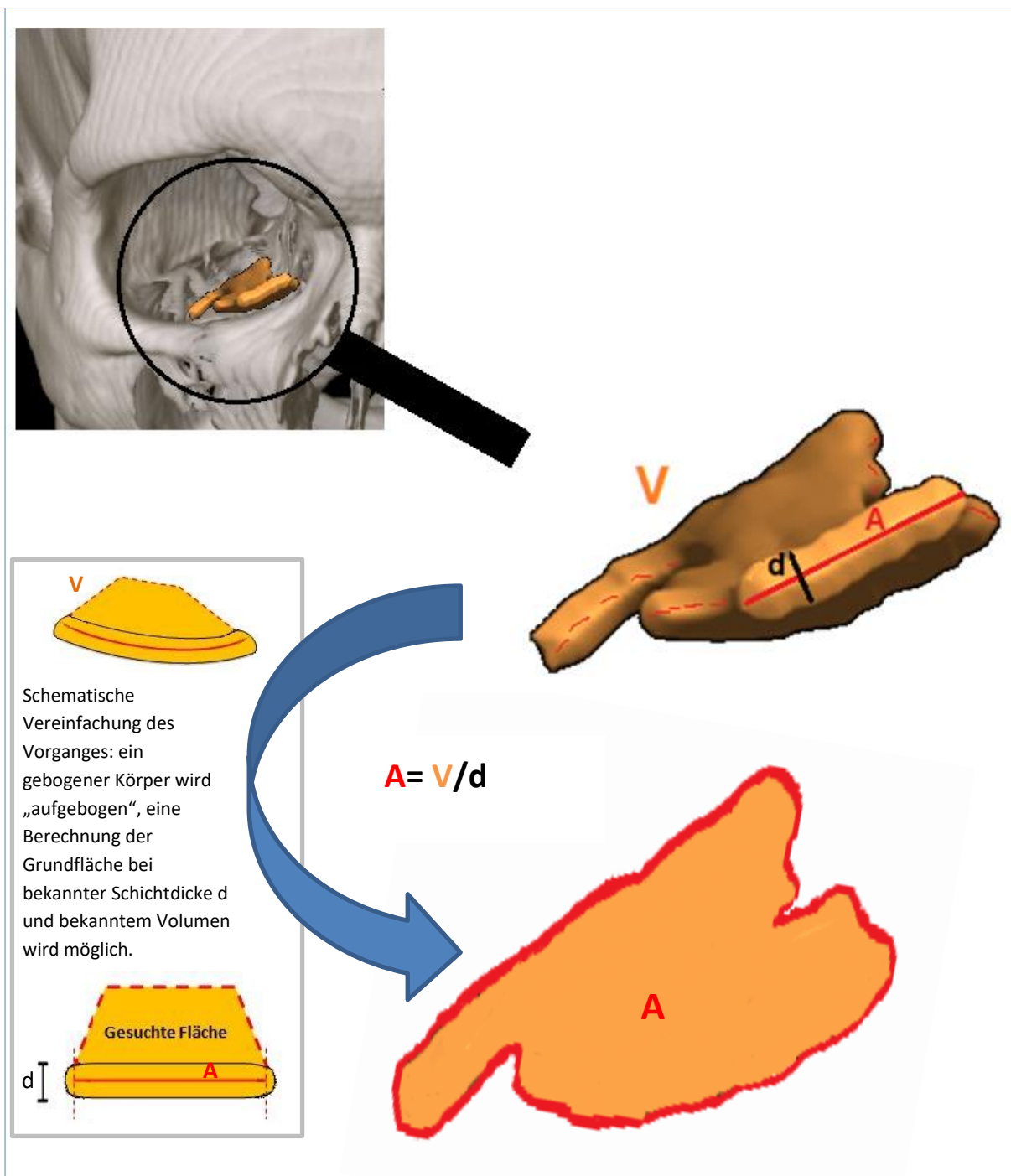


Abb. 29: Herleitung der **Frakturfläche A** aus dem **Volumen V** des „defect bodies“. Gedankengang: Der Querschnitt des polyedrischen „defect body“ (**mit Volumen V**) zeigt die Zusammensetzung aus Grundfläche A und Schichtdicke des Polyeders d (festgelegt durch das „brush-tool“). Da der Polyeder eine gleichmäßige Schichtdicke d aufweist, kann mit der Formel $A = V/d$ die Grundfläche errechnet werden. Schematisch vereinfacht ist der Ablauf im grauen Kasten links unten anhand eines rechteckigen Körpers mit gleichmäßiger Schichtdicke d und Volumen V . Dieser kann zur besseren Vorstellbarkeit des Vorgehens bei der Berechnung „aufgebogen“ werden (siehe unten links).

Die Genauigkeit der initialen Volumenbestimmung mit dem Programm „iplan cmf 3.0.3“ (Brainlab, Feldkirchen) hängt von der Anzahl der Schnittebenen sowie von Form und Größe des vermessenen Objekts ab. Nach Angaben der Firma Brainlab muss man bei der Anwendung ihres Programms im Allgemeinen mit Fehlern um die 10 % rechnen. Eine Flächenermittlung zur Kalibrierung und systematischer Berechnung möglicher Abweichungen war im Rahmen dieser Arbeit mit dem Softwareprogramm „iplan CMF 3.0.3“ (Brainlab, Feldkirchen) nicht möglich.

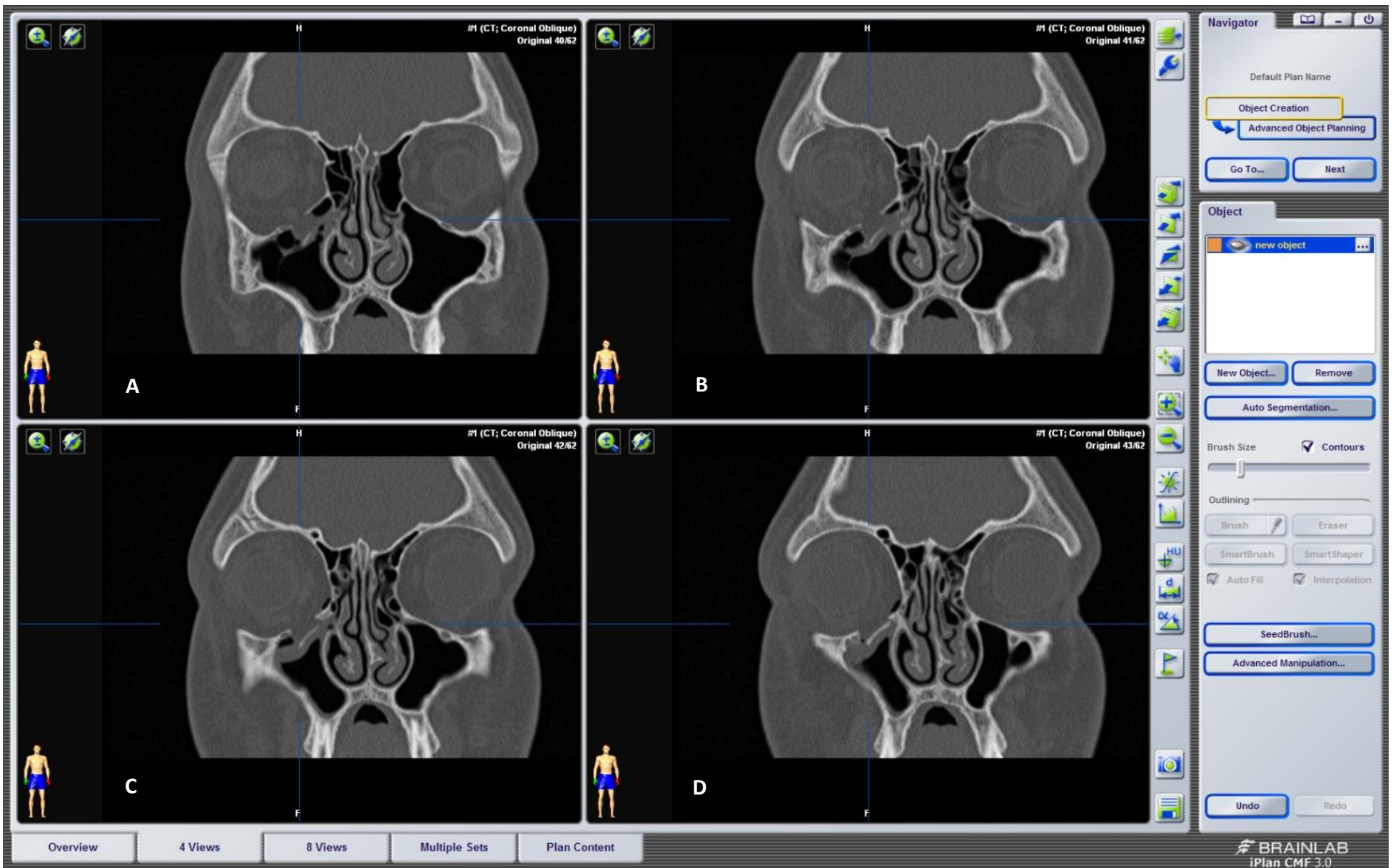


Abb. 30 A-D: Isolierte Orbitabodenfraktur („blowout-fracture“) rechts. Darstellung ohne Markierung des Frakturareals mit „Brush“-Instrument. Sequenzen koronaler CT-Schichten in der Reihenfolge A bis D (A=posterior, D=anterior) mit Darstellung des Defekts.

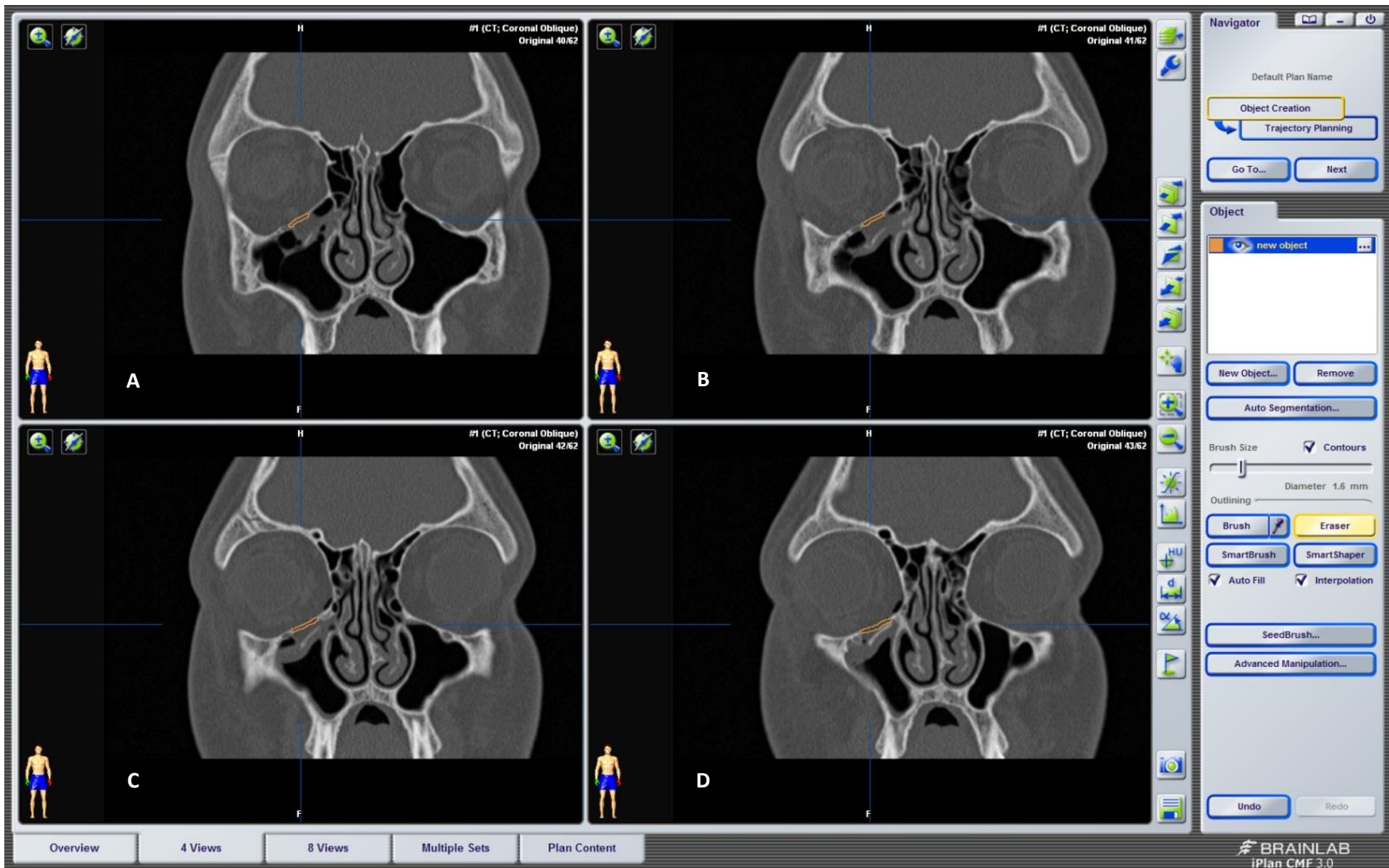


Abb. 31 A-D: Isolierte Orbitabodenfraktur („blowout-fracture“) rechts (Identische koronale CT-Schichten wie in Abb. 30). In jeder der vier Schichten sind die Frakturränder mit dem „brush-tool“ gekennzeichnet und verbunden. Aus der Summe der gekennzeichneten Frakturzonen in den koronalen Schichten wird das Frakturvolumen (=„defect body“) errechnet (A=posterior, D=anterior).

3.2.2 Probleme bei der Vermessung

Typische Probleme bei der Vermessung der Orbitabodenfrakturen und Frakturen der medialen Orbitawand waren Unsicherheiten bei der Bestimmung der Frakturgrenzen, wie etwa bei der Differenzierung zwischen Suturae oder dem Sulcus infraorbitalis und einem Frakturspalt, und sehr ausgedehnte Mittelgesichtsfrakturen. Bei derartigen Frakturen waren die Landmarken teilweise stark verschoben und nur mit hohem Zeitaufwand identifizierbar (**Abb. 32**).

In solchen Problemfällen mussten Anhaltspunkte auf der kontralateralen Seite gesucht und gespiegelt werden, um möglichst genaue Bezugspunkte und Messergebnisse zu erhalten. Erst dann wurden Subregionen, in denen womöglich eine Frakturlinie vorhanden war, zum Ausschluss oder Bestätigung einer Fraktur mit der Gegenseite verglichen.

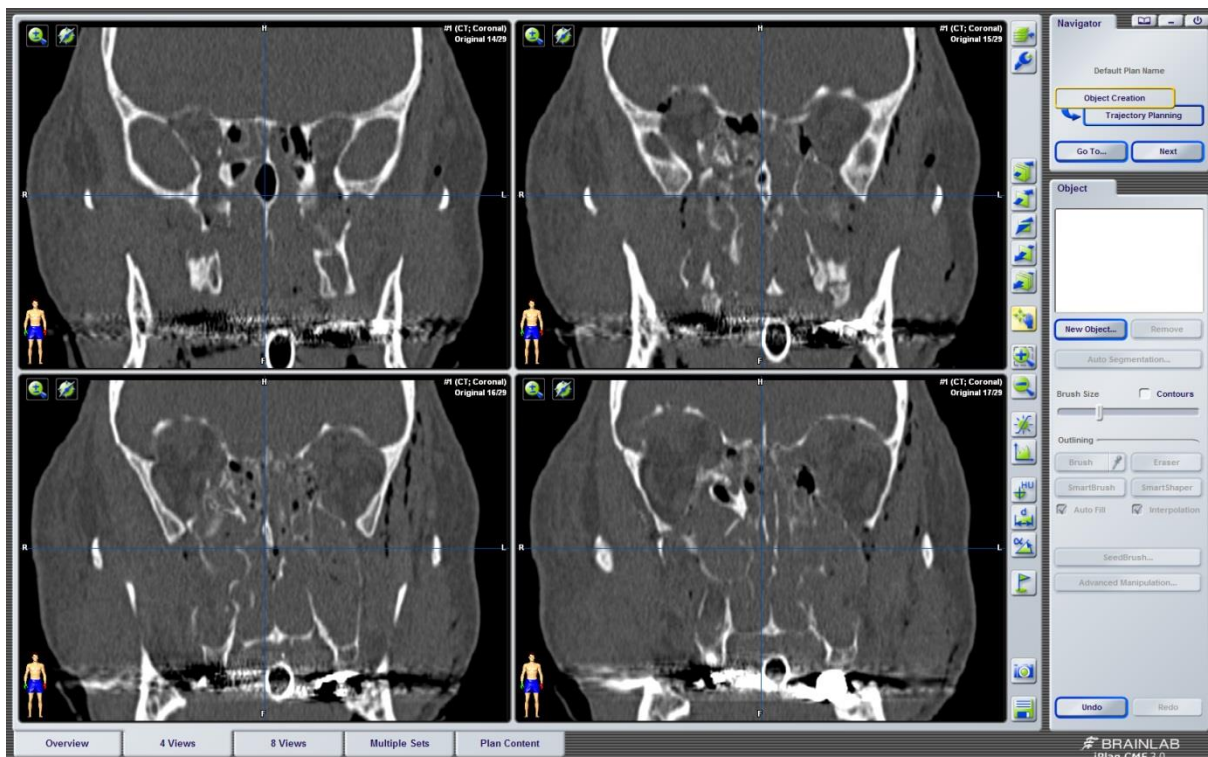


Abb. 32: Koronale CT-Sequenz eines Patienten mit Frakturen vom Le Fort II-Typ und im craniofazialen Übergang - Orbitadachfrakturen rechts und links sowie Kalottenfraktur temporal rechts. Eine Vermessung der Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand konnte nicht vorgenommen werden. Grund: 4-Wand Frakturen beider Orbitae mit extremen Dislokationen ohne Identifikationsmöglichkeit anatomischer Landmarken.

Zudem war die Lagerung des Patienten in der Gantry des Computertomographen nicht immer optimal (z.B. Kopf leicht zur Seite gekippt und nach unten geneigt), sodass die Orbitae oftmals in unterschiedlichen Anschnitten abgebildet wurden. Darum ergaben sich Probleme bei der Spiegelung zur Überlagerung des Orbitabodens bzw. der medialen Orbitawand von der intakten Gegenseite. In solchen Fällen mussten Anhaltspunkte aus nachfolgenden

koronalen Schnitten ermittelt werden. Auch die Ausdehnung leicht dislozierter Frakturen mit nur einem linearen Frakturspalt, war manchmal schwierig zu erkennen und als „defect body“ darzustellen.¹¹¹

Die Software zeigte bisweilen Schwächen beim Berechnen des dreidimensionalen „defect-bodies“: manche Schichten wurden automatisch verknüpft, manche blieben separiert (**Abb. 33**). Dies erforderte eine manuelle Nachbearbeitung, um einen möglichst homogenen Körper zu erhalten.

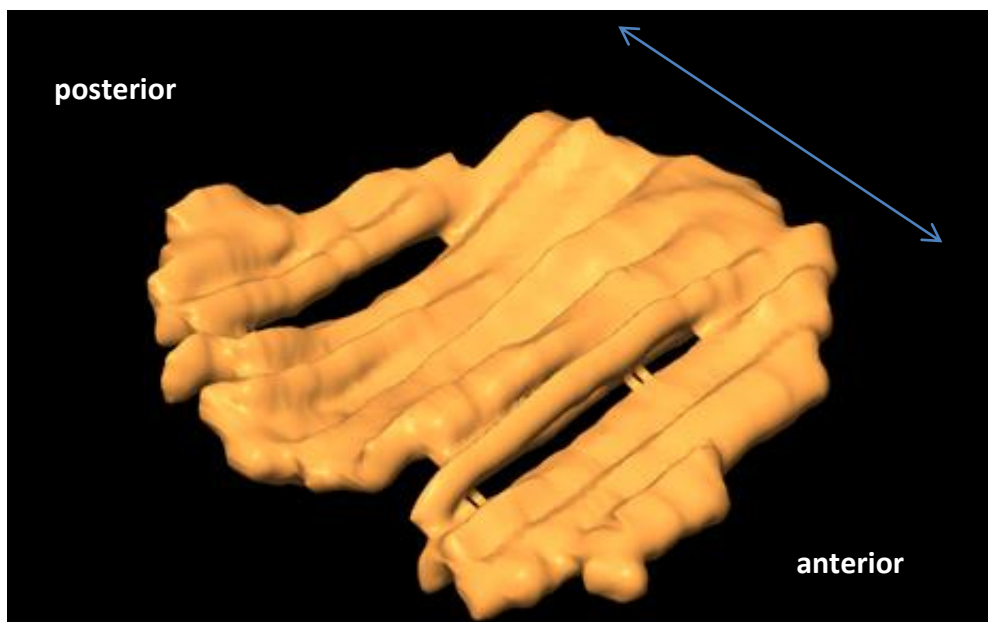


Abb. 33: Inhomogener „defect body“ aus einer Orbitabodenfraktur rechts in der anterioren und Midorbita. Darstellung mit der Software „iplan CMF 3.0.3“ (Firma Brainlab, Feldkirchen). Bei der Nachbearbeitung dieses „defect bodies“ blieb das Frakturvolumen - nach Lückenschluss zwischen den einzelnen koronalen Schichten - annähernd gleich.

Ein Unsicherheitsfaktor bei der Vermessung der Orbitabodenfrakturen scheint die Krümmung des Orbitabodens zu sein, die vor allem mit zweidimensionalen Messmethoden schwierig korrekt darzustellen ist. Im Rahmen einer 2D-ROI-Methode, die Ploder et al. beschrieben, wurde zwar eine Korrekturberechnung (über Kreisbogen und Bogenwinkel) für konkave Verläufe des Orbitabodens angelegt, diese kam allerdings nicht zum Einsatz, da sich der Orbitaboden angeblich meist planar zeigte.¹⁶¹ Dieser Unsicherheit wurde durch die „defect body“-Methode umgangen; gekrümmte Frakturflächen konnten auch als solche wiedergegeben werden.

3.2.3 Statistische Methodik

Die Frakturvolumina und Frakturflächen aus „iplan CMF 3.0.3“ (Brainlab, Feldkirchen) wurden mittels Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA) weiterverarbeitet. Daraus wurden Mittelwerte, Standardabweichungen, Mediane sowie Spannweiten (aus Minima, Maxima) für alle inferioren und medialen Orbitawandfrakturen bestimmt und graphisch dargestellt.

Außerdem wurden die Häufigkeiten der Orbitabodenfrakturen allein und in Kombination mit Frakturen der umliegenden Orbitawände in folgender Reihenfolge ermittelt:

- Orbitabodenfrakturen allein
- Orbitabodenfrakturen kombiniert mit Frakturen der medialen Orbitawand
- Orbitabodenfrakturen kombiniert mit Frakturen der lateralen Orbitawand
- Orbitabodenfrakturen kombiniert mit Frakturen der medialen und lateralen Orbitawände
- Orbitabodenfrakturen kombiniert mit Frakturen der superioren Orbitawand

Zudem erfolgte eine Einteilung nach der Anzahl der frakturierten Orbitawände in:

- 1-Wand Frakturen
- 2-Wand Frakturen
- 3-Wand Frakturen
- 4-Wand Frakturen

In einem weiteren Schritt wurden die Häufigkeiten von Frakturen der medialen Orbitawand und deren Kombinationsmöglichkeiten genauer beschrieben. Eine Unterscheidung erfolgte in:

- Kombination mit Orbitabodenfrakturen
- Kombination mit Frakturen der lateralen Orbitawand
- Kombination mit Frakturen der superioren Orbitawand

Diese wurden analog zur obengenannten Unterteilung in 2-, 3-, 4-Wand Frakturen einsortiert. 1-Wand Frakturen der medialen Orbitawand waren nicht vorhanden, es lagen immer zusätzlich Orbitabodenfrakturen vor.

3.3 Klassifikation der Orbitafrakturen

In der Auswertung der internen Orbitafrakturen mit der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ (in der Originalversion) wurden alle anderen diagnostizierten Frakturen im Mittelgesichtsbereich (Orbita-Ränder sowie NOE-, Le Fort I-III - und Zygomafrakturen, usw.) miteinbezogen und dokumentiert.

Im Unterschied dazu wurden bei der Auswertung nach dem Modifikationsvorschlag zur „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ ausschließlich Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand berücksichtigt und aufgezeichnet.

3.3.1 AO COIAC – Software zur AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene

Die Auswertung nach der Originalversion der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ wurde mit dem Software-Programm „AO Comprehensive Injury Automatic Classifier (AO COIAC) Version 4.0.0“ (AO Foundation, Dübendorf, Schweiz; Marschelke Messtechnik, Reichenau) im „CMF-Module“ vorgenommen.

Voraussetzung zur Bearbeitung war die Anlage einer Datenbank. Die Eingabe von Vor- und Nachname, Geburtsdatum, Nationalität und Geschlecht der Patienten stellten die Basis für einen Identity-Code dar, um spätere Verwechslungen auszuschließen und eine Anonymisierung zu ermöglichen. Aus dem Datum der CT-Aufnahmen und dem Geburtsdatum errechnete das Programm das Alter des Patienten zum Verletzungszeitpunkt.

Im Schaltbereich „injury event“ des Software-Programmes wurde die Verletzung näher beschrieben.

Die Klassifizierung der Frakturmuster wurde dann in einem Programmfenster (**Abb. 34**), in dem die Schemata (Icons) der 3-Präzisions-Level aufgerufen werden konnten, durchgeführt. Neben einem direkten Anklicken zur Markierung der als frakturiert eingestuft Subregionen oder dem Anklicken in einer Übersichtstabelle („check-box Liste“) war das Einzeichnen der Frakturlinien mittels eines Zeichentools möglich.

Aus der visuellen Darstellung des Frakturmusters in den Icons wurde automatisch der alphanumerische „AO Classification Code“ generiert (Vgl. Kapitel **2.6**) und in der Datenbank abgespeichert.

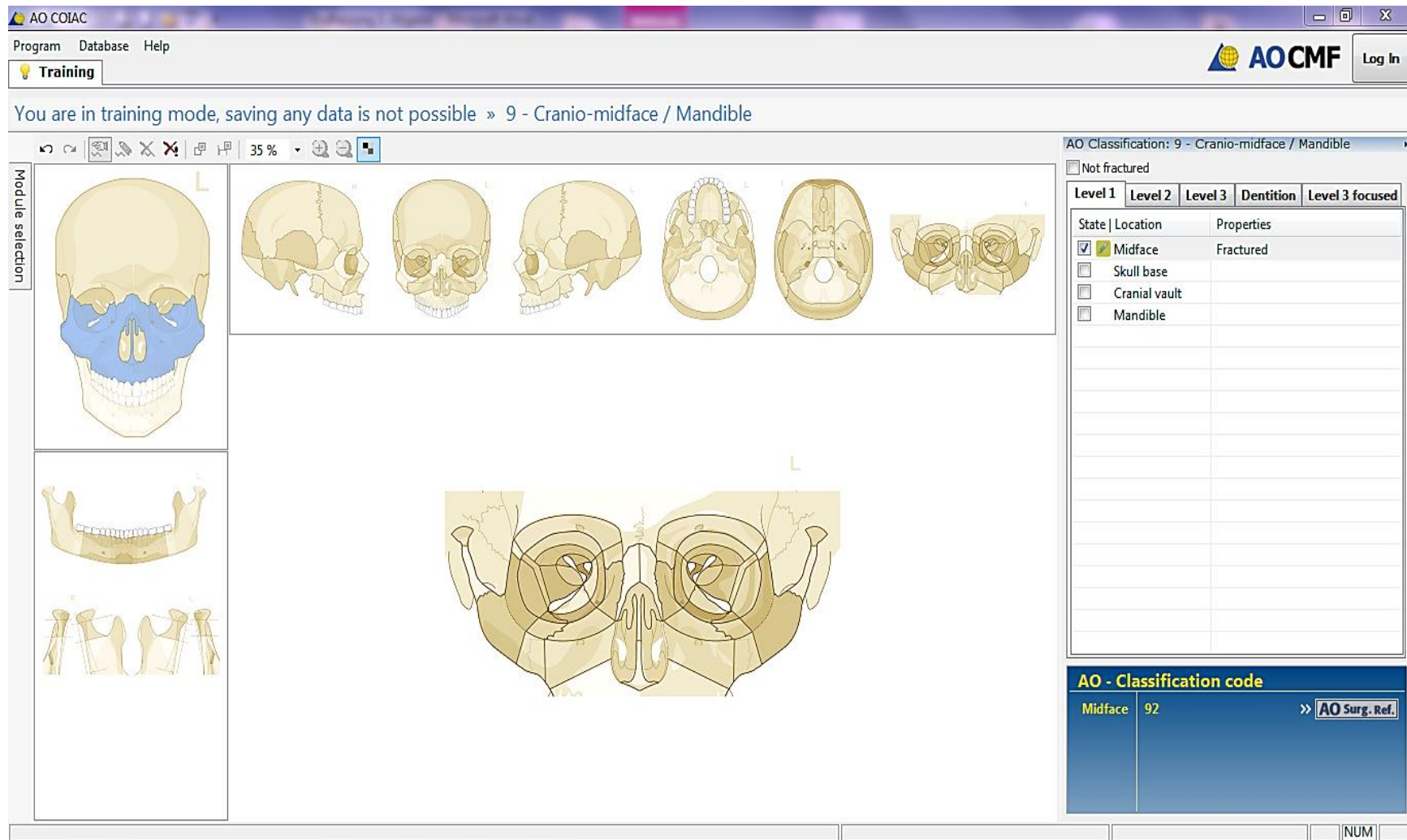


Abb. 34: Programmfenster (AO COIAC 4.0.0) zur Frakturen-Klassifikation mit Icons aller 3 Präzisions-Level: Feld oben links - Präzisions-Level 1 mit blauer Markierung einer Mittelgesichtsfraktur „midface 92“). Obere Reihe: Präzisions-Level 2 Schädelansichten lateral rechts, frontal, lateral links, Schädelbasis außen, innen. Obere Reihe ganz rechts: Präzisions-Level 3 - Orbita und Jochbein - Jochbogen Subregionen. Unten Mitte: Zentrales Fenster - das gerade in Bearbeitung befindliche Icon wird hier in Vergrößerung dargestellt. Feld ganz rechts – Übersichtstabelle („check-box Liste“) zum Anklicken frakturierter Subregionen, Details der Fraktur Morphologie und involvierter Landmarken.

Bedauerlicherweise werden in der bisherigen „AO Comprehensive Injury Automatic Classifier (AO COIAC) Version 4.0.0“ (AO Foundation, Dübendorf, Schweiz; Marschelke Messtechnik, Reichenau) die morphologischen Charakteristika der Frakturareale in der internen Orbita (Präzisions-Level 3) aus den „Drop-Down Menues“ (**Abb. 35**) - „fragmented/not fragmented“, „displaced/non-displaced“ oder „bone loss (defect)/no bone loss“ - weder in den alphanumerischen Code und damit in die Datenbank aufgenommen, noch war die Beteiligung anatomischer Landmarken, wie der „inferior orbital fissure (IOF)“ oder „internal orbital buttress“ (IOB) und sind nur im „Drop-Down Menue“ oder im Präzisions-Level 3 der Übersichtstabelle („check-box Liste“) markierbar.

Level 2	Oi = Orbital inferior wall (left)
	Fractured Undetermined
	Fracture pattern Le Fort III Zygoma en bloc
Level 3	Displacement 0- Non-displaced 1- Displaced
	Involved structures Inferior orbital fissure Internal orbital buttress (anterior orbit) Internal orbital buttress (mid orbit) Palatine bone orbital surface depressed
	Access to more detailed view Open...
Level 2	Os = Orbital superior wall (left)
	Fractured Undetermined
	Displacement 0- Non-displaced 1- Displaced
Access to more detailed view Open...	
Level 2	Ol = Orbital lateral wall (left)
	Fractured Undetermined
	Fracture pattern Le Fort III Zygoma en bloc
Level 3	Displacement 0- Non-displaced 1- Displaced
	Involved structures Inferior orbital fissure Greater wing of sphenoid
	Access to more detailed view Open...
Level 2	Om = Orbital medial wall (left)
	Fractured Undetermined
	Fracture pattern NOE <i>Left side</i> Le Fort III
Level 3	Displacement 0- Non-displaced 1- Displaced
	Involved structures Nasolacrimal duct / lacrimal bone Internal orbital buttress (anterior orbit) Internal orbital buttress (mid orbit) Medial Canthal ligament insertion
	Access to more detailed view Open...
Level 2	Oa = Orbital apex (orbital cone) (left)
	Fractured Undetermined
Level 3	Displacement 0- Non-displaced 1- Displaced
	Involved structures Superior orbital fissure Optic canal
Access to more detailed view Open...	

Abb. 35: Überblick der „Drop-Down Menues“ zur näheren Charakterisierung von Frakturen in den Subregionen der internen Orbita im Präzisions-Level 2 und 3 innerhalb des Software-Programm „AO COIAC 4.0.0“. Einzelheiten zur Morphologie und zusätzlich involvierte anatomische Strukturen können hier angegeben werden. (Quelle: Audigé L et al. 2014 ⁶)

Mit einer „Searching“-Funktion konnte die Patienten-Datenbank nach unterschiedlichen Kriterien eingeteilt bzw. durchsucht werden. Mit einem sogenannten „filter for codes“ konnte angezeigt werden, wie oft ein bestimmter Code vorlag. Die Code-Daten wurden in die Excel-Tabelle aufgenommen und mit den zugehörigen Frakturausdehnungen abgespeichert.

Die Frakturen wurden unter Verwendung des brush-tools der „iplan CMF 3.0.3“-Software gekennzeichnet (**Abb. 36 A-C**) und anschließend unter Verwendung des Icons für Orbitafrakturen (Präzisionslevel-3) der Software „AO Comprehensive Injury Automatic Classifier (AO COIAC) Version 4.0.0“ (AO Foundation, Dübendorf, Schweiz; Marschelke Messtechnik, Reichenau) klassifiziert und in die „AO COIAC“ (MySQL)-Datenbank übertragen (**Abb. 37**).

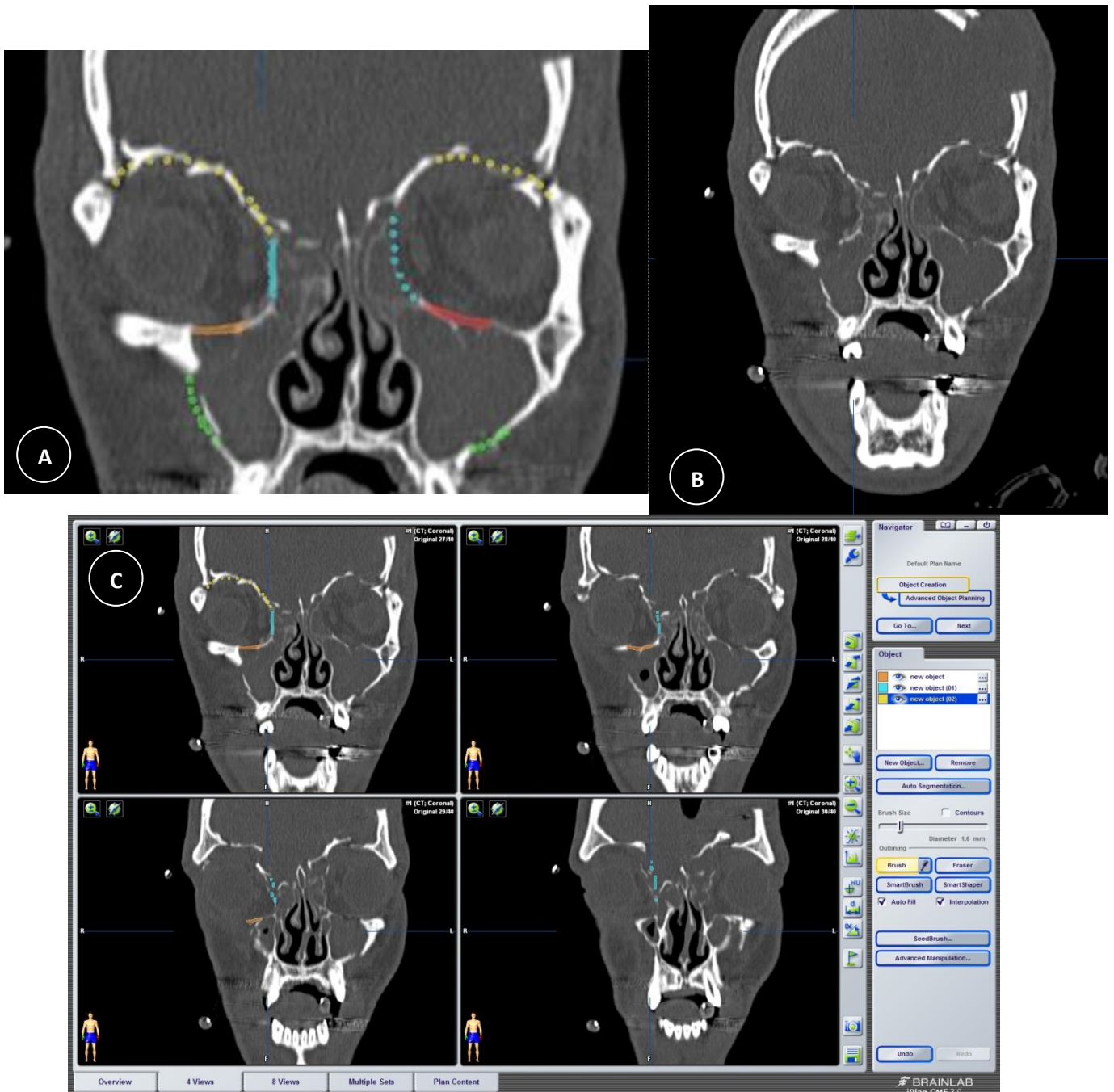


Abb. 36 A-C: CT-Ausschnitt im Software-Programm „iplan CMF 3.0.3“ (**B**) mit manueller, farblicher Markierung (**A**) - vorbereitend für die folgende Klassifizierung mit „AO COIAC 4.0.0“ - von Frakturen des Mittelgesichts und der internen Orbita. Weitere koronale CT-Schichten (**C**) (Quelle: screenshot „iplan CMF 3.0.3“)

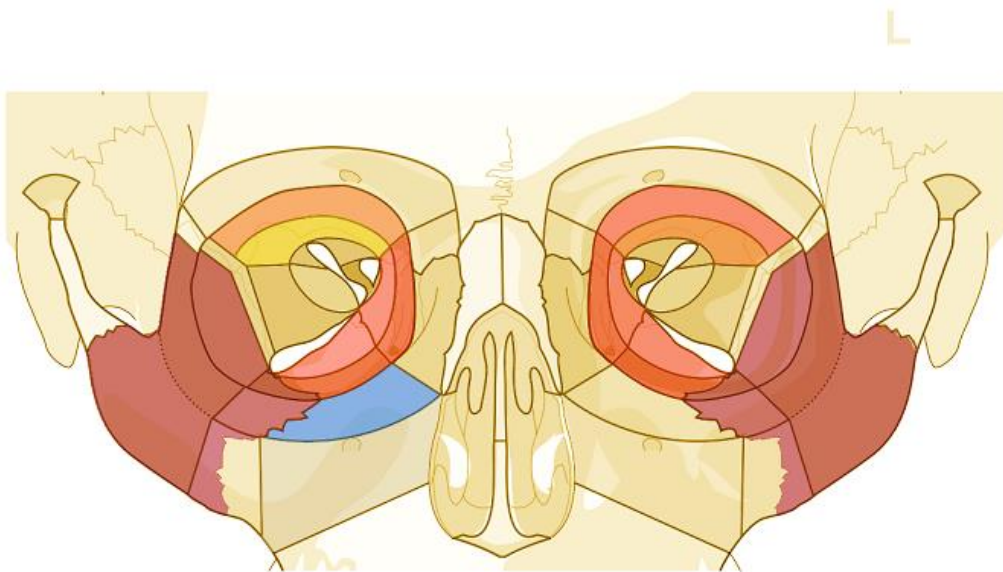


Abb. 37: Icon - Mittelgesicht und Orbitae aus dem Software-Programm „AO COIAC 4.0.0“. Farblich hinterlegt ist das Frakturmuster aus Abb. 36. Es ergibt sich folgender Code: „Midface92 Z.li.Olim.m.Omil.Z (ZEB.m.ZEB) Skull base93 A.Os.m.Os.A O (right)R(li).W1(slim)2(sim) O (left)R(li).W1(slim)2(sim)“ (Quelle: screenshot „AO COIAC 4.0.0“)

3.3.2 Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene zu Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand

Der Modifikationsvorschlag beschränkt sich auf einen kleinen Ausschnitt der neuen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“, nämlich auf die Einteilung von Frakturen im Orbitaboden und der medialen Orbitawand in den Präzisions-Leveln 2 und 3.

Grundlage der Modifikation sind anatomische Landmarken, die teilweise auch in der „AO CMF Klassifikation für Erwachsene“ schon eine Rolle spielen: der „anterior loop“ der „inferior orbital fissure“ dient - hier wie dort - zur Abgrenzung der vorderen Orbita („anterior orbit“) zur Midorbita.

Die „internal orbital buttress“ wird in beiden Einteilungen als die Grenzlinie zwischen medialer und inferiorer Orbitawand definiert, an deren Vorderende sich der Canalis nasolacimalis („nasolacimal canal“ - „NLC“) befindet.

Von maßgeblicher Bedeutung in der vorgeschlagenen Modifikation ist der Verlauf des Canalis infraorbitalis bzw. des Sulcus infraorbitalis. Entsprechend seiner sagittalen Verlaufsrichtung lässt sich der Orbitaboden der Länge nach in mediale und laterale Subregionen teilen.

Nach dem Modifikationsvorschlag werden der Orbitaboden und die mediale Orbitawand folgendermaßen in topographische Subregionen unterteilt (**Tabelle 2.1** und **2.2**).

Aus der Längsteilung des Orbitabodens durch den Canalis infraorbitalis in einen medialen und lateralen Abschnitt sowie die Querteilung in antero-posteriorer Richtung entsprechend der Grenze zwischen anteriorer und Midorbita ergeben sich vier topographische Subregionen:

Medial des Infraorbitalkanals:

- antero-inferior orbital wall, Medial part („aIM“)
- postero-inferior orbital wall, Medial part („pIM“) mit „posterior ledge“ („PLE“)

Lateral des Infraorbitalkanals:

- antero-inferior orbital wall, Lateral part („aIL“)
- „area innominata“

Die Querteilung erfolgt wie in der Original „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ anhand des „anterior loop“ der IOF.

Die „posterior ledge“ („PLE“), die weitestgehend der facies orbitalis des os palatinum gleichzusetzen ist, ist Teil der Midorbita und schließt sich medial des Canalis infraorbitalis

dorsal an die „pIM“ an. Die anteriore Grenze der „PLE“ liegt auf dem Niveau der hinteren (Eintritts-) Öffnung des Sulcus bzw. Canalis infraorbitalis in den Orbitaboden. Computertomographisch wird dementsprechend die koronale Schichtebene als Vordergrenze der „PLE“ verwendet, in welcher der Sulcus/Canalis infraorbitalis zuletzt nachweisbar ist. Posterior reicht die „PLE“ an den dorso-medialen Rand der IOF, welche die inferiore Midorbita in diesem Bereich vom Apex orbitae trennt (siehe **Abb. 38/39**).

Die in der anterioren Orbita lateral des Canalis infraorbitalis gelegene Subregion „aIL“ des Orbitabodens kann in koronalen CT-Schichten hervorragend beurteilt werden. Dorsal davon schließt sich – bereits in der Midorbita lokalisiert - eine weitere sehr kleine Subregion an. Die Distanz zwischen der „anterior loop“ der IOF und der hinteren (Eintritts-) Öffnung des Sulcus bzw. Canalis infraorbitalis in den Orbitaboden ist allerdings sehr kurz, nach Literaturangaben beträgt sie etwa 6,5 mm bei einer Gesamtlänge der IOF von 29,1 mm.⁴⁴ Liegen koronale CTs mit Schichtabständen von 2 mm vor, ist eine Identifikation von Frakturlinien maximal in zwei Schichten möglich. In einigen Computertomographien konnte die inferolaterale Region der Midorbita (**Abb. 38/39**) nicht ausreichend beurteilt werden. Um kenntlich zu machen, dass eine Auswertung unsicher oder nicht regelmäßig möglich sein kann, wurde sie nicht analog der sonstigen Bezeichnungen als „pIL“ für „postero-inferior orbital wall, Lateral part“ bezeichnet, sondern als „area innominata“ benannt.

In der medialen Orbitawand werden zwei Subregionen unterschieden:

- „anterior medial wall“ („aM“)
- „posterior medial wall“ („pM“)

Die hintere Subregion der medialen Orbitawand „pM“ setzt sich in die Apexregion bis an die vordere Öffnung des Canalis opticus fort. Damit gehört „pM“ sowohl zur Midorbita als auch zur „posterior orbit“ bzw. der Apexregion. Aus der anterior-posterioren Dreiteilung der medialen Orbitawand in der Original „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ wird somit eine Zweiteilung.

Als Beteiligung an einer Fraktur des Orbitabodens bzw. der medialen Orbitawand wurde gewertet, wenn Frakturlinien in den genannten Subregionen nachweisbar waren und diese Strukturen lineare, lamelläre oder Defekt-Frakturen bzw. einen „bone loss“ aufwiesen.

Zudem wurden Beteiligungen der „inferior orbital fissure“ („F“), der „internal orbital buttress“ („IOB“), des „nasolacrimal canal“ („NLC“), und des Canalis bzw. der Sulcus des N. infraorbitalis („C“) als die vier relevanten anatomischen Landmarken des Modifikationsvorschlags aufgezeichnet.

Basis für die Codierung der Frakturen im Modifikationsvorschlags waren die oben genannten Abkürzungen, die sofort einprägsam erscheinen: „aIM“, „pIM“, „aIL“, „PLE“, „aM“, „pM“, „IOB“, „C“, „F“, „NLC“.

Im Endeffekt wurde also jede Fraktur der medialen und inferioren Orbitawand nach Topographie und Beteiligung anatomischer Strukturen mit einem Buchstaben-Code versehen. Dieser enthielt keine Unterscheidung der Seiten „rechts“ und „links“. Seitenangaben erfolgten separat zum unilateralen Code als „rechts“/“links“.

Modifikationsvorschlag zur neuen AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene

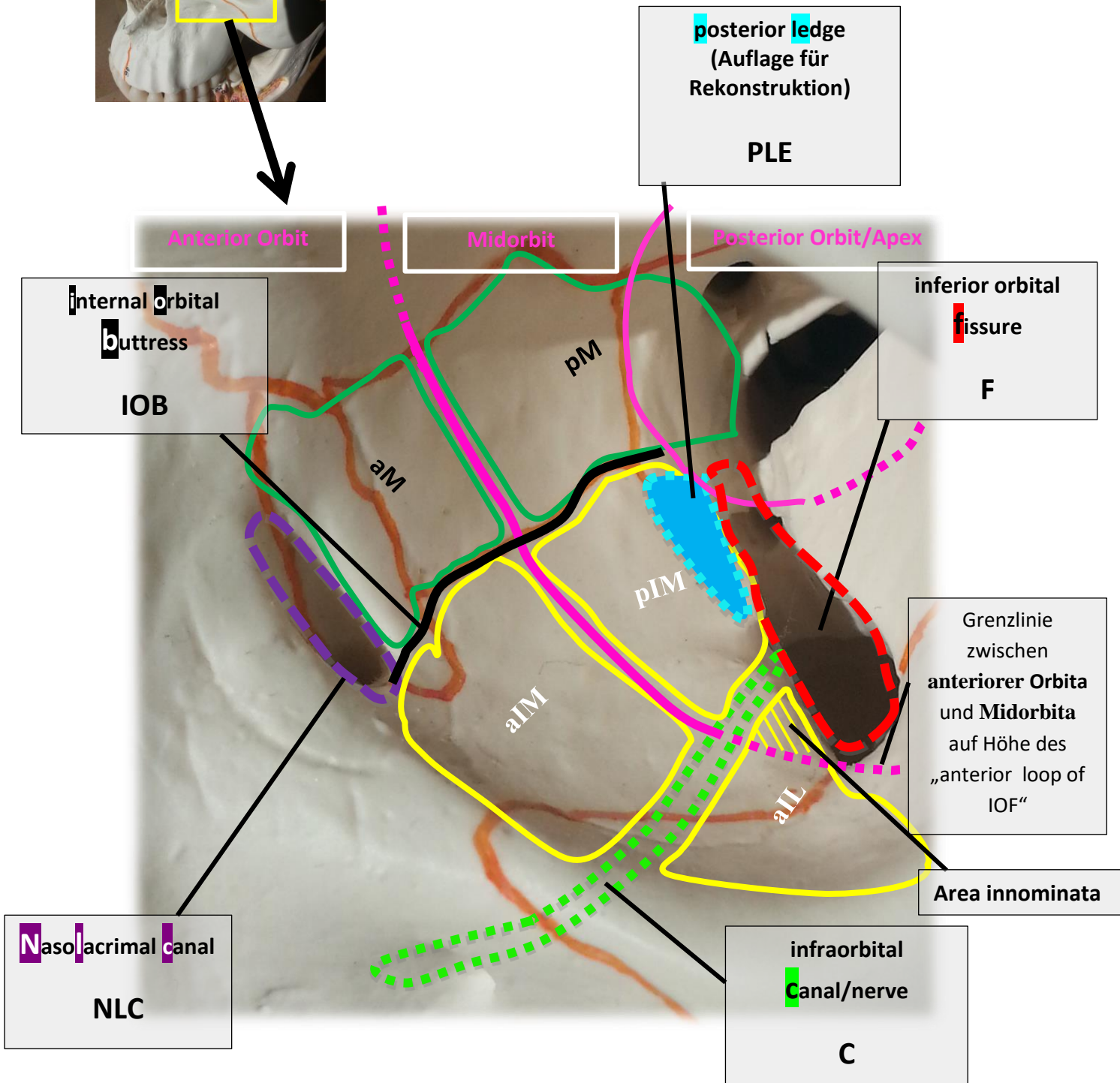
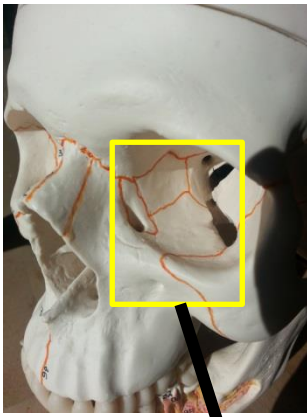


Abb. 38: Inferomediale Orbita links in supero-fronto-lateraler Ansicht. Darstellung der Subregionen und Landmarken des Modifikationsvorschlags zur „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ im Bereich des Orbitabodens (aIM, pIM, PLE und aIL mit einer area innominata) und der medialen Wand (aM und pM). Rosa markiert sind die beiden Grenzlinien zwischen anteriorer Orbita/Midorbita sowie Midorbita/Apex-Region.

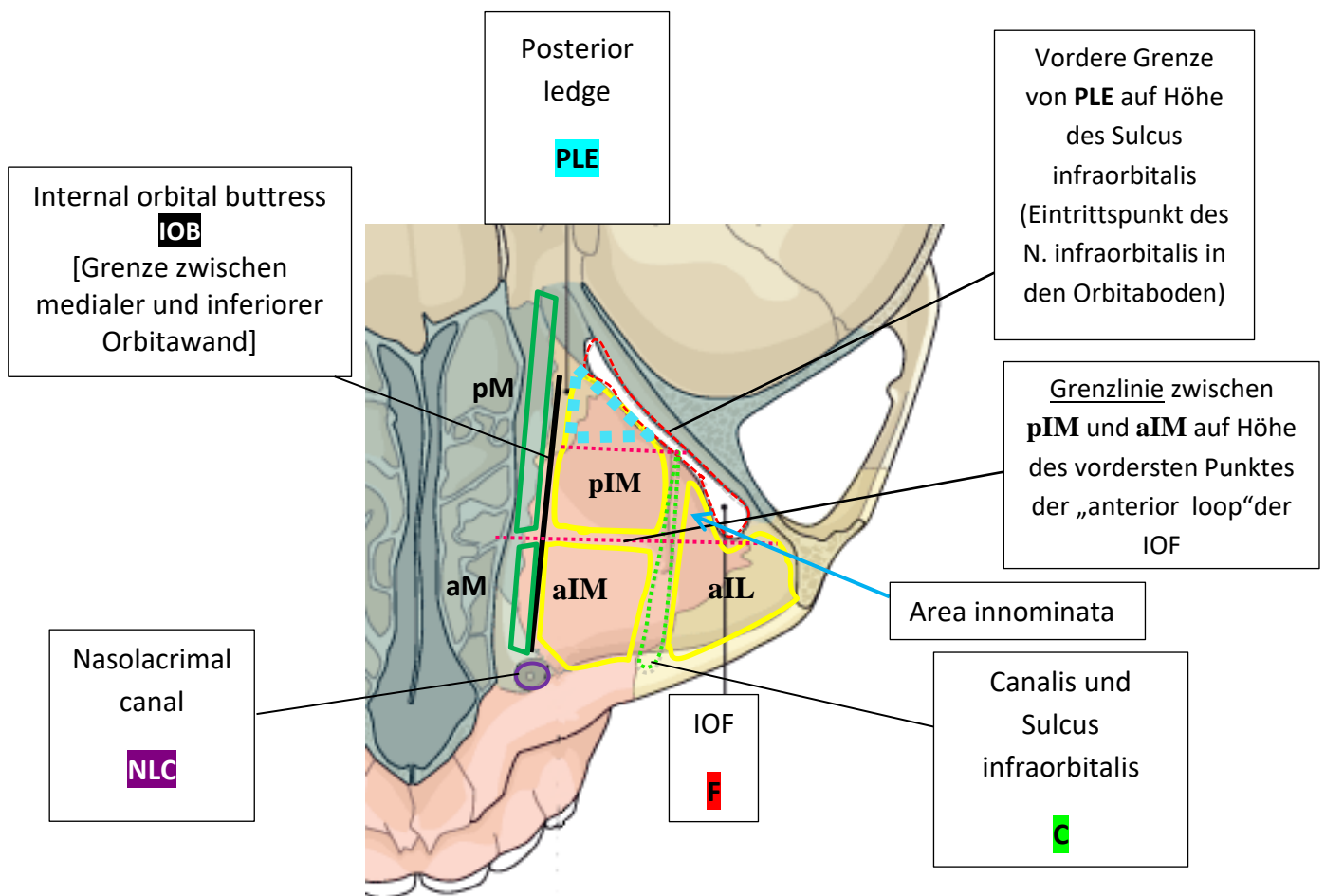


Abb. 39: Schema der inferomedialen Orbitawände von kranial mit Modifikationsvorschlägen zur „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“. Orbitaboden unterteilt in: „aIM“, „pIM“, „PLE“ (posterior ledge) und „aIL“. Rosa-gestrichelte Grenzlinien als Hilfe zur Abgrenzung der Subareale in sagittaler Richtung anhand anatomischer Landmarken: hintere (Eintritts-) Öffnung des Sulcus infraorbitalis in den Orbitaboden zur Identifikation von „PLE“. Vorderster Punkt der „inferior orbital fissure“ („F“) bzw. des „anterior loop“ als Abgrenzung von „aM“ zu „pM“, „aIM“ zu „pIM“ sowie „aIL“ zu „area innominata“. Die mediale Orbitawand ist vom Orbitaboden durch die „internal orbital buttress“ („IOB“) abgegrenzt. Area innominata = Dreieckförmiges Areal zwischen „aIL“, „C“ und „F“ (blauer Pfeil). (Quelle: AO Surgical Reference)

Die Subregionen des Modifikationsvorschlags für die Fraktur-Klassifikation im Orbitaboden und in der medialen Orbitawand (**Abb. 38 und 39**) sind durch im CT gut definierbare anatomische Strukturen abgegrenzt (**Tabelle 2.1 und 2.2**).

Orbital floor (Orbitaboden, inferiore Orbitawand)

Subregion:

aIM = antero-inferior orbital wall, Medial part

Grenzen:

anterior-posterior: (koronares CT) Infraorbitalrand bis auf Höhe der „anterior loop“ der Fissura orbitalis inferior

medial – lateral: (koronares CT) „internal orbital buttress“ bis zum Canalis infraorbitalis

Subregion:

pIM* = postero-inferior orbital wall, Medial part

inkl. **PLE*** = posterior ledge

*(pIM/PLE gehören zur Midorbita)

Grenzen:

anterior-posterior: (koronares CT) „anterior loop“ der Fissura orbitalis inferior bis zur IOF (Sutura maxillo-sphenoidalis). PLE entspricht dem hinteren Teil der pIM und erstreckt sich vom Eintrittspunkt des Sulcus infraorbitalis in den knöchernen Orbitaboden bis zur IOF (Sutura maxillo-sphenoidalis).

medial-lateral: (koronares CT) „internal orbital buttress“ bis zur Fissura orbitalis inferior (PLE hat dorsal dieselben Grenzen)

Kriterium für die Zuordnung
„anterior/posterior“ ist der vorderste Punkt des anterior loop der Fissura orbitalis inferior

Subregion:

aIL = antero-inferior orbital wall, Lateral part

Grenzen:

anterior-posterior: (koronares CT) Infraorbitalrand („zygoma part“) bis auf Höhe der „anterior loop“ der Fissura orbitalis inferior

medial-lateral: (koronares CT) Canalis infraorbitalis bis zur lateralsten Ausdehnung des Orbitabodens (facies lateralis des Os zygomaticum)

Tabelle 2.1: Grenzen und Codes der Subregionen des Orbitabodens nach dem Modifikationsvorschlag zur aktuellen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“.

Medial orbital wall (mediale Orbitawand)

Subregion:

aM = antero medial wall

Grenzen:

anterior-posterior: (koronares CT) Canalis nasolacrimalis (NLC) bis auf Höhe des „anterior loop“ der Fissura orbitalis inferior (korreliert mit dorsaler Abgrenzung des anterioren Orbitabodens und AO CMF Trauma Klassifikation)

inferior-superior: (koronares CT) „internal orbital buttress“ bis zur Sutura ethmoidofrontalis

Subregion:

pM = postero medial wall (Midorbita + Apex)

Grenzen:

anterior-posterior: „anterior loop“ der fissura orbitalis inferior bis zum Apex orbitae (Medialrand des Canalis opticus)

inferior-superior: (koronares CT) „internal orbital buttress“ bis zur Sutura ethmoidofrontalis

Kriterium für die Zuordnung
„anterior/posterior“ ist der vorderste Punkt des „anterior loop“ der Fissura orbitalis inferior

+ Zusätze (anatomische Landmarken)

IOB = internal orbital buttress

C = Canalis infraorbitalis/infraorbital canal

F = Fissura orbitalis inferior/inferior orbital fissure

NLC = nasolacrimal canal/Canalis nasolacrimalis

Tabelle 2.2: Grenzen und Codes der Subregionen in der medialen Orbitawand und anatomische Landmarken nach dem Modifikationsvorschlag zur aktuellen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“.

Die Fraktur-Codes des Modifikationsvorschlags setzen sich aus den von Frakturen betroffenen Subregionen im Orbitaboden und in der medialen Orbitawand und den involvierten anatomischen Landmarken zusammen. Eine Involvierung der Landmarken ist gegeben, wenn Fragmentierung, Dislokationen und Defekte nachweisbar sind. Im Falle des Sulcus/Canalis infraorbitalis wird auch von einer Beteiligung ausgegangen, wenn der Kanal von einer Fraktur eingeschlossen ist und Frakturlinien rechts und links davon auf ein Cracking, eine Kompression oder Dislokation der Kanalwände hinweisen.

Es folgen zwei Beispiele für die Umsetzung der CT-Bildgebung in die Code-Kombinationen des Modifikationsvorschlags „**aIM pIM C PLE**“ (Abb. 40 - 43) und „**pIM aM pM**“ (Abb. 44 - 45).

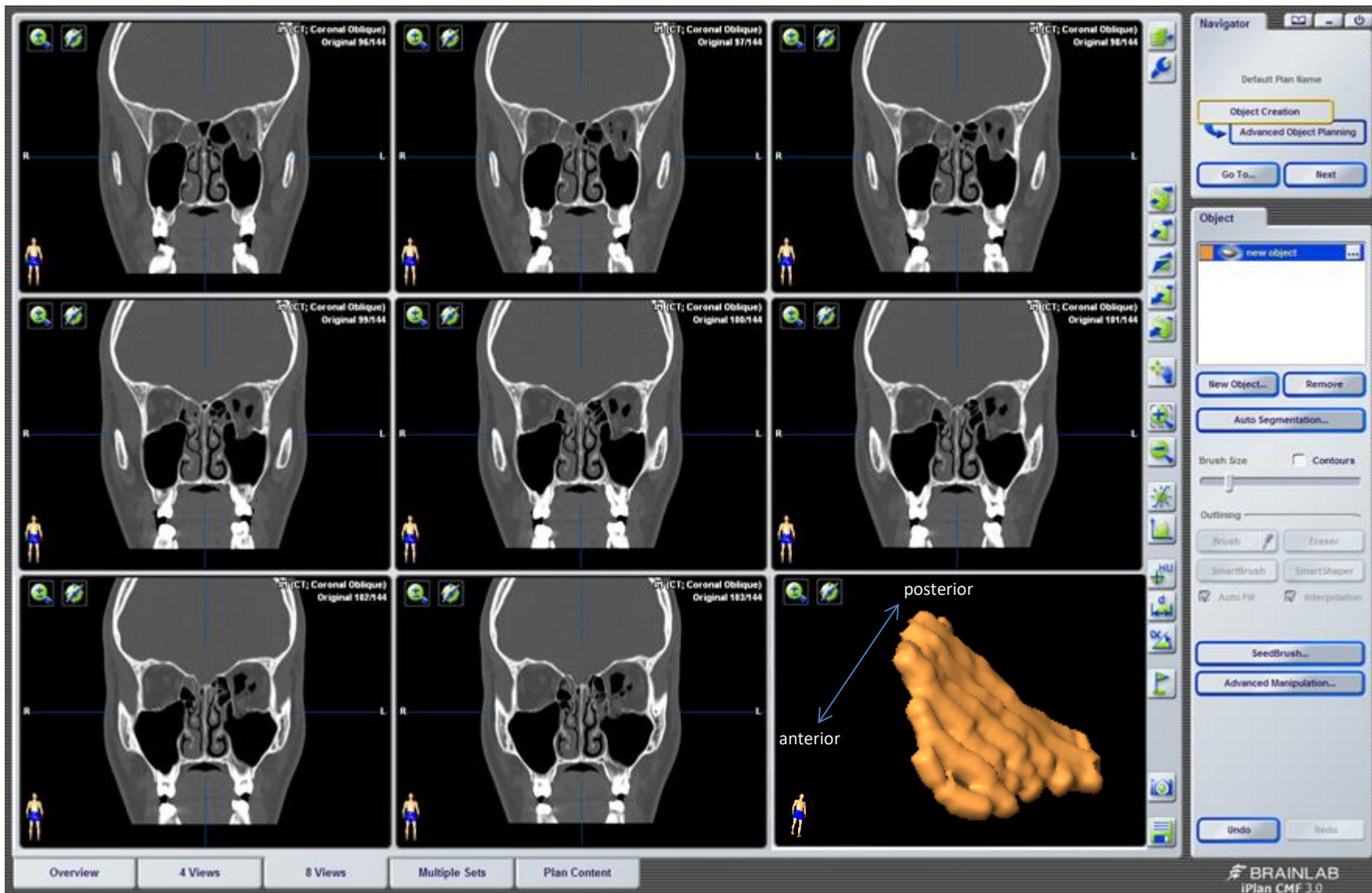


Abb. 40: Isolierte Orbitabodenfraktur links mit der Code Kombination „aIM pIM C PLE“ links – Serie koronaler CTs und „defect-body“. Der Code verschlüsselt eine Defekt-Fraktur des Orbitabodens links, die den medial des Canalis infraorbitalis liegenden Anteil (anterior[„aIM“] und posterior [„pIM“]) betrifft. Der Canalis infraorbitalis („C“) ist direkt in den Defekt involviert. Weiterhin sind Frakturlinien bis in den Bereich der posterior ledge („PLE“) nachweisbar. Der „defect body“ (unten rechts) repräsentiert den Defektbereich im Orbitaboden. Der entsprechende AO CMF Trauma Klassifikations-Code lautet: „Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)“ (Quelle: screenshot iplan CMF 3.0.3).



Abb. 41: Gleiche Orbitabodenfraktur links „aim pIM C PLE“ (orange markiert) wie in Abb. 40 - 3D- „defect body“. Die sagittale Schicht (links unten) lässt die Ausdehnung von der anterioren Orbita bis in den Bereich der „posterior ledge“ erkennen. Der mediale Anteil des Orbitabodens ist von der „IOB“ bis in den Bereich des Canalis infraorbitalis frakturiert (kaudal dislozierte Knochenlamelle und Weichgewebeverlagerung in koronarer/sagittaler und axialer Schichtebene). (Quelle: screenshot iplan CMF 3.0.3).

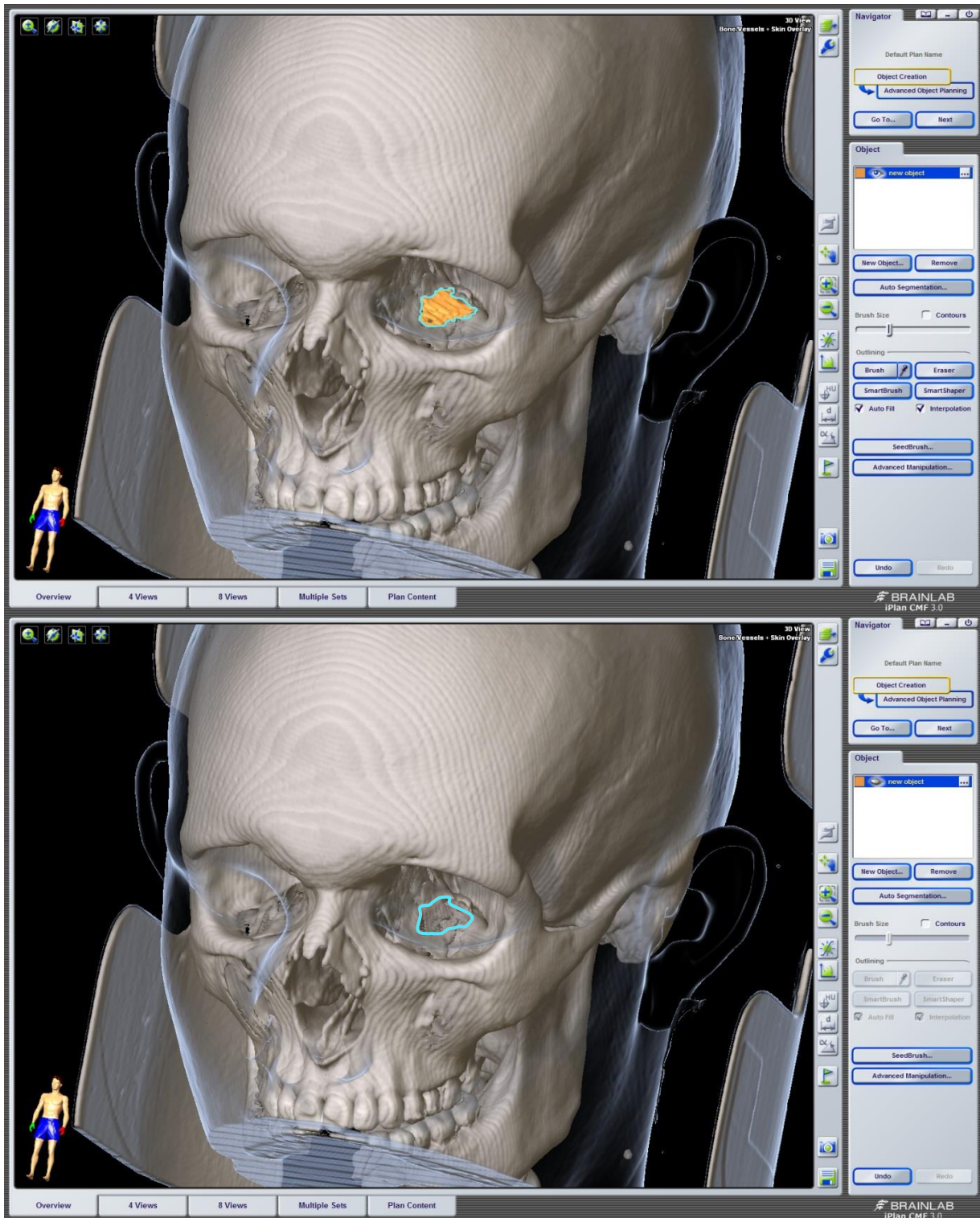


Abb. 42: Gleiche Orbitabodenfraktur links wie in Abb. 40 und Abb. 41 („aim pim C PLE“) - 3D-Darstellung. Der polygonale Defekt erstreckt sich im medialen Orbitaboden von anterior bis nach dorsal an den Hinterrand der „posterior ledge“. Die hintere Öffnung des Sulcus/Canalis infraorbitalis ist in den Frakturbereich eingeschlossen. (Quelle: screenshot iplan CMF 3.0.3)

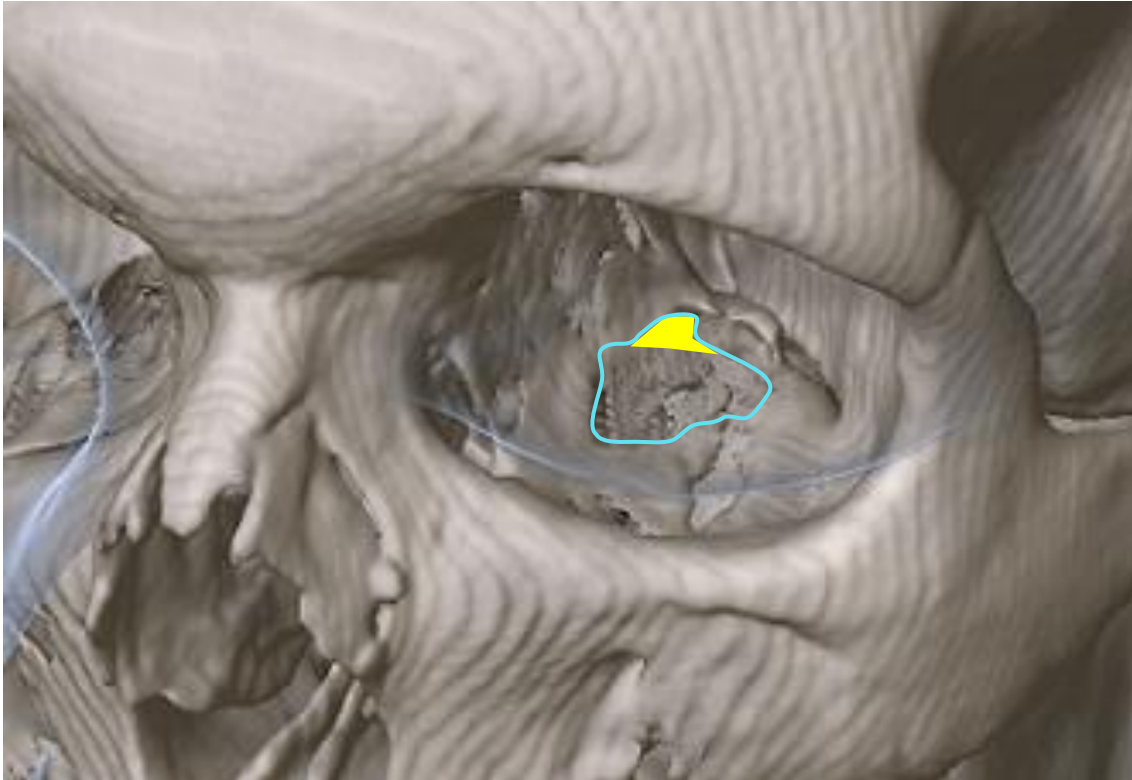


Abb. 43: Gleiche Orbitabodenfraktur links wie in Abb. 40 bis Abb. 42 („aIM pIM C PLE“) 3D-reformierte Darstellung zur Detailerkennung. Der frakturierte Bereich der „posterior ledge“ („PLE“) ist gelb markiert. Die Gesamt-Frakturfläche beträgt ca. 1,6 cm². (Quelle: modifizierter screenshot iplan CMF 3.0.3)

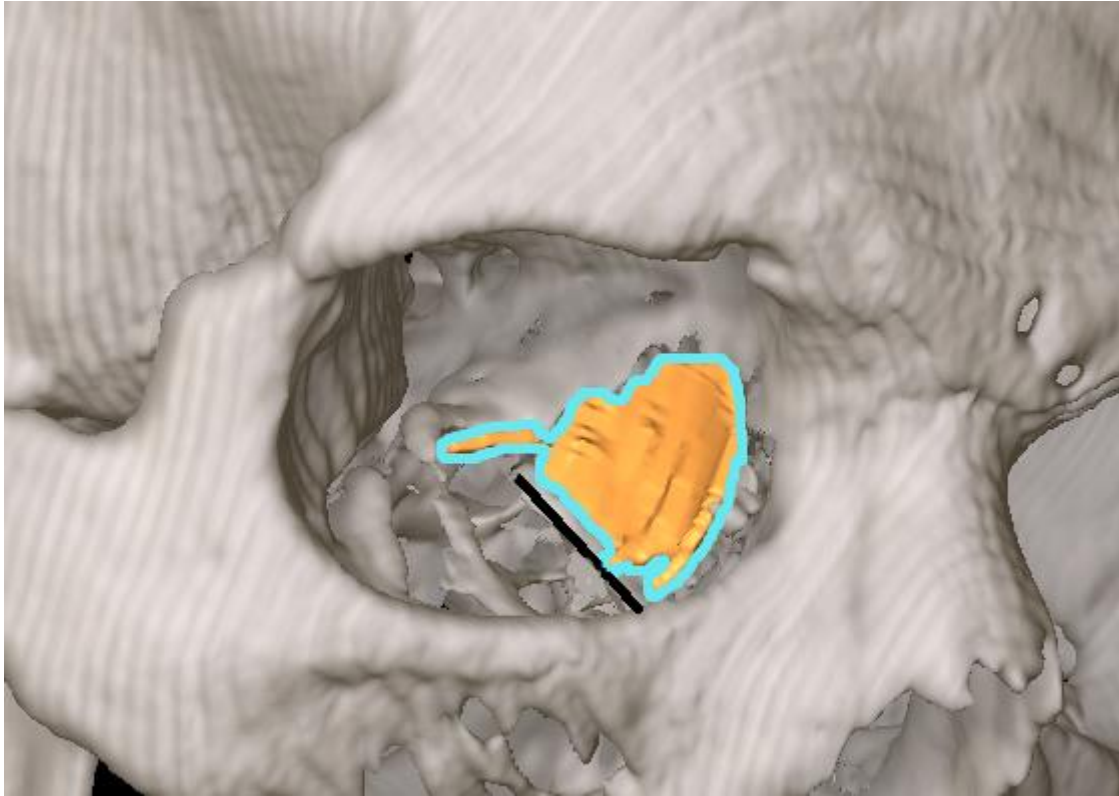


Abb. 44: Seltenes Beispiel einer Fraktur, die sich auf den posterioren Anteil des Orbitabodens rechts („pIM“) sowie auf den anterioren und den Midorbita bzw. posterioren Teil der medialen Orbitawand erstreckt (Code nach Modifikationsvorschlag „**pIM aM pM**“) – 3D-reformatierte Darstellung. Weitere anatomische Strukturen, die einer Zusatzbezeichnung bedürften, sind nicht betroffen. Die schwarze Linie deutet auf den Verlauf der „internal orbital buttress“, die intakt ist. Der AO CMF Trauma Klassifikations-Code für diese Fraktur lautet: „Midface92 Oim.m O (right)W1(m)2(im)“ (Quelle: modifizierter screenshot iplan CMF 3.0.3)

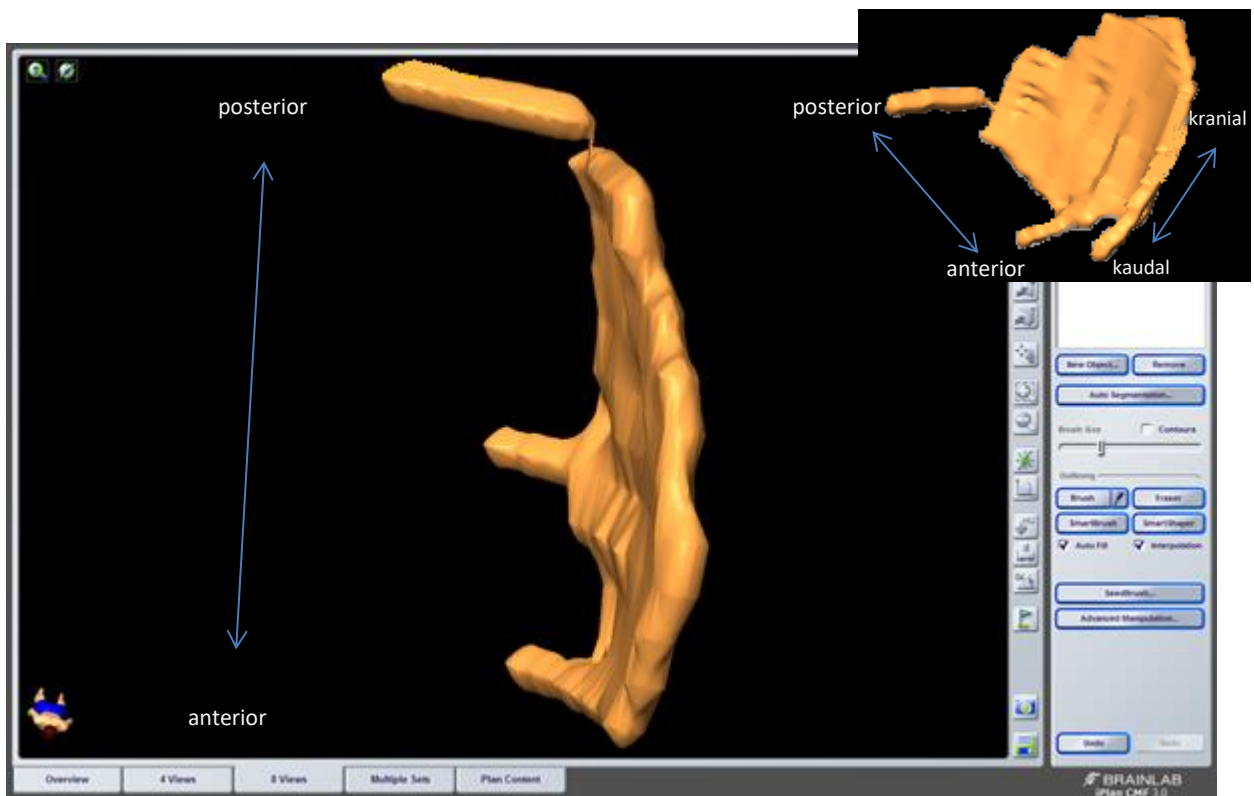


Abb. 45: Gleiche Fraktur der medialen Orbitawand und des postero-medialen Orbitabodens wie in Abb. 44 „**pIM aM pM**“ – „defect body“: Blick von kranial auf den „defect body“ (Orientierungshilfe oben rechts am Bildrand). Die mediale Wand ist relativ plan. Der am oberen Bildrand sichtbare, nach links (bzw. kaudal) abstehende stäbchenförmige Fortsatz des „defect bodies“ erstreckt sich in den posterioren Orbitaboden und führt zur Bewertung mit „**pIM**“ in der Codierungsformel. Die beiden unterhalb bzw. weiter anterior angeordneten Fortsätze ragen in Richtung „internal orbital buttress“ (IOB), die sie jedoch nicht in Lateralrichtung überschreiten. Die Frakturfläche der Orbitabodenfraktur beträgt $0,962 \text{ cm}^2$, die Frakturfläche der medialen Orbitawandfraktur liegt bei $2,544 \text{ cm}^2$.

3.3.3 Unterschiede zwischen AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene und dem Modifikationsvorschlag – Zusammenfassung

Unterschiede zwischen der Original „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ und dem Modifikationsvorschlag ergeben sich in mehreren Punkten (**Abb. 46**). Der Orbitaboden wird im Modifikationsvorschlag zusätzlich unter Bezug auf den Sulcus/Canalis infraorbitalis längsgeteilt, sodass zunächst eine mediale und eine laterale Untereinheit entstehen. Aus der Kombination mit der Untergliederung in anterior-posteriorer Richtung, d.h. in „anterior orbit“ und „midorbit“, resultieren vier bzw. fünf Subregionen - auf der Medialseite des Canalis infraorbitalis „aIM“ und „pIM“, außerdem „PLE“ und auf der Lateralseite „aL“ sowie die area innominata.

In der medialen Orbitawand wurde die bestehende Dreiteilung („W1(m)“, „W2(m)“ und „A(m)“) aus der Original AO CMF Trauma Klassifikation im Modifikationsvorschlag in eine Zweiteilung („aM“, „pM“) umgewandelt. Die Apex-Subregionen der medialen Orbitawand wurden unter „pM“ subsummiert, es erfolgte also eine Vereinfachung der bestehenden Unterteilung.

In den Frakturverlauf involvierte anatomische Landmarken („IOB“, „C“, „F“, „NLC“) werden - im Gegensatz zur Codierung in der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ - im Code des Modifikationsvorschlags aufgeführt und damit einer Auswertung in der Datenbank direkt zugänglich.

Die „posterior ledge“ findet in der Originalversion der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ als „palatine bone orbital surface depressed“ zwar Berücksichtigung als „involved structure“ bei Orbitabodenfrakturen (**Abb. 35**), sie wird aber - anders als in der Modifikation - nicht explizit zur topographischen Einteilung verwendet.

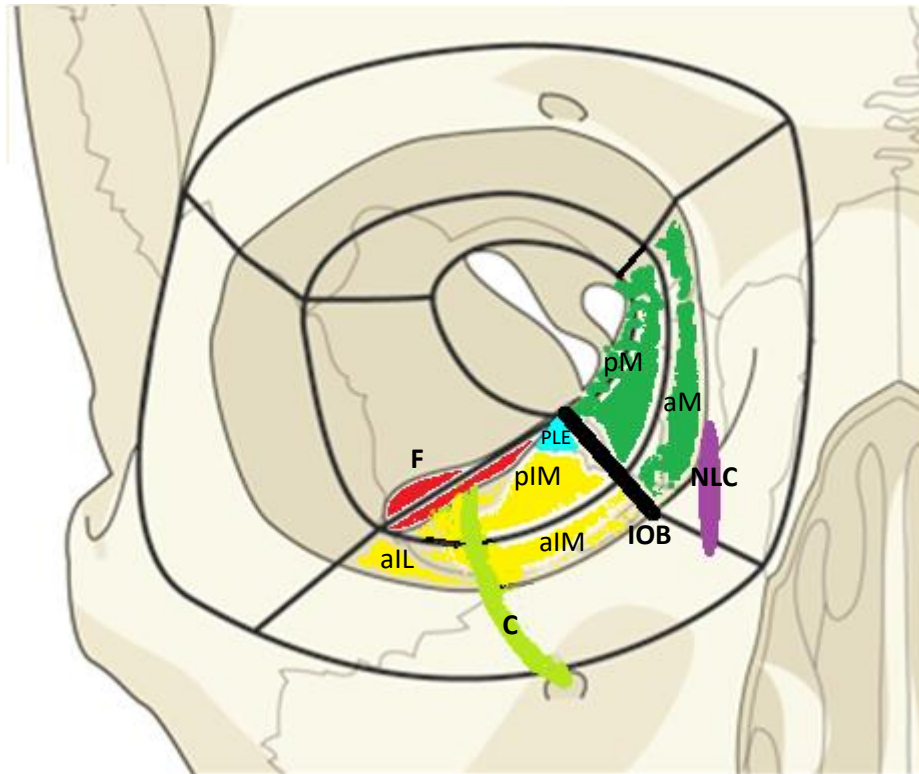


Abb. 46: Überlagerung der Icons/Schemata zu der Klassifikation von Frakturen der internen Orbita – „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ und Modifikationsvorschlag. Der Modifikationsvorschlag unterteilt den Orbitaboden detaillierter („aIM“, „pIM“, „PLE“ und „aL“), die mediale Orbitawand hingegen erfährt eine Vereinfachung („aM“ und „pM“). Involvierte Landmarken werden abgekürzt als „IOB“, „C“, „F“, „NLC“ gekennzeichnet.

3.3.4 Statistische Methodik

Die Ergebnisse der Frakturflächenvermessung wurden deskriptiv-statistisch ausgewertet und beschrieben, ebenso das Vorkommen und die Häufigkeitsverteilung der Frakturmuster nach der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ und dem Modifikationsvorschlag in Form der jeweiligen Codierungs- Formeln.

Um die Größen der Frakturflächen in Zusammenhang mit dem Modifikationsvorschlag und mit der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ zu bringen, kamen schließlich verschiedene inferenz-statistische Verfahren zur Anwendung. Diese Verfahren sollen nachfolgend kurz erörtert werden. Die Statistik erfolgte auf Basis der vermessenen Frakturflächen von Orbitaboden und der medialen Orbitawand (Software „iplan CMF 3.0.3) und wurde mit dem Statistik-Softwareprogramm „R Version 3.1.1“ durchgeführt.

3.3.4.1 Multiple lineare Regressionsanalyse

Das Modell der linearen multiplen Regressionsanalyse eignet sich dazu, verschiedene Einflussgrößen zu determinieren, die ein Ergebnis unterschiedlich beeinflussen können. In diesem Fall wird die multiple lineare Regression auf die Gesamtfrakturflächen der Orbitabodenfrakturen sowie der medialen Orbitawandfrakturen angewandt. So kann – ohne die einzelnen Teilfrakturflächen in den topographischen Subregionen „W1(i)“ und „W2(i)“ bzw. „aIM“, „pIM“, „PLE“ und „aL“ oder „aM“, „pM“ selbst vermessen zu haben – eine mathematische bzw. statistische Abschätzung der unterschiedlichen Teilflächen erfolgen:

Die allgemeine Formel einer multiplen linearen Regression hat folgende Form:

$$\begin{aligned} E(y_i) = y_i &= \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + e_i = \\ &= \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \dots + \beta_p X_{ip} + e_i \quad i= 1, \dots, n \end{aligned} \quad [1]$$

wobei $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ Regressionskoeffizienten heißen. Die unabhängigen Variablen (Einflussgrößen) X_{i1}, \dots, X_{i4} aus Gleichung [1] sind bekannte Größen (entspricht Subregionen „W1(i)“, „W2(i)“ sowie „aIM“, „pIM“, „PLE“, „aL“ des Orbitabodens bzw. „aM“, „pM“ der medialen Orbitawand, die von einer Fraktur betroffen sind oder nicht), mit deren Hilfe und mit den berechneten bzw. geschätzten Regressionskoeffizienten β_i das Ergebnis für die (abhängige) Frakturfläche ($=y$, Zielgröße) vorhergesagt werden kann. β_0 entspricht einer Konstanten und wird im Beispiel-Output (Softwareprogramm „R Version 3.1.1“) als „Intercept“ mit dem Wert 0,8124 bezeichnet (**Tabelle 3**).^{56,57,58,220}

In Bezug auf unsere Untersuchungen im Bereich des Orbitabodens wird Gleichung [1] zu:

$$E(\text{Fläche der Fraktur}) = \beta_0 + \beta_1 \text{aIM} + \beta_2 \text{pIM} + \beta_3 \text{PLE} + \beta_4 \text{aL} + e_i \quad [2]$$

Entsprechend ergibt sich für die mediale Orbitawand:

$$E(\text{Fläche der Fraktur}) = \beta_0 + \beta_1 aM + \beta_2 pM + e_i$$

[3]

```

Regressionsmodell für Orbitaboden ~ aIMf+pIMf+PLEf+aIf
Call:
lm(formula = FlächenabschätzungOrbita ~ aIMf + pIMf + PLEf + aiLf,
    data = dat1)

Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q      Max
-2.2277 -0.6667  -0.1862   0.5175   3.0523

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.8124     0.3215   2.527  0.012617 *
aIMf1        1.1532     0.2519   4.578  1.03e-05 ***
pIMf1        0.6821     0.2370   2.878  0.004624 **
PLEf1        0.6384     0.1966   3.248  0.001454 **
aiLf1        0.5859     0.1740   3.367  0.000983 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.018 on 140 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.2973, Adjusted R-squared: 0.2772
F-statistic: 14.81 on 4 and 140 DF, p-value: 4.097e-10

```

Tabelle 3: Beispiel eines Outputs nach Analyse der Daten durch das „R“-Statistik-Programm.

Unter „Call“ werden die angenommenen Beziehungen der für das Modell wichtigen Daten zueinander nochmals beschrieben (die angewandte Formel [2] also nochmals genannt). „lm(formula...)“ kennzeichnet dabei die Anwendung einer linearen Regression.^{199, 221}

Unter „Residuals“ findet sich ein grober Überblick über die Daten der Residuen. Bei einem guten Modell (bei strenger Linearität) sollte der Median gegen Null gehen sowie 1. und 3. Quartil möglichst symmetrisch um Null liegen. Die Extrema („Min“ und „Max“) sollten weniger als den doppelten Interquartilsabstand von null entfernt liegen (vgl. Boxplots).²²⁶

Schließlich werden die Koeffizienten („coefficients“) detailliert angegeben: „Estimate“ (Schätzung) steht für die beste Schätzung der Regressionskoeffizienten $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$. Der „Std. (=Standard) error“ zeigt das sogenannte „95% Konfidenzintervall“ von „Estimate“ an. 95% der Stichproben liegen in diesem Intervall. Der Wert von „Estimate“ liegt im Intervall von [Estimate – 2 x Std. Error, Estimate +2 x Std. Error].^{56, 215}

„t value“ ist die sogenannte Teststatistik. Hierbei wird überprüft, ob die Variablen x_1, x_2, x_3, x_4 Einfluss auf die Vorhersage des Ergebnisses haben oder nicht. „Pr(>|t|)“ stellt den P-Wert

für den T-Test (Signifikanzniveau) dar. Die Signifikanz-Legende in der darunterliegenden Zeile („signif. codes“) erklärt, wie signifikant die Werte für „aIM“, „pIM“, „PLE“ und „aL“ sind. Je niedriger der P-Wert, desto signifikanter sind die Werte.^{57, 215}

„Multiple R-squared“ ist das Bestimmtheitsmaß. „Adjusted R-squared“ (korrigiertes R^2 (=Varianz²)) ist das korrigierte Bestimmtheitsmaß (zwischen 0 und +1) und definiert als das Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten. Dieser Koeffizient ist wiederum ein Maß dafür, wie stark der lineare Zusammenhang zwischen den Variablen ist. Er schwankt zwischen -1 und +1. Das Bestimmtheitsmaß ist hingegen immer positiv. Ist das Bestimmtheitsmaß 0, hängen die Variablen überhaupt nicht linear voneinander ab.^{57, 215} Je größer das Bestimmtheitsmaß, desto besser ist der lineare Zusammenhang zwischen Einfluss- und Ergebnisgrößen.

„F-statistic“ ist die sogenannte Prüfgröße oder F-Test. Im Beispiel (**Tabelle 3**) besitzt sie 4 Zählergrade (Parameter) und 140 Nennergrade (Freiheitsgrade). Die Zahl 140 ergibt sich aus der Differenz der Anzahl der Datensätze (145 Frakturflächen) und der Anzahl der Parameter (4 + „intercept“).

„p-value“ ist der sogenannte P-Wert (Signifikanzniveau). Wäre nur eine Variable im Modell der linearen Regression vorhanden (z.B. „aIM“), wären „Pr(>|t|)“ und „p-value“ identisch und der F-Test könnte durch den T-Test („Pr(>|t|)“) ersetzt werden.²²⁶

3.3.4.2 Normalverteilung der Residuen

Voraussetzung für eine multiple lineare Regressionsanalyse ist die Normalverteilung der Residuen. Graphisch kann dies anhand eines „Normal Q-Q-Plots“ (Quantile-Quantile-Plot) überprüft werden. Ein Quantil ist ein „Schwellenwert“, dazu gehören z.B. Quartile. Grundgedanke dieses Plots ist: wenn die Verteilung eines Merkmals in zwei Gruppen identisch ist, dann gilt dies auch für die Verteilung der Quantile.¹⁹⁹ Die gemessenen Quantile (hier: tatsächlichen Frakturgrößen) werden dabei an der y-Achse angetragen, die zu erwartenden (theoretischen) Werte hingegen auf der x-Achse. Liegen die Werte annähernd auf einer Geraden, ist von einer Normalverteilung auszugehen. Mittels dieser graphischen Darstellung können bereits „Ausreisser“-Werte identifiziert werden. Diese können ebenfalls im „residuals versus fitted“ beobachtet werden.^{56, 57, 58}

3.3.4.3 Residuals versus fitted

In jeder Regressionsanalyse müssen nach der Schätzung der Zusammenhänge auch die Modellannahmen überprüft werden (Residuen-Plot).²⁰⁷

Zum einen ist dies die Annahme, dass der Zusammenhang zwischen y und x genähert linear ist. Die Fehler sollen unkorreliert sein, Erwartungswert 0 und konstante Varianz 2 haben. Dass die Fehler normalverteilt sind, wird durch die „Normalverteilung der Residuen“ geprüft.

Mit dem Plot „residuals versus fitted“, also der Residuen R (Schätzfehler) gegen die vorhergesagten Werte wird überprüft, ob ein systematischer, nicht erfasster Trend in den Residuen vorhanden ist.^{222, 223} Die Werte liegen in einem Streudiagramm (engl. „scatter plot“ oder Tukey-Anscombe-Diagramm¹⁹¹) gleichmäßig, asymmetrisch verteilt um eine Linie (ungefähr parallel zur X-Achse verlaufend, Steigung gegen 0), die sich der Geraden $R = 0$ („residuals“, Ausreisser) annähern sollte.²²⁴ Ebenso sollten keine Ausreisser auftreten (Werte über/unter „residuals“ = $+2/-2$). Sind Ausreisser vorhanden, sind diese (in unseren Modellen mit Nummern) gekennzeichnet. Ausreisser bedeuten in unserer Studie, dass Frakturflächen in der Realität um $+/-2$ größer/kleiner waren, als sie durch das Regressionsmodell vorhergesagt wurden.

3.3.4.4 Scale location

Die „scale location“ ähnelt dem Vorgehen bei „residuals versus fitted“, nur dass nun nicht mehr die Residuen sondern die wurzeltransformierten absoluten Residuen gegen vorhergesagte Werte dargestellt werden.²²⁴ Eine im Diagramm verlaufende Linie (siehe Ergebnisteil) zeigt, ob die Varianz der Residuen einigermaßen homogen ist. Ausreisser stimmen meist mit denen des Plots „residuals versus fitted“ überein.

3.3.4.5 Box und whiskers plot

Die einzelnen Parameter (Subregionen „aIM“, „pIM“, „PLE“ und „aL“) werden nun genauer untersucht. Die mittleren Frakturflächen, die entstehen, wenn eine Subregion („aIM“, „pIM“, „PLE“ oder „aL“) frakturiert ist, werden den mittleren Frakturflächen von Subregionen ohne Fraktur gegenübergestellt. Dies geschieht mit Hilfe von „box and whiskers plots“. Sie stellen in unserer Untersuchung die Frakturflächen mit ihrem Median, den 1. und 3. Quartilen und den sogenannten „SD-Outliers“ dar. Die Breite der rechteckigen „Box“ der unterschiedlichen Kriterien (0 und 1) der Variablen x zeigt an, wie viele Fälle erfasst sind. Breitere „Boxes“

bedeuten eine größere Anzahl an Beobachtungen wie die schmälere „Boxes“ (**Diagramm 1**). Die Höhe der „boxes“ entspricht der Verteilung der mittleren 50% (= Interquartilsabstand des 1. und 3. Quartils) der Zielgröße (hier Fläche der Frakturen). Die sogenannten „whiskers“ (Antennen) haben meist die Länge eines 1,5-fachen Interquartilsabstandes (IQR) bzw. enden am maximalen bzw. minimalen Wert der Zielgröße (Maximum/Minimum). Werte, die darüber hinaus liegen, werden als milde „outliers“ (Ausreisser) bzw. – wenn der 3-fache IQR überschritten wird – als extreme Ausreisser bezeichnet. Verbindet man den höchsten und niedrigsten Wert des Plots, erhält man die Spannweite.^{57, 58, 191} Die Mittelwerte sind nicht eingezeichnet, können aber mittels Hilfslinien (rot) angedeutet werden (entsprechen der Mitte der „Box“-Höhe). Die Differenz der Mittelwerte ist der „Estimate“-Wert, um den die mittlere Frakturfläche zunimmt, wenn eine topographische Subregion (wie hier „aIM“) als frakturiert eingestuft wurde.

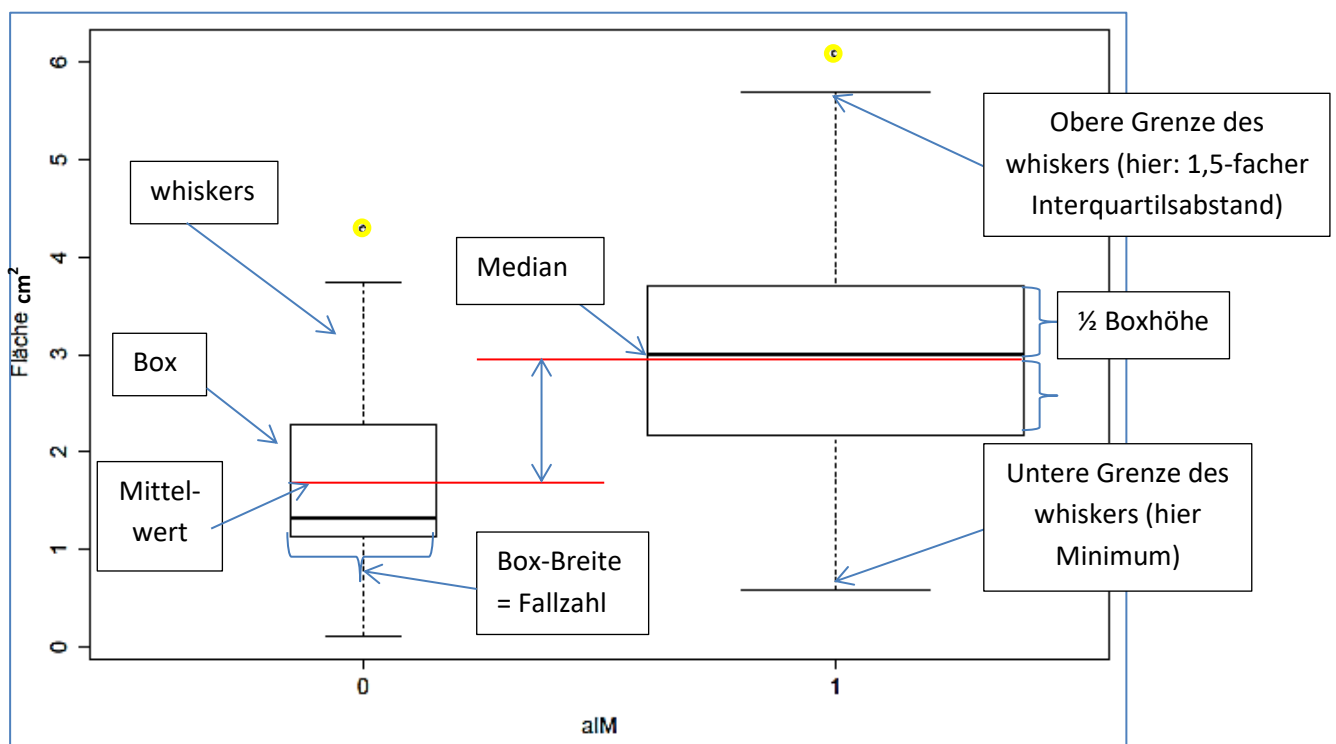


Diagramm 1: Beispiel eines „Box and whiskers plots“ (hier für „aIM“). Kennzeichnung der „box“, „whiskers“ mit oberer und unterer Grenze, Median, Mittelwert (rote Linien), Fallzahl (=Boxbreite) und mit milden Ausreißern (gelbe Markierung).

4. Ergebnisse

4.1 Flächen-Ausdehnung von Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand

In jedem der 137 untersuchten CT-Datensätze war mindestens eine isolierte Orbitabodenfraktur vorhanden. In 31 Datensätzen lagen zusätzlich Frakturen der medialen Orbitawand vor. Mit dem „defect-body“-Verfahren wurden ausschließlich diese Frakturen des Orbitabodens und der medialen Wand vermessen.

Nach schweren Traumata fanden sich weitere Frakturen der internen Orbita im Bereich der lateralen Wand und des Orbitadachs, deren Topographie zwar registriert, aber deren Flächen nicht vermessen wurden.

In den 137 DICOM-Datensätzen von n=137 Patienten fanden sich n=145 Orbitabodenfrakturen. Der Orbitaboden war in 67 Datensätzen unilateral rechts, in 62 Datensätzen unilateral links und in 8 Datensätzen bilateral betroffen.

In 31 Datensätzen von n=31 Patienten waren zusätzlich n=34 Frakturen der medialen Orbitawand anzutreffen: 15 unilateral rechts, 13 unilateral links, 3 bilateral.

Der Altersdurchschnitt aller Patienten (n=137) betrug 43,5 Jahre (Range: 16,9 Jahre bis 89,5 Jahre) bei einer Geschlechterverteilung von n=39 weiblich zu n=98 männlich.

4.1.1 Orbitabodenfrakturen

Von den 145 untersuchten Orbitabodenfrakturen waren n=77 Fälle 1-Wand und n=68 kombinierte (≥ 2 -Wand) Verletzungen.

Dabei kamen folgende n=68 Frakturkombinationen (**Diagramm 2**) vor in Form von:

- 2- Wand Frakturen:

- Zusätzliche Fraktur (nur) der medialen Wand n=23
- Zusätzliche Fraktur (nur) der lateralen Wand n=32
- Zusätzliche Fraktur (nur) der superioren Wand (Orbitadach) n=1

- 3- Wand Frakturen:

- Zusätzliche Frakturen der medialen und lateralen Wände n=10
- Zusätzliche Frakturen der superioren und lateralen Wände n=1

- 4- Wand Frakturen:

- Zusätzliche Frakturen der medialen , lateralen und superioren Wände n=1

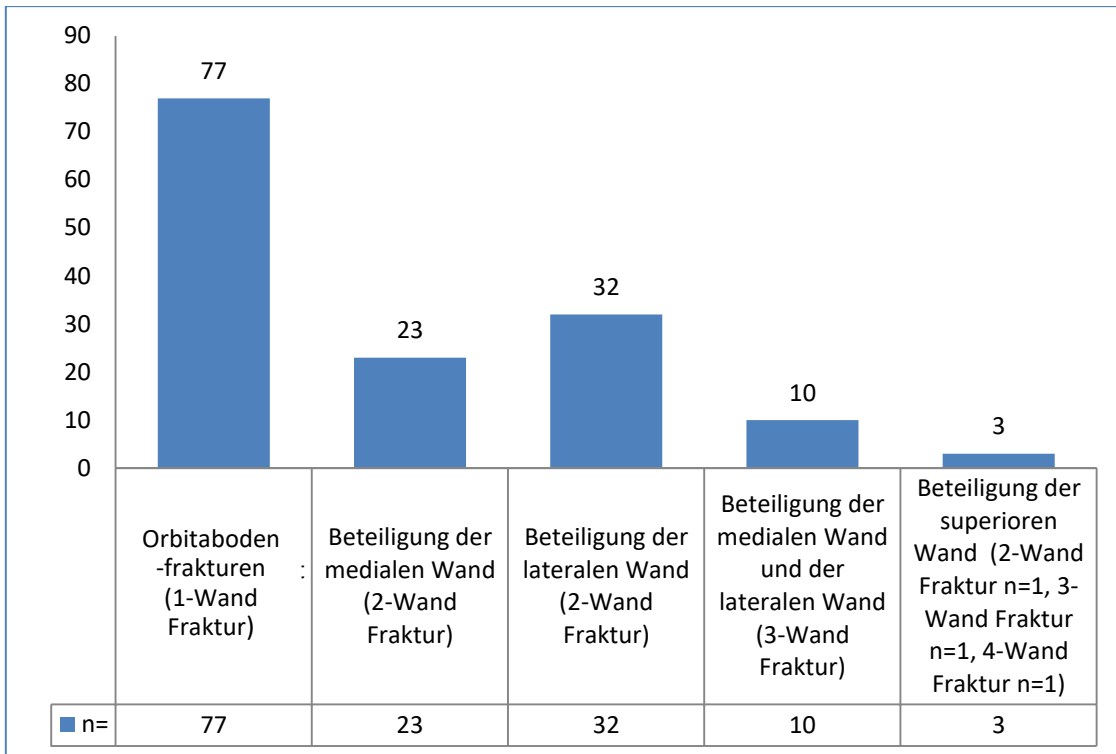


Diagramm 2: Orbitabodenfrakturen (Gesamtzahl n=145). 1-Wand Frakturen (Orbitabodenfrakturen) und Frakturkombinationen als 2-Wand, 3-Wand sowie 4-Wand Frakturen. (Weitere Details vgl. Tabelle 10 in 8. Anhang)

Der **Mittelwert mit Standardabweichung der Volumenbestimmung** aller 145 Orbitabodenfrakturen nach dem „defect body“-Verfahren betrug **0,449 +/- 0,189 cm³**. Der **Median** lag bei **0,491 cm³**. Das **Maximum** belief sich auf **0,913 cm³**, das **Minimum** auf **0,017 cm³**. Als **Spannweite** ergab sich somit **0,896 cm³** (**Diagramm 3**).

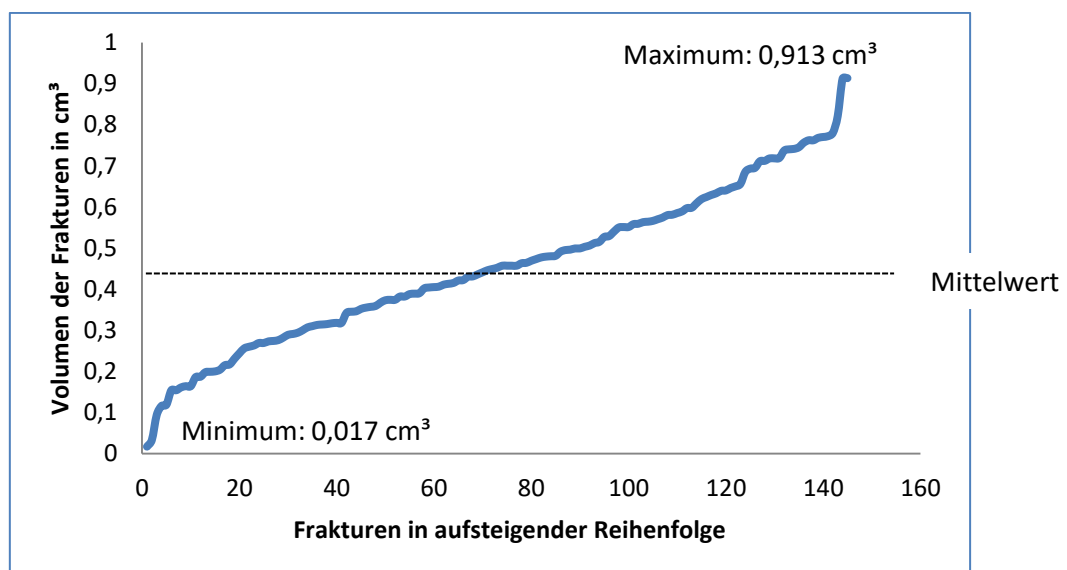


Diagramm 3: „Volumina“ der Orbitabodenfrakturen in [cm³] (n=145) - Messung nach dem „defect-body“-Verfahren. Darstellung sämtlicher Werte vom Minimum 0,017 cm³ bis zum Maximum 0,913 cm³. Die gestrichelte Linie zeigt den Mittelwert von 0,449 +/- 0,189 cm³

Aus den Volumina errechneten sich folgende Werte für die Frakturflächen im Bereich des Orbitabodens (**Diagramm 4**):

Mittelwert: $2,86 \text{ cm}^2 \pm 1,19 \text{ cm}^2$

Median: $3,07 \text{ cm}^2$

Standardabweichung: $1,19 \text{ cm}^2$

Maximum: $6,09 \text{ cm}^2$

Minimum: $0,11 \text{ cm}^2$

Spannweite: $5,98 \text{ cm}^2$

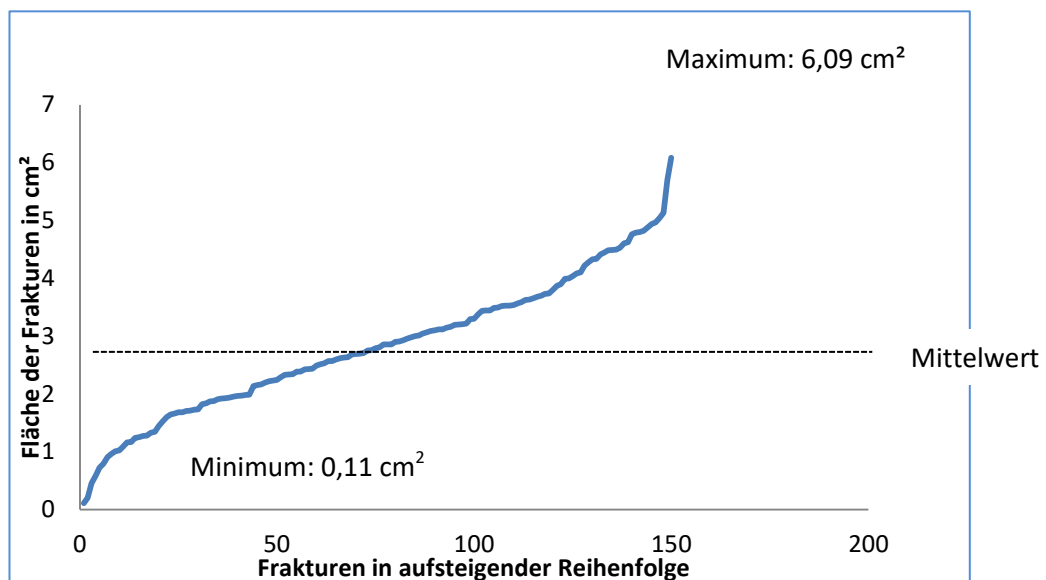


Diagramm 4: Flächen der Orbitabodenfrakturen in [cm^2] (n=145) – Berechnung aus den Volumina (Vgl. Diagramm 3). Darstellung sämtlicher Werte vom Minimum $0,11 \text{ cm}^2$ bis zum Maximum $6,09 \text{ cm}^2$ bei einem Mittelwert von $2,86 \pm 1,19 \text{ cm}^2$.

Für Orbitabodenfrakturen (**1-Wand Frakturen**) (n=77), deren Anzahl sich aus n=46 isolierten Orbitabodenfrakturen und n=31 Orbitabodenfrakturen mit Kombinationen von weiteren Mittelgesichtsfrakturen zusammensetzt, fanden sich folgende Flächenmaße:

Mittelwert	2,93 +/- 1,05 cm²
Median	2,98 cm ²
Standardabweichung	1,05 cm ²
Maximum	5,70 cm ²
Minimum	0,73 cm ²
Spannweite	4,97 cm ²

Isolierte Orbitabodenfrakturen (n=46) zeigten Flächenausdehnungen von **2,94 +/- 0,98 cm²**.

Für Orbitabodenfrakturen in Kombination mit weiteren Frakturen der internen Orbita ergaben sich folgende Flächen [cm²] für den Orbitaboden (vgl. **Diagramm 5**):

- **2-Wand Frakturen**

– Orbitaboden in Kombination mit medialer Orbitawand (n=23):

Mittelwert	3,04 +/- 1,53 cm²
Median	3,49 cm ²
Standardabweichung	1,53 cm ²
Maximum	6,09 cm ²
Minimum	0,11 cm ²
Spannweite	5,97 cm ²

– Orbitaboden in Kombination mit lateralen Orbitawand (n=32):

Mittelwert	2,40 +/- 1,14 cm²
Median	2,08 cm ²
Standardabweichung	1,15 cm ²
Maximum	5,04 cm ²
Minimum	0,21 cm ²
Spannweite	4,83 cm ²

– Orbitaboden in Kombination mit superiorer Orbitawand (n=1): **0,91 cm²**

Für 2-Wand Frakturen (n=23+32+1=56) ergibt sich insgesamt ein Mittelwert mit einer Standardabweichung von **2,63 +/- 1,37 cm²** für Frakturflächen im Orbitaboden.

• **3-Wand Frakturen**

– Orbitaboden in Kombination mit medialer und lateraler Orbitawand (n=10):

Mittelwert	3,41 +/- 0,90 cm²
Median	3,19 cm ²
Standardabweichung	0,90 cm ²
Maximum	4,97 cm ²
Minimum	2,22 cm ²
Spannweite	2,75 cm ²

– Orbitaboden in Kombination mit superiorer und lateraler Orbitawand (n=1):

Wert: **4,53 cm²**

Bei 3-Wand Frakturen (n=11) zeigten insgesamt durchschnittliche Frakturflächen von **3,51 +/- 0,92 cm²** für den Orbitaboden.

- **4-Wand Fraktur**

– Orbitaboden in Kombination mit superiorer, medialer und lateraler Orbitawand (n=1):

Wert: **3,56 cm²**

Orbitabodenfrakturen in Kombination - unter Beteiligung der superioren Orbitawand (n=3) (Im Einzelnen: 2-Wand Fraktur (Orbitaboden + superiore Orbitawand) n=1, 3-Wand Fraktur (Orbitaboden + laterale Orbitawand + superiore Orbitawand) n=1, 4-Wand-Fraktur n=1) fanden sich folgende Werte:

Mittelwert	3,00 +/- 1,53 cm²
Median	3,56 cm ²
Standardabweichung	1,53 cm ²
Maximum	4,53 cm ²
Minimum	0,91 cm ²
Spannweite	3,62 cm ²

Zusammenfassend lagen Orbitabodenfrakturen assoziiert mit der medialen Orbitawand insgesamt n=34 mal, mit der lateralen Wand n=44 mal und assoziiert mit der superioren Wand n=3 mal vor (Kombinationen wie oben aufgelistet).

Orbitabodenfrakturen/mediale Orbitawandfrakturen in Assoziation mit Jochbeinfrakturen traten insgesamt n = 44-mal auf. Die Frakturfläche im Orbitaboden lag dann bei **2,70 +/- 1,10 cm²** (Range: 0,21 – 5,04 cm²).

Gegenteilig zu isolierten Orbitabodenfrakturen (n=46) lagen Orbitabodenfrakturen assoziiert mit weiteren Mittelgesichtsfrakturen n=99 mal vor und verzeichneten eine mittlere Frakturfläche von **2,83 +/- 1,28 cm²** (Range: 0,11 – 6,09 cm²).

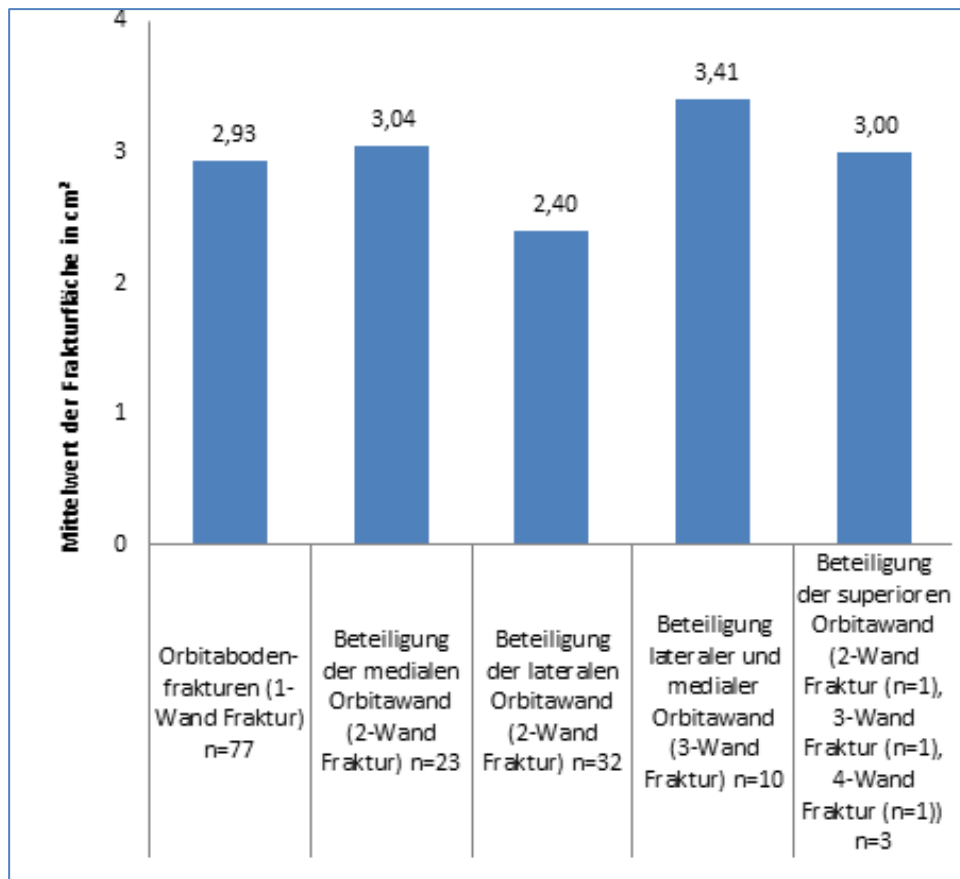


Diagramm 5: Mittelwerte der Frakturflächen des Orbitabodens (n=145) in [cm²] bei 1-Wand Verletzungen und bei Frakturkombinationen mit Involvierung von insgesamt 2 Wänden (medial oder lateral), 3 Wänden (medial und lateral) sowie der superioren Orbitawand (mit bis zu 4 involvierten Wänden). (Weitere Details vgl. Tabelle 10 in 8. Anhang)

4.1.2 Frakturen der medialen Orbitawand

Für die n=34 Frakturen der medialen Orbitawand ergaben sich folgende Werte in der Volumenbestimmung der „defect bodies“ (**Diagramm 6**):

Mittelwert: 0,370 +/- 0,226 cm³

Median: 0,322 cm³

Standardabweichung: 0,226 cm³

Maximum: 0,868 cm³

Minimum: 0,049 cm³

Spannweite: 0,819 cm³

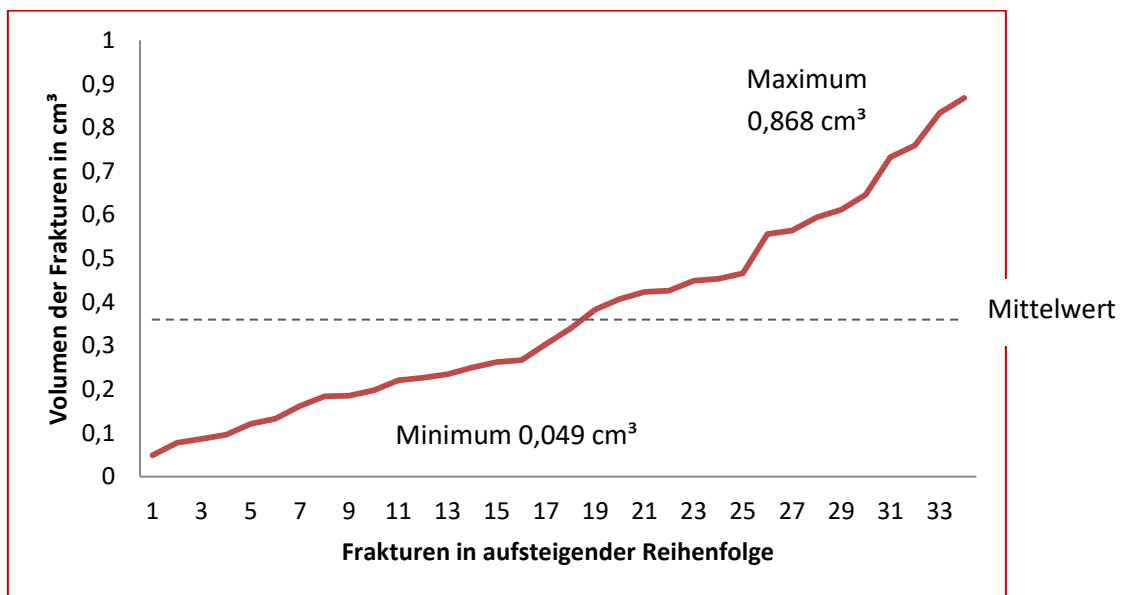


Diagramm 6: „Volumina“ bei Frakturen der medialen Orbitawand in [cm³] (n=34) – Messung nach dem „defect-body“-Verfahren. Darstellung sämtlicher Werte vom Minimum 0,049 cm³ bis zum Maximum 0,868 cm³. Die gestrichelte Linie zeigt den Mittelwert (0,370 +/- 0,226 cm³).

Aus der Volumenbestimmung ergaben sich folgende Flächenwerte für Frakturen der medialen Orbitawand (**Diagramm 7**):

Mittelwert	2,27 +/- 1,39 cm²
Median	1,96 cm ²
Standardabweichung	1,39 cm ²
Maximum	5,43 cm ²
Minimum	0,29 cm ²
Spannweite	5,14 cm ²

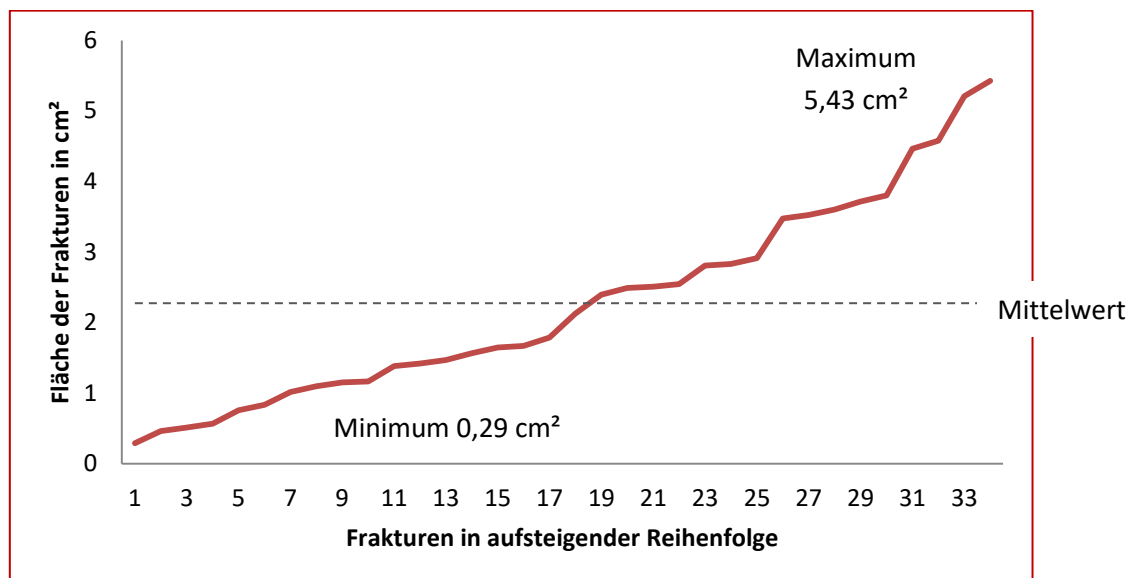


Diagramm 7: Flächenwerte der medialen Orbitawandfrakturen in [cm²] (n=34) – Berechnung aus den Volumina (vgl. Diagramm 6). Darstellung sämtlicher Werte vom Minimum 0,29 cm² bis Maximum 5,43 cm² bei einem Mittelwert von 2,27 +/- 1,39 cm² (kleinste Frakturfläche links, größte Frakturfläche rechts).

Die Frakturen der medialen Orbitawand (n=34) kamen nicht isoliert, sondern nur kombiniert in Form von Mehr-Wandfrakturen (≥ 2-Wand) der internen Orbita (vgl. **Diagramm 2**) vor.

Bei diesen Kombinationen ließen sich für die Frakturen der medialen Orbitawand folgende Flächenwerte [cm²] berechnen (vgl. **Diagramm 8**):

- **2-Wand Frakturen**

– Mediale Orbitawand in Kombination mit Orbitaboden (n=23):

Mittelwert	2,31 +/- 1,28 cm²
Median	2,40 cm ²
Standardabweichung	1,28 cm ²
Maximum	5,43 cm ²
Minimum	0,29 cm ²
Spannweite	5,14 cm ²

- **3-Wand Frakturen**

– Mediale Orbitawand in Kombination mit Orbitaboden und lateralen Orbitawand (n=10):

Mittelwert	1,88 +/- 1,33 cm²
Median	1,44 cm ²
Standardabweichung	1,33 cm ²
Maximum	4,58 cm ²
Minimum	0,46 cm ²
Spannweite	4,12 cm ²

- **4-Wand Fraktur**

– Mediale Orbitawand in Kombination mit Orbitaboden, lateralen Orbitawand und Orbitadach (n=1):

Wert:	5,21 cm²
--------------	----------------------------

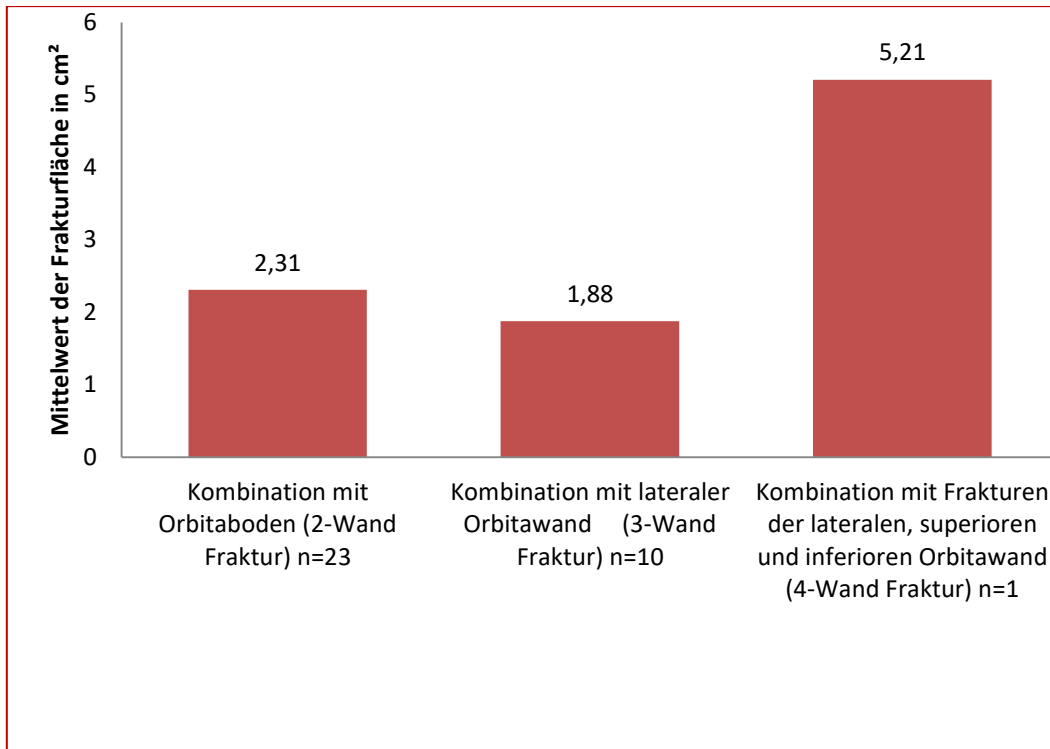


Diagramm 8: Mittelwerte der Frakturflächen der medialen Orbitawand (n=34) in [cm²] bei 2-Wand Frakturen (Kombination mit Orbitabodenfraktur) und bei Frakturkombinationen mit Involvierung von insgesamt 3 Wänden (inferior und lateral) und 4 Wänden (inferior, superior und lateral).

4.2 Systematische Einteilung und Codierung von Frakturen der internen Orbita nach der neuen AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene

Die CT-Bildgebung der 137 Datensätze mit 145 Orbitaboden- und 34 medialen Orbitawandfrakturen wurde schrittweise und systematisch in Reihenfolge der Präzisions-Level 1, 2 und 3 auf die Lokalisation/Topographie, etwaige Kombinationen/Assoziation mit weiteren Schädelskelett-verletzungen – Mandibula ausgenommen – und ggf. auf die sog. Fraktur-Morphologie (Fragmentierung, Dislokation, Knochendefizite) untersucht.

4.2.1 Präzisions-Level 1

Knöcherne Verletzungen, wie die Frakturen der internen Orbita werden im Präzisions-Level 1, je nach Lokalisation und beteiligter Nachbarstrukturen in ein aus 3 Hauptkategorien bestehendes, elementares, anatomisches Raster des Schädelskeletts (sog. „Principal Bones“) eingeordnet (vgl. 2.5, **Abb. 21**):

n=129 Frakturen (=89%), die Orbitawandfrakturen beinhalteten, wurden lediglich als „Midface92“-Frakturen eingeordnet.

n=6 Orbitawandfrakturen (=4%) konnten „Midface92“- mit „Cranial Vault94“ und n=3 Orbitawandfrakturen konnten „Midface92“ mit „Skull Base93“-Frakturen (=2%) zugewiesen werden.

n=8 Orbitawandfrakturen (=6%) wurden einem kombinierten Frakturmuster aus „Midface92“, „Skull Base93“ und „Cranial Vault94“ zugeordnet.

Da alle untersuchten Datensätze Orbitabodenfrakturen aufwiesen, wurden sie immer (n=145) als „Midface92“ Frakturen eingestuft.

4.2.2 Präzisions-Level 2

Im Präzisions-Level 2 werden Mittelgesichtsfrakturen nach Involvierung der darin aufgeführten anatomischen Subregionen (zentral und/ oder lateral) klassifiziert (Vgl. 2.5, **Abb. 23**). Frakturen der internen Orbita werden im Präzisions-Level 2 nach dem geometrischen Konzept insgesamt 5 Subregionen zugeordnet. Nicht jede Fraktur der internen Orbita bzw. „internal orbit“ („**O**“) ist automatisch eine Mittelgesichtsfraktur („Midface92“). Dies trifft nur für Frakturen im Bereich des Orbitabodens (**O_i** = Orbital inferior wall – floor), der medialen Orbitawand (**O_m** = Orbital medial wall) und der lateralen Orbitawand (**O_l** = Orbital lateral wall) zu. Frakturen des Orbitadachs (**O_s** = Orbital superior wall – roof) und des Apex orbitae (**O_a** = Orbital apex) werden als Schädelbasisfrakturen eingeordnet (Skull base93).

Der Orbitarand bzw. orbital rim („**R**“) findet erst im Präzisions-Level 3 explizite Berücksichtigung.

Die dem Orbitarahmen entsprechenden Subregionen des Mittelgesichts (**Abb. 47**) waren in folgender Häufigkeit mit den Frakturmustern der internen Orbita (n=145) assoziiert – wobei mehrere Subregionen nebeneinander mitbetroffen ($\Sigma n_{\text{Gesamt}} = 174$) sein konnten:

„**O**“ - Orbita als Subregion des Mittelgesichts – war in allen Fällen (n=145) frakturiert (vgl. Einschlusskriterium der Studie: Orbitabodenfrakturen). Das Zygoma („**Z**“) war in n=55 Fällen zugleich frakturiert. Das Stirnbein bzw. „Frontal bone“ war n=13-mal beteiligt. Eine Involvierung des „ICM“ („**I**“) zusammen mit der internen Orbita konnte n=73-mal nachgewiesen werden, eine „UCM“-Beteiligung („**U**“) war n=33-mal feststellbar (**Abb. 22 und 47**).

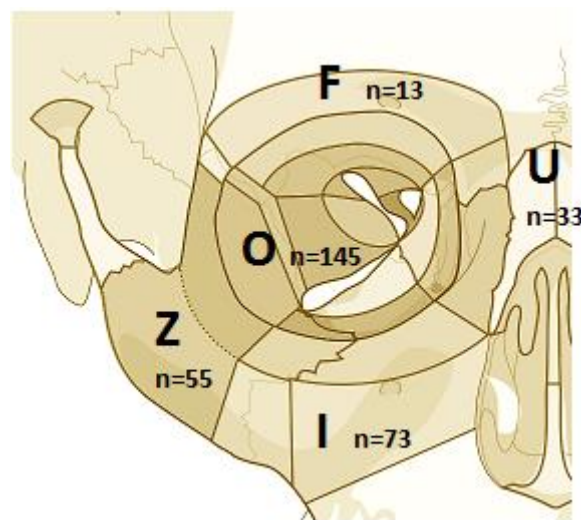


Abb. 47: Häufigkeit (Absolutwerte pro Subregion) von Frakturen der internen Orbita (**O** = Orbita n=145) in Assoziation mit Frakturen in den Subregionen des Mittelgesichts und des „Cranial Vault“ (Präzisions-Level 2). **Z** = Zygoma, **U** = UCM [Upper Central Midface], **I** = ICM [Intermediate Central Midface]; **F** = Frontal Bone. Der Orbitarahmen ist Bestandteil dieser Subregionen ($\Sigma n > 145$, da Mehrfach-Kombinationen möglich $\rightarrow \Sigma n_{\text{Gesamt}} = 174$).

Eine reine Orbitafraktur „O“ (unabhängig davon, welche und wie viele Orbitawände betroffen waren) kam insgesamt n=56-mal vor (entspricht 39 % der n=145 Orbitafrakturen). Von diesen n=56 nur auf die Orbita bezogenen Frakturen waren n=46* isolierte Orbitabodenfrakturen (entspricht 80 % dieser reinen Orbitafrakturen). In n=9 Fällen zeigten sich Orbitabodenfrakturen mit Frakturen der medialen Orbitawand kombiniert.

20 % (n=29) der n=145 Orbitafrakturen waren assoziiert mit Frakturen in einer weiteren zum Orbitarahmen gehörenden Subregion des Mittelgesichts/Cranial-Vaults („O Z“ n=3, „O I“ n=16, „O U“ n=9, und „O F“ n=1).

Weitere 29 % der Orbitafrakturen (n=42 von 145) zeigten eine Assoziation mit Frakturen in zwei Subregionen /Rahmenstrukturen („O Z I“ n=35, „O I U“ n=4, „O U F“ n=2 und „O Z F“ n=1).

Bei 10 % der Orbitafrakturen (n=14 von 145) lagen zusätzliche Frakturen in drei Rahmenstrukturen vor („O Z I U“ mit n=12, „O I U F“ mit n=2).

In 3 % (n=4) waren alle Orbita-Rahmenstrukturen zugleich mit dem Orbitaboden frakturiert („O Z I U F“).

In der Internen Orbita „O“ fanden sich wiederum unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten und Häufigkeitsverteilungen für Frakturen der Subregionen „Oi“, „Om“, „Ol“, „Os“ und „Oa“ (Orbitawände und Orbita-Apex) in folgender Häufigkeit (**Abb. 48**):

Von den insgesamt n=145 Frakturen des Orbitabodens bzw. Orbital inferior wall „Oi“-waren n=75 Frakturen rechts und n=70 links lokalisiert. In 77 Fällen war der Orbitaboden ohne Beteiligung einer anderen Orbitawand betroffen, die Orbita-Rahmenstrukturen („F“, „U“, „I“, „Z“) wiesen jedoch n=21-mal daneben Frakturen auf).

„Oi“ (n=145) war in 47% kombiniert als „Oil“ (n=32 Fälle), „Oim“ (n=22), „Oilm“ (n=10), „Oima“ (n=1), „Ois“ (n=1), „Oilsa“ (n=1) und „Oilmsa“ (n=1) zu finden (siehe Angaben aus Abschnitt 4.1.1 und 4.1.2).

Insgesamt betrachtet war die mediale Orbitawand „Om“ - neben dem Orbitaboden- in 24 % Fällen (n=34) von Frakturen betroffen (n=18 rechtsseitig, n=16 linksseitig).

„Oim“ (n=22), „Oilm“ (n=10), „Oima“ (n=1), „Oilmsa“ (n=1) waren die dazu in der Untersuchung aufgetretenen Kombinationen.

Die laterale Orbitawand „Ol“ zeigte in 30 % aller Orbitafrakturen (n=44-mal) (Kombinationen: „Oil“ (n=32 Fälle), „Oilm“ (n=10), „Oilsa“ (n=1) und „Oilmsa“ (n=1)) eine Frakturbeteiligung.

* n=46 "isolierte Orbitabodenfrakturen": Erläuterung siehe nächster Abschnitt 4.2.3

Die superiore Orbitawand „Os“ sowie der Apex orbitae „Oa“ waren in je n=3 Fällen (0,2 %) als frakturiert eingestuft worden (kombiniert als „Oima“ (n=1), „Ois“ (n=1), „Oilsa“ (n=1) und „Oilmsa“ (n=1)).

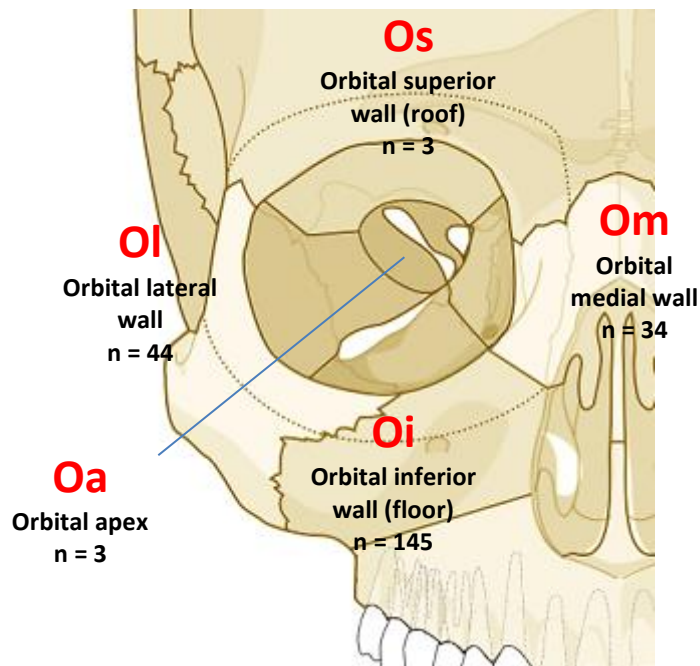


Abb. 48: Häufigkeit (Absolutwert pro Subregion) von Frakturen in den 5 Subregionen der internen Orbita - 4 Orbitawände und Apex orbitae (Präzisions-Level 2): **Oi** = Orbital inferior wall; **Om** = Orbital medial wall; **OI** = Orbital lateral wall; **Os** = Orbital superior wall; **Oa** = Orbital apex ($\sum_n > 145$, da Mehrfach-Kombinationen möglich $\rightarrow \sum_{n_{\text{Gesamt}}} = 229$).

4.2.3 Präzisions-Level 3

Im Präzisions-Level 3 werden die topographischen Subregionen des zentralen und lateralen Mittelgesichts, der Orbita sowie von Schädelbasis und Schädeldach noch einmal weiter spezifiziert (vgl. 2.5) und in einen Fraktur-Code übersetzt (vgl. 2.6). Daneben bieten die graphische Aufzeichnung (Icons) und die „Pull-Down Menues“ im „AO COIAC 4.0.0“-Softwareprogramm Möglichkeiten zur Dokumentation der Frakturenmorphologie, die jedoch nur teilweise in die Codierung und die Frakturformeln eingeht und insofern nicht im „spreadsheet“-Modus bzw. innerhalb einer Datenbank auswertbar ist.

Die interne Orbita erfährt eine Dreiteilung in anterior–posteriorer Richtung – „**W1**“ (anteriore Orbita), „**W2**“ (Midorbita) und „**A**“ (Apex) (vgl. **Abb. 24**). Der im Querschnitt trianguläre Apex wird entsprechend seiner räumlichen Nähe bzw. Fortsetzung zu Orbitadach, lateraler und medialer Orbitawand sternförmig unterteilt.

Die Orbitalränder / „Orbital Rims“ („**R**“) werden analog zur Geometrie der Wände in 4 Segmente gegliedert: „**Ri**“ (inferior Rim), „**Rm**“ (medial Rim), „**Rl**“ (lateral Rim), „**Rs**“ (superior Rim).

Für die Orbitalränder und Orbitawände inklusive Apex orbitae resultieren schließlich 20 topographische Untereinheiten (vgl. **Abb. 27**). Dazu kommen weitere Subregionen wie Nasenbeine, Nasenseptum und Vomer oder die Jochbein-/Jochbogenkomponenten (siehe **Abb. 25**).

Aus der graphischen Markierung in den Icons von „AO COIAC 4.0.0“ können sich je nach Frakturmuster sehr lange und zunächst unübersichtliche Fraktur-Codes ergeben (vgl. 4.2.3.1., **Diagramm 9** und **Abb. 49**, **Abb. 50**), da die Formeln aus den Präzisions-Level 1, 2 und 3 in der Sequenz fortgeschrieben werden. Diese vollständigen Formeln werden im Weiteren als „Brutto-Codes“ bezeichnet und reduzierten bzw. „Netto-Codes“ gegenübergestellt. Die „Netto-Codes“ fokussieren sich nur auf die Orbitalränder und die Orbitawände, inklusive Apex (vgl. 4.2.3.2, **Diagramm 10**) oder alleinig auf die interne Orbita (vgl. 4.2.3.3, **Diagramm 11**).

4.2.3.1 Häufigkeit der Frakturmuster – Mittelgesicht und Orbitae (Brutto-Codes)

In der CT-Bildgebung der n=129 unilateral betroffenen Patienten ließen sich in n=73 Fällen identische knöcherne Verletzungsmuster nachweisen (**Diagramm 9**). Diesen mehrfach aufgetretenen (jeweilige Häufigkeit n≥2) identischen Frakturmustern standen n=56 Fälle mit Frakturcodes gegenüber, die nur einmal (jeweilige Häufigkeit n=1) festgestellt wurden (Auflistung siehe 8. Anhang, Tabelle 11). Der von der Software „AO COIAC 4.0.0“ angegebene vollständige Frakturcode wird als „Brutto-Code“ bezeichnet.

Verteilung der häufigsten Frakturmuster in Mittelgesicht und Orbita nach der AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene (Brutto)

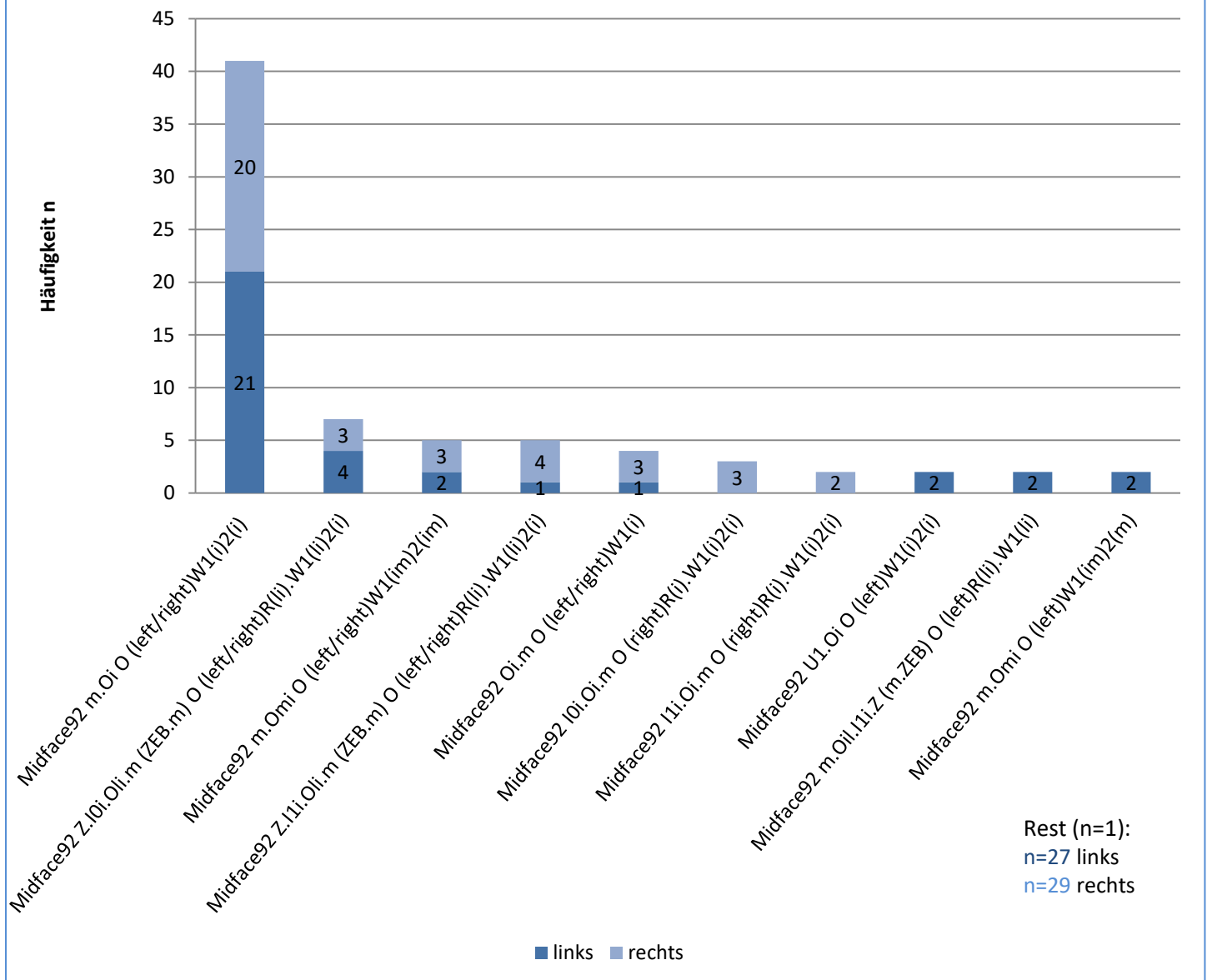


Diagramm 9: Häufigkeit von mehrfach (n≥2) aufgetretenen „Brutto“- Frakturmustern in „Midface92“ bzw. Orbita (n=73) nach der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ bei n=129 unilateralen Frakturen – (Präzisions-Level 3). Spiegelbildlich identische Frakturcodes von rechter und linker Seite des Gesichtsskeletts (left/right) wurden aufsummiert. „Rest“ steht für die Summe von Frakturmustern (n=56) mit einer Häufigkeit n = 1 (Auflistung im Einzelnen siehe 8. Anhang, Tabelle 11).

Die Codes in den Fällen (n=8) mit bilateraler Frakturbeteiligung der Orbitae (entsprechend n=16 unilateralen Orbitafrakturen) zeigten untereinander keine Übereinstimmungen.

Bei gesonderter Betrachtung jeder Gesichtsseite der bilateralen Frakturen ergaben sich dreimal Übereinstimmungen mit einem der häufigeren unilateralen Frakturmuster aus dem Säulendiagramm (**Diagramm 9**).

Die rechte bzw. linke Seite (relevanter Anteil **fettgedruckt**) der folgenden drei bilateralen Mittelgesichts/Orbita -Frakturen:

1.1. „**Midface92** Z.I0i.Oli.m.Oil.I1i.Z (ZEB.m.ZEB) **O (right)R(li).W1(li)2(i)** **O (left)R(li).W1(li)2(i)**“

1.2. „**Midface92** Z.IOli.m.Oil.I (ZEB.m) **O (right)R(li).W1(li)2(i)** O (left) W1(l)2(i)“

1.3. „**Midface92** Oi.m.Omi Skull base93 m.Oa.S **O (right)W1(i)2(i)** O (left) W1(im)2(im).A(m)“

hatte Entsprechungen in den nachstehenden drei unilateralen (seitengleich oder spiegelbildlich) Mittelgesichts/Orbita-Frakturen:

2.1. „**Midface92** Z.I1i.Oli.m (ZEB.m) **O (right)R(li).W1(li)2(i)**“ n=5

2.2. „**Midface92** m.Oil.I0i.Z (m.ZEB) **O (left/right)R(li).W1(li)2(i)**“ n=7

2.3. „**Midface92** Oi.m **O (right)W1(i)2(i)**“ n=41

Dabei zeigen die Codes 1.2. und 2.2. Codes immer noch eine geringfügige Abweichung: „I“ versus „...I0i...“ (siehe rote Unterstreichung). Grund dafür ist, dass im Falle der bilateralen Fraktur (1.2.) die Subregion „ICM“ im Bereich der fazialen Kieferhöhlenwand nur als frakturiert ohne weitere Angabe der Fragmentierung eingestuft wurde, aber im Falle der unilateralen Frakturen (2.2.) zwar auch als frakturiert jedoch als nicht-fragmentiert bewertet wurde.

Weitere Ähnlichkeiten zwischen bilateralen und unilateralen Frakturmustern lagen nicht vor.

Bei Auswertung anhand der kompletten AO CMF Trauma Klassifikations-Codes für Erwachsene (Brutto-Codes) für Mittelgesicht und Orbita war der Brutto-Code der einseitigen, isolierten Orbitabodenfraktur in anteriorer und Midorbita das häufigste Frakturmuster im Untersuchungskollektiv (**Diagramm 9**, Säule 1 von links und **Abb. 49**). Es lag insgesamt 41-mal identisch (in spiegelbildlicher Form 21-mal links und 20-mal rechts) mit der Brutto-Codierung „Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)“ vor.

Insgesamt n=4-mal konnten isolierte Orbitafrakturen vom Typ „Midface92 Oi.m O (right)W1(i)“ (n=3) bzw. „Midface92 m.Oi O (left)W1(i)“ (n=1) nachgewiesen werden (**Diagramm 9**, Säule 5 von links).

In Abschnitt 4.2.2 wurde bereits darauf hingewiesen, dass insgesamt n=46 definitionsgemäße „isolierte Orbitabodenfrakturen“ vorlagen. Diese setzen sich zusammen

aus: “Midface92 Oi.m O (left/right)W1(i)2(i)” mit n=41, “Midface92 Oi.m O (left/right)W1(i)” mit n=4 sowie “Midface92 Oi.m O (right)W2(i)” mit n=1.

Diesen n=46 isolierten Orbitabodenfrakturen kann bei separater, und rein unilateraler Betrachtung der bilateralen Frakturen noch n=1 Orbitabodenfraktur vom Typ “Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)” hinzugezählt werden (keine isolierte Orbitabodenfraktur, aber - unilateral betrachtet - ist nur der Orbitaboden betroffen).

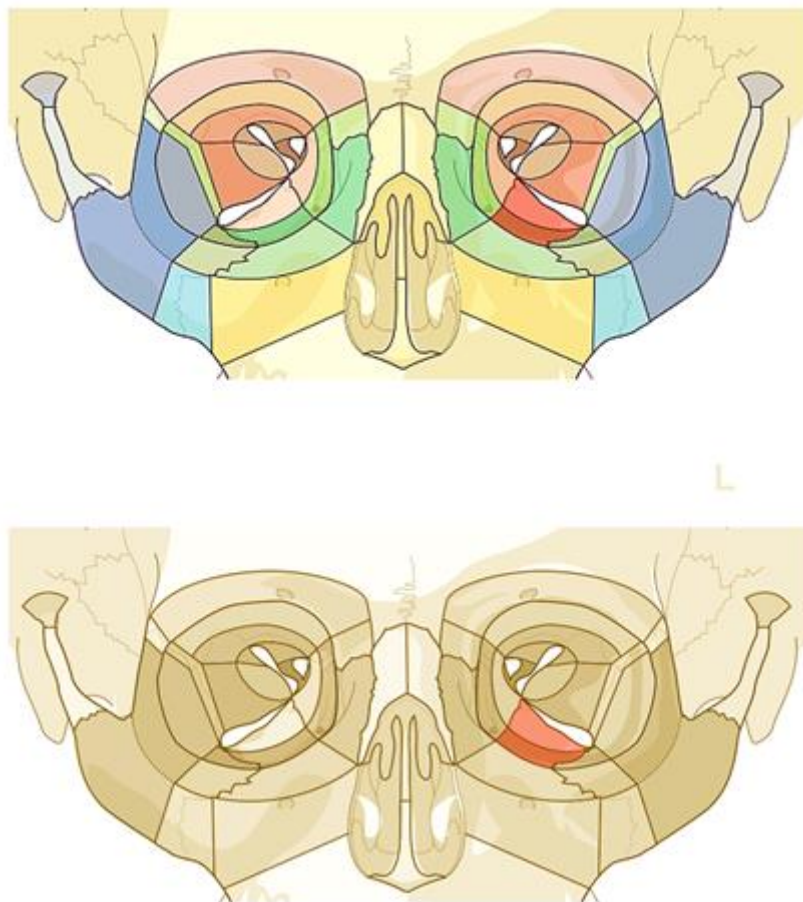


Abb. 49: Häufigstes Orbita-Frakturenmuster - Isolierte Orbitabodenfraktur in anteriorer Orbita und Midorbita links. (Formel: “Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)”). Graphische Darstellung im Icon Orbita bzw. obere Mittelgesichtsregion [color coded (oben) / black and white (unten)] (Präzisions-Level 3 – „AO COIAC 4.0.0“) Involvierte Untereinheiten „W1(i)“ und „W2(i)“ im Orbitaboden links rot markiert. Diese Farbgebung steht für Defekt-Frakturen, was jedoch nicht in die Frakturformel eingeht.

Zweithäufigstes orbitales Frakturenmuster im Untersuchungskollektiv war eine Orbitabodenfraktur in der anterioren und Midorbita in Kombination mit einer Fraktur der lateralen Wand im anterioren Orbitabereich, die im Zusammenhang mit einer Jochbein bzw. Zygoma En Bloc („ZEB“)-Fraktur stand und somit Frakturlinien im Bereich der Orbitalränder inferior bzw. infraorbital und lateral aufwies (**Abb. 50**). Dieses Frakturenmuster mit der Formel “Midface92 Z.1i.Oli.m (ZEB.m) O (left/right) R(li).W1(li)2(i)” bzw. “Midface92 m.Oil.10i.Z (m.ZEB) O(left/right) R(li).W1(li)2(i)” war insgesamt n=12-mal (n=7 rechts, n=5 links) nachzuweisen

(vgl. **Diagramm 9**, Säulen 2 und 4 von links). [Angabe der mittleren Frakturfläche (siehe **Tabelle 10, 8. Anhang**) im Orbitaboden: **2,09 +/- 0,91 cm²** (Range: 0,59 - 4,1 cm²)]

Ein Unterschied bei diesen 12 Fällen bestand in der Frakturmorphologie im Bereich des „ICM“ bzw. Infraorbitalrandes („I“). Dieser war entweder nicht-fragmentiert (Code „I0i“) - entsprechend n=7 Fällen (Säule 2) - oder fragmentiert (Code „I1i“) - entsprechend n=5 Fällen (Säule 4).

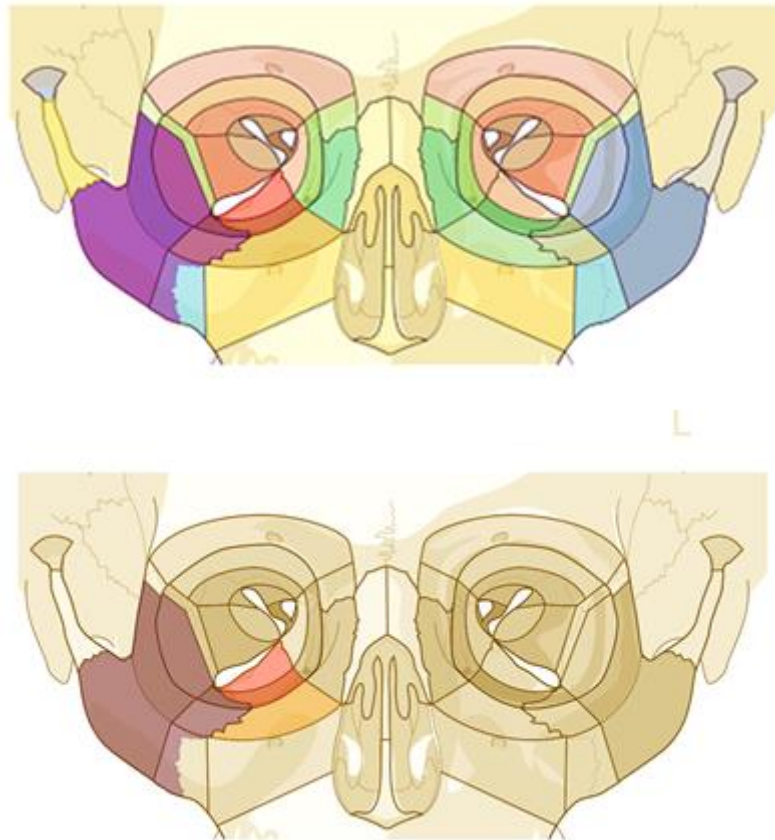


Abb. 50: Zweithäufigstes Orbita-Frakturenmuster - Orbitabodenfraktur in anteriorer Orbita und Midorbita sowie laterale Orbitawandfraktur anterior - im Rahmen einer „Zygoma en Bloc“-Fraktur (ZEB) rechts. Demzufolge lagen Randfrakturen lateral und inferior (hier: fragmentiert) vor (Formel: „Midface92 Z.I1i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)“). Graphische Darstellung im Icon Orbita bzw. obere Mittelgesichtsregion [color coded (oben) / black and white (unten)] (Präzisions-Level 3 – „AO COIAC 4.0.0“) Farbmarkierungen: Involvierte Untereinheiten „W1(i)“ und „W2(i)“ im Orbitaboden rechts – rot; „Zygoma en Bloc“ (ZEB)-Fraktur rechts – lila; Fragmentierte Fraktur des Infraorbitalrandes (I1i) rechts - orange.

Unilaterale Frakturmuster im Orbitaboden in Kombination mit der medialen Orbitawand – ohne Beteiligung weiterer Mittelgesichts-Subregionen - wurden nur in n=7 Fällen mit identischer Codierung angetroffen. Diese Frakturen haben die Formel „Midface92 Oim.m O (right)W1(im)2(im)“ [n=3] bzw. spiegelbildlich „Midface92 m.Omi O (left)W1(im)2(im)“ [n=2]) (vgl. **Diagramm 9**, Säule 3 von links). „Midface92 m.Omi O (left)W1(im)2(m)“ konnte linksseitig n=2-mal festgestellt werden (vgl. **Diagramm 9**, Säule 10 von links).

4.2.3.2 Häufigkeit der Frakturmuster – Orbitalränder und Orbitawände, inklusive Apex (Netto1-Codes)

Zur Betrachtung der Häufigkeit verschiedener Frakturmuster im Bereich von Orbitalrändern und Orbitawänden, inklusive des Apex Orbitae wurden die dazu relevanten „Netto-Codes“ aus den Gesamt- bzw. „Brutto-Code“-Sequenzen (vgl. 4.2.3.1) extrahiert, separat dargestellt und verglichen (**Diagramm 10**).

Beispielsweise wurde ein Fraktur-„Brutto-Code“ wie **“Midface92 I1i.Oi.m O (right) R(i).W1(i)2(i)”** auf den „Netto1-Code“ **“O (right)R(i).W1(i)2(i)”** gekürzt. Für jeden weiteren Abzug der Codierung letztendlich zur Fokussierung rein auf die interne Orbita wurde dem Netto-Code eine neue Nummer (Netto1-Code, Netto2-Code, Netto3-Code [siehe 4.4.1]) vergeben.

Außerdem blieben „right“/„left“ Seitenangaben bei Wiedergabe der Fraktur-Formeln unberücksichtigt (**“O (right)R(i).W1(i)2(i)”** → **“O R(i).W1(i)2(i)”**). Seitengleiche/ spiegelbildliche unilaterale Frakturen konnten so untereinander – genauso wie uni- und bilaterale Orbitafrakturen - einfacher verglichen werden.

Durch die Reduktion aller Fraktur-Codes auf die Fraktur „Netto-Codes“ mit immer mehr Abzügen sank die Zahl möglicher Frakturvarianten oder – umgekehrt ausgedrückt – stieg die Anzahl identischer bzw. mehrfach auftretender Frakturmuster im Vergleich zum „Brutto-Code“ (Cave: Diskrepanz zu vorhergehenden Werten möglich!).

Je nach Höhe der Nummerierung der „Netto-Codes“ wurden immer weiter Sequenzen aus dem vorhergehenden Code abgezogen. Unter der Bezeichnung „Netto1“ werden Codes untersucht, die sich auf die Orbita „O“ beschränken und weitere Frakturen des Mittelgesichts und der Orbitalrahmenstrukturen ausklammern. Die „Netto1-Codes“ beschreiben also die AO-Subregionen **„O R(...).W1(...) W2(...) A(...)“**.

Bei der Auswertung von n=114 mehrfach (Häufigkeit n≥3) aufgetretenen Frakturmustern („Netto1-Codes“ von insgesamt n=145 uni- bzw. bilateralen Verletzungen) zeigte sich, dass „Netto1-Codes“ von Orbitabodenfrakturen in der anterioren Orbita und Midorbita (Frakturmuster mit der Formel-Endung „O W1(i)2(i)“) mit n=51 den häufigsten Verletzungstyp darstellen (**Diagramm 10**). Vorher genannte isolierte Orbitabodenfrakturen des Typs **“Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)”** sind (nach Reduktion auf ihren „Netto1-Code“) mit n=41 enthalten. Die übrigen n=10 Orbitabodenfrakturen des „Netto1-Codes“ „O W1(i)2(i)“ enthalten teilweise in ihren „Brutto-Codes“ auch Anteile der Orbitalrahmenstrukturen bzw. des Mittelgesichts.

Mit absteigender Häufigkeit fanden sich folgende Frakturmuster (zusätzlich zu n=51 „O W1(i)2(i)“) mit variierender Beteiligung der Orbitalränder und/oder Orbitawand/wände entsprechend den Formeln/„Netto1-Codes“ (**Diagramm 10**):

- Häufigkeit [n=22] – Formel: „O R(li).W1(li)2(i)“ = Frakturen der Orbitaränder lateral und inferior in Kombination mit den Orbitawänden lateral und inferior innerhalb des anterioren Bereichs sowie Wandfraktur inferior in der Midorbita;
- Häufigkeit [n=10] – Formel: O R(i).W1(i)2(i)“ = Frakturen des inferioren Orbitarandes und des Orbitabodens anterior und in der Midorbita;
- Häufigkeit [n=7] – Formel: „O R(li).W1(li)“ = Frakturen des lateralen und inferioren Orbitarandes sowie der lateralen und inferioren anterioren Orbitawände.
- Häufigkeit [n=6] – Formel: „O W1(i)“ = Orbitabodenfraktur anterior
- Häufigkeit [n=6] – Formel: „O R(i).W1(i)“ = Frakturen des inferioren Orbitarands in Kombination mit dem Orbitaboden anterior
- Häufigkeit [n=5] – Formel: „O W1(im)2(im)“ = Frakturen der Orbitawände inferior und medial in der anterioren und Midorbita
- Häufigkeit [n=4] – Formel: „O W2(i)“ = Orbitabodenfraktur in der Midorbita
- Häufigkeit [n=3] – Formel: „O R(lim).W1(lim)2(i)“ = Frakturen der Orbitaränder lateral, inferior und medial in Kombination mit den Orbitawänden lateral, inferior und medial in der anterioren Orbita sowie mit der Orbitawand inferior in der Midorbita
- Häufigkeit [≤2] – Frakturcode-Varianten, die als „Rest“ von insgesamt n=31 Frakturen (Orbita links n=16, Orbita rechts n=15) zusammengefasst wurden (vgl. 8 Anhang, Tabelle 12)

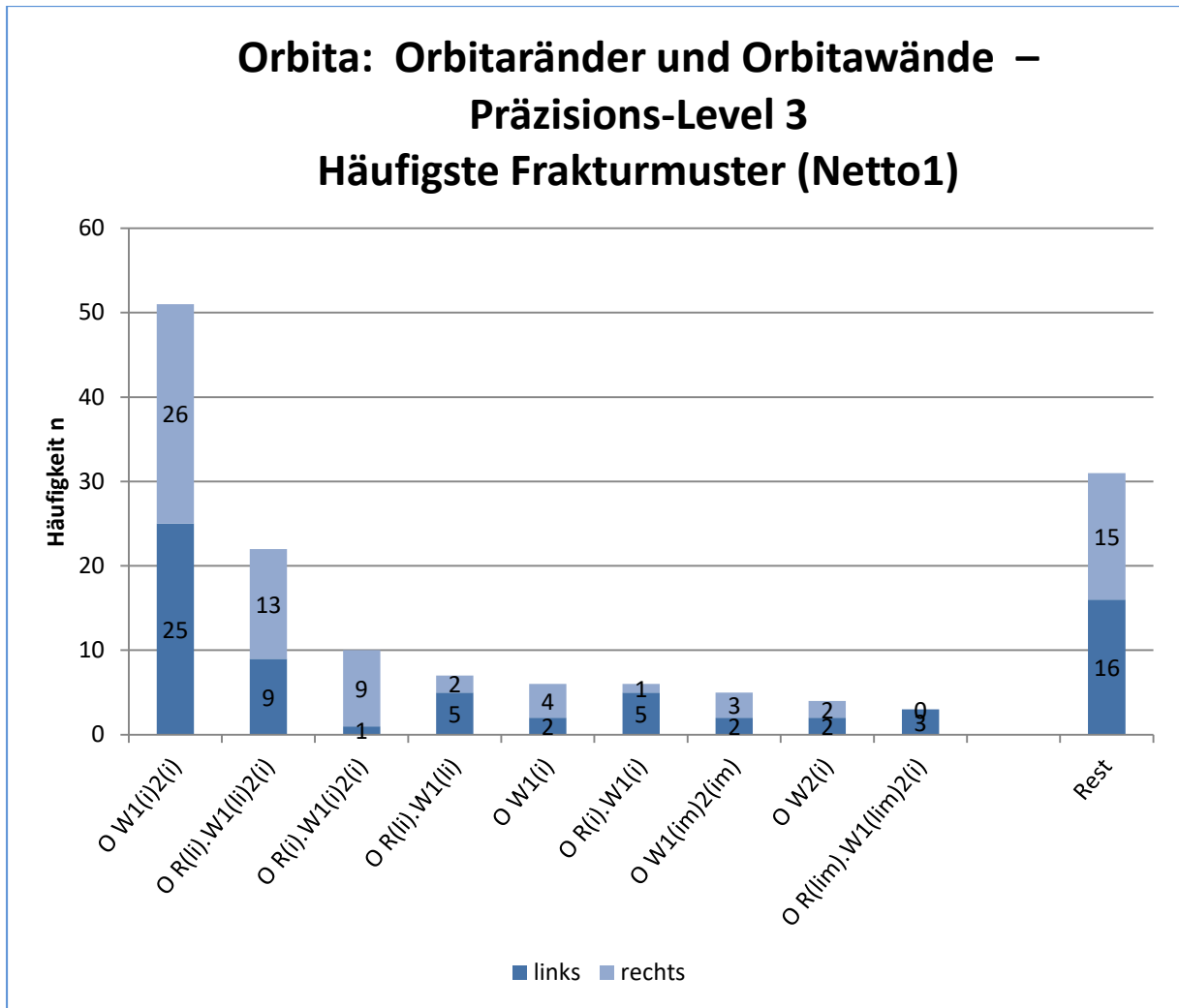


Diagramm 10: Häufigkeit von mehrfach ($n \geq 3$) aufgetretenen „Netto1“-Frakturmustern ($n=114$) nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ - Orbita bzw. Orbitalränder und Orbitawände inklusive Apex orbitae. Spiegelbildlich identische Frakturcodes von der Orbita rechts und links werden in den Frakturcodes nicht mehr unterschieden, in den Häufigkeitssäulen aber aufsummiert - (Orbita links - dunkelblau, Orbita rechts - hellblau). „Rest“ steht für die Summe von Frakturmustern ($n = 31$) mit einer Häufigkeit $n \leq 2$ (Auflistung im Einzelnen siehe 8.Anhang, Tabelle 12).

4.2.3.3 Häufigkeit der Frakturmuster – Interne Orbita (Netto2-Codes)

Zur fokussierten Darstellung der Häufigkeit der Frakturmuster in der internen Orbita (4 Orbitawände mit je zwei Subregionen und 3-seitige Apexregion) wurden die diesbezüglichen Formel-Anteile aus den oben dargestellten „Netto1-Codes“ extrahiert. Die gewünschten „Netto“ – Informationen „Interne Orbita“ liefert der Formel-Abschnitt „**W1(....)2(....)A (...)**“. Dieser wird im Folgenden als „Netto2-Code“ bezeichnet.

Die beiden vorausgehenden Darstellungen (**Diagramme 9 und 10**) kamen folgerichtig auch in dieser Auswertung (**Diagramm 11**) zum Ausdruck. Im Vergleich dazu stieg die Zahl identischer bzw. mehrfach auftretender Frakturmuster wegen der geringeren Diversifizierung der Formeln weiter. Unter den n=145 ausschließlich im Hinblick auf interne Orbitafrakturen (Orbitawände und Apex) ausgewerteten Datensätze zeigten n=133 ein Auftreten identischer Frakturmuster mit einer Häufigkeit $n \geq 3$.

„W1(i)2(i)“ (n=61) bzw. „W1(i)“ (n=12) und „W2(i)“ (n=4) („Netto2-Codes“), also Frakturen des Orbitabodens in der anterioren und/oder Midorbita, stellten mit einer Häufigkeit von n=77 das mit Abstand meist vorkommende Verletzungsmuster der internen Orbita im Untersuchungskollektiv dar. Vorherige Darstellungen zum Vergleich:

Brutto-Codes: “Midface92 Oi.m O (right/left)W1(i)2(i)“ n=41 /

 “Midface92 Oi.m O (left/right)W1(i)“ n=4 /

 “Midface92 Oi.m O (right)W2(i)“ n=1

Netto1-Codes: „O W1(i)2(i)“ n=51 / „O W1(i)“ n=6 / „O W2(i)“ n=4, zusammen n=61)

Die hier angegebenen n=77 Orbitabodenfrakturen entsprechen denen der Flächenberechnung des Orbitabodens in Abschnitt 4.1.1 (dort bezeichnet als 1-Wand Frakturen, da nur n=46 als isolierte Orbitabodenfrakturen (nach „Brutto-Code“) gelten).

Das gleiche Muster („Netto2-Code“) mit zusätzlicher Involvierung der anterioren lateralen Orbitawand - „W1(li)2(i)“ - war mit einer Häufigkeit von n=23 an zweiter Stelle vertreten.

Frakturmuster mit Involvierung der medialen Orbitawand folgen erst auf dem 4., 6., 7., 9. und 10. Häufigkeitsrang (**Diagramm 11**).

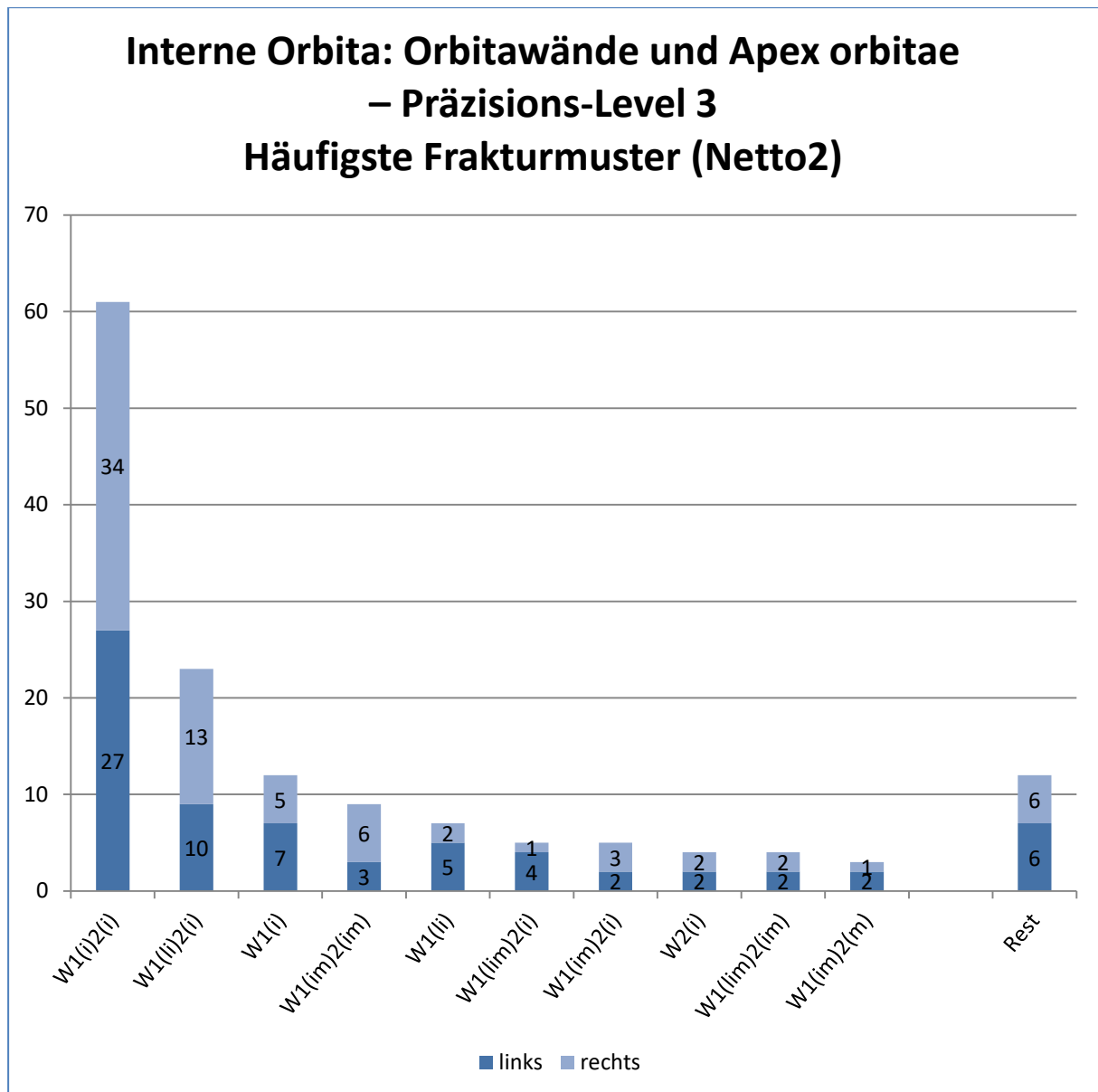


Diagramm 11: Häufigkeit von mehrfach ($n \geq 3$) aufgetretenen „Netto2“-Frakturmustern ($n=133$) nach der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ - Interne Orbita (Orbitawände inklusive Apex orbitae) – Präzisions-Level 3. Spiegelbildlich identische Frakturcodes von der Orbita rechts und links sind nicht separat wiedergegeben, wurden in den Häufigkeitssäulen aber aufaddiert - (Orbita links - dunkelblau, Orbita rechts - hellblau). „Rest“ steht für die Summe von Frakturmustern ($n=12$) mit einer Häufigkeit $n \leq 2$.

Ein sog. Rest von $n=12$ Frakturmustern konnte lediglich $n=1$ -mal oder $n=2$ -mal festgestellt werden (**Diagramm 11**).

In den Subregionen der medialen und inferioren Orbitawand sowie im Apex orbitae waren die Frakturmuster „W1(im)“ ($n=2$), „W2(im)“ ($n=1$), „W1(im)2(im).A(m)“ ($n=1$), „W1(m)2(i)“ ($n=1$) und „W1(m)2(im)“ ($n=1$) anzutreffen. Zwei Frakturen in Form von „W1(l)2(i)“ ($n=1$) und „W1(li)2(li)“ ($n=1$) beschränkten sich auf die laterale und inferiore Orbitawand.

Die Dreifach-Frakturenkombination der lateralen, medialen und inferioren Orbitawand in Form von „W1(lim)“ fand sich n=1-mal. Frakturen mit Beteiligung der superioren Orbitawand sowie der oberen Wand des Apex orbitae („A(s)“) fanden sich in Form von W1(s)2(i)“ (n=1), “W1(sli)2(si).A(s)” (n=1) und “W1(slim)2(im).A(s)” (n=1).

4.3 Modifikationsvorschlag zur Klassifizierung von Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand

Zur deskriptiven Auswertung auf der Grundlage des Modifikationsvorschlags für Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand wurden dieselben CT-Datensätze der n=137 Patienten mit n=145 Orbitafrakturen (unilateral n=129, bilateral n=8) verwendet.

Im Modifikationsvorschlag wird jede Orbita in einer gesonderten Formel betrachtet. Es entstehen zwei Codes für eine bilaterale Orbitafraktur. In der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ gehen beide Frakturen zunächst in eine Gesamt-Formel ein, aus der sie zu Vergleichs-zwecken extrahiert werden können.

Die Detailgenauigkeit des Modifikationsvorschlags für Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand entspricht dem Präzisions-Level 3 der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“. Es werden einzelne topographische Subregionen („aIM“, „pIM“, „PLE“, „aIL“, „aM“, „pM“) sowie eine Auswahl relevanter anatomischer Landmarken („IOB“, „C“, „F“, „NLC“) darin beschrieben (vgl. 3.3.2 und 3.3.3).

4.3.1 Frakturmuster des Orbitabodens und der medialen Orbitawand

Bei Auswertung der insgesamt n=145 uni- bzw. bilateralen Verletzungen in den CT-Datensätzen nach dem Modifikationsvorschlag fanden sich 22 mehrfach (Häufigkeit $n \geq 2$) vorkommende Frakturmuster mit jeweils identischer kompletter Codierungs-Formel, zusammengesetzt aus den topographischen Subregionen und etwaig beteiligten anatomischen Landmarken (=„Brutto-Code“). Diese n=22 Frakturvarianten machten in der Summe n=103 Frakturformeln aus. Dementsprechend kamen insgesamt n=42 Frakturmuster (bzw. Brutto-Codierungs-Formeln) nur einmal (Häufigkeit von n=1) vor (vgl. 8. Anhang, Tabelle 13).

Der meist vertretene „Brutto-Code“ mit einer Häufigkeit von n=14 lautete „aIM pIM aIL C F“ (**Diagramm 12** u. **Abb. 52 A1 und A2**). Die Kombinationen „aIM pIM C“, „aIM pIM PLE aIL C F“ und „aIM pIM C F“ folgten mit Häufigkeiten von n=13, n=11 und n=8, so dass insgesamt vier Einzelvarianten mit jeweils identischem Code mit einem Anteil von 31 % (n=46) innerhalb aller Frakturmuster (n=145) dominiert haben.

Alle 22 Frakturvarianten, die mit einer Häufigkeit $n \geq 2$ vorkamen ($\sum n=103$), schlossen die mediale Portion des Orbitabodens in Form der Subregionen „aIM“ und/oder „pIM“ ein („aIM“ n=19 und „pIM“ n=19 > „PLE“ n=5). Die mediale Orbitawand („aM“ und/oder „pM“) war in n=4 Fällen der häufig vorkommenden Frakturmuster beteiligt („aM“ n=4 > „pM“ n=3).

Mit Ausnahme des Frakturmusters mit der Formel „aIM pIM“ (n=6), also einer rein medial im Orbitaboden lokalisierten Fraktur, war der Canalis infraorbitalis (in **Diagramm 12**: n=97) - die anatomische Landmarke „C“ - immer in die häufiger aufgetretenen (n≥2) Frakturmuster involviert.

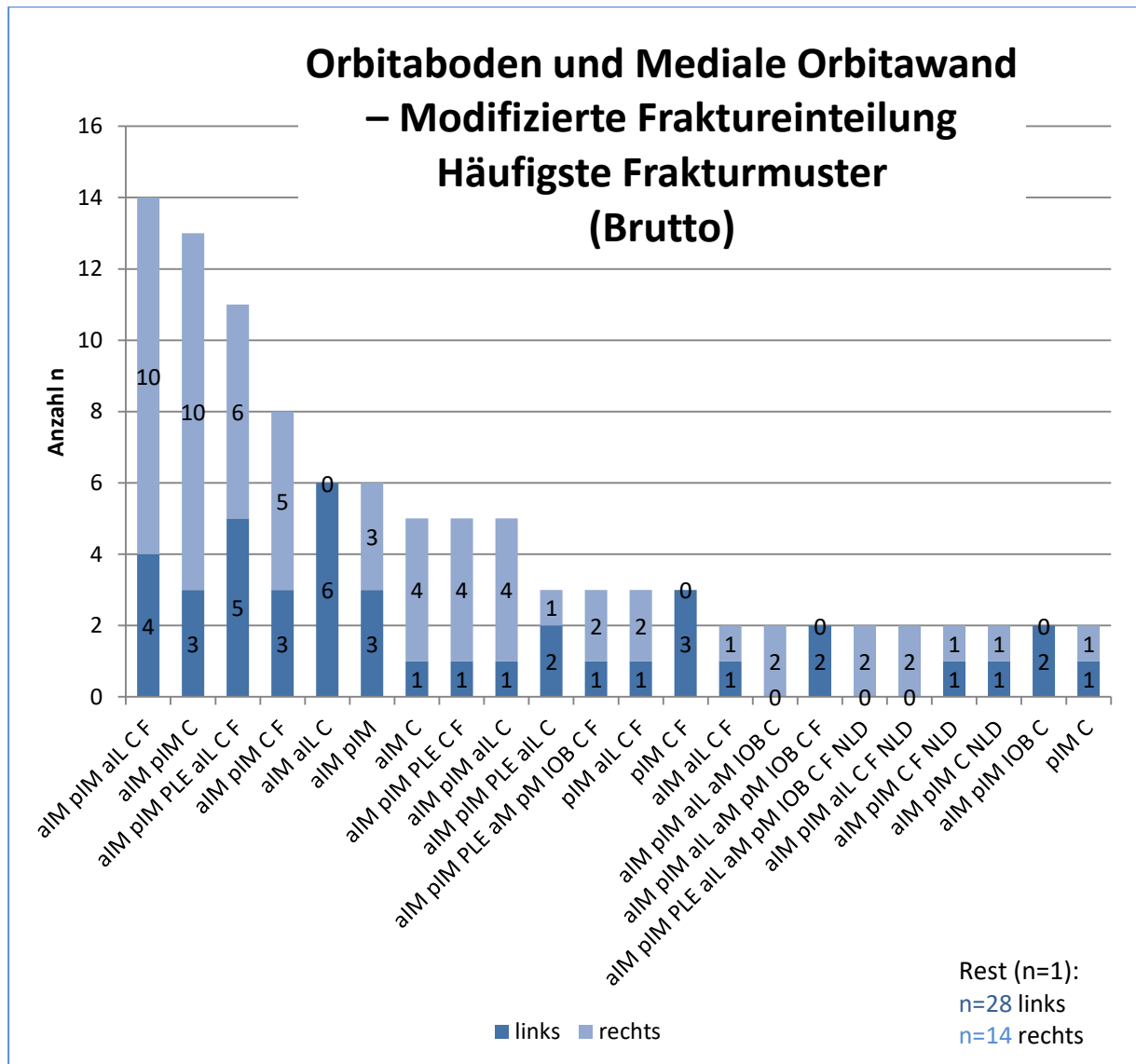


Diagramm 12: Häufigkeit von mehrfach (n≥2) aufgetretenen Frakturmustern (\sum n=103) in den CT-Datensätzen in vollständiger Codierung (Topographische Subregionen + anatomische Landmarken = „Brutto-Codes“) des Modifikationsvorschlags. Dunkelblau = linke Orbita, hellblau = rechte Orbita. (Auflistung im Einzelnen siehe 8.Anhang, Tabelle 13)

4.3.2 Topographische Subregionen

Die zuvor genannten 6 topographischen Subregionen in Orbitaboden und medialer Orbitawand waren mit einer Gesamthäufigkeit von n=414 in die variierenden Muster der n=145 Frakturen der internen Orbita (darunter immer der Orbitaboden) des Untersuchungskollektivs involviert (**Diagramm 13**). Im Durchschnitt waren von den 6 möglichen Fraktur-Subregionen 2,86 +/- 1,18 Subregionen betroffen (Median = 3, Minimum = 1, Maximum = 6).

Die 4 Subregionen des Orbitabodens („aIM“, „pIM“, „PLE“, „aIL“) waren n=361-mal beteiligt, die zwei Subregionen der medialen Orbitawand („aM“, „pM“) n=53-mal. Der mediale Sektor des Orbitabodens, zusammengesetzt aus „aIM“, „pIM“ und „PLE“ war mit Häufigkeiten von n=126, n=120 bzw. n=39 im Vergleich zum lateralen Sektor mit der anterior gelegenen Subregion „aIL“ - bei einer Häufigkeit von n=76 - beinahe 4-mal öfter in den Frakturmustern vertreten.

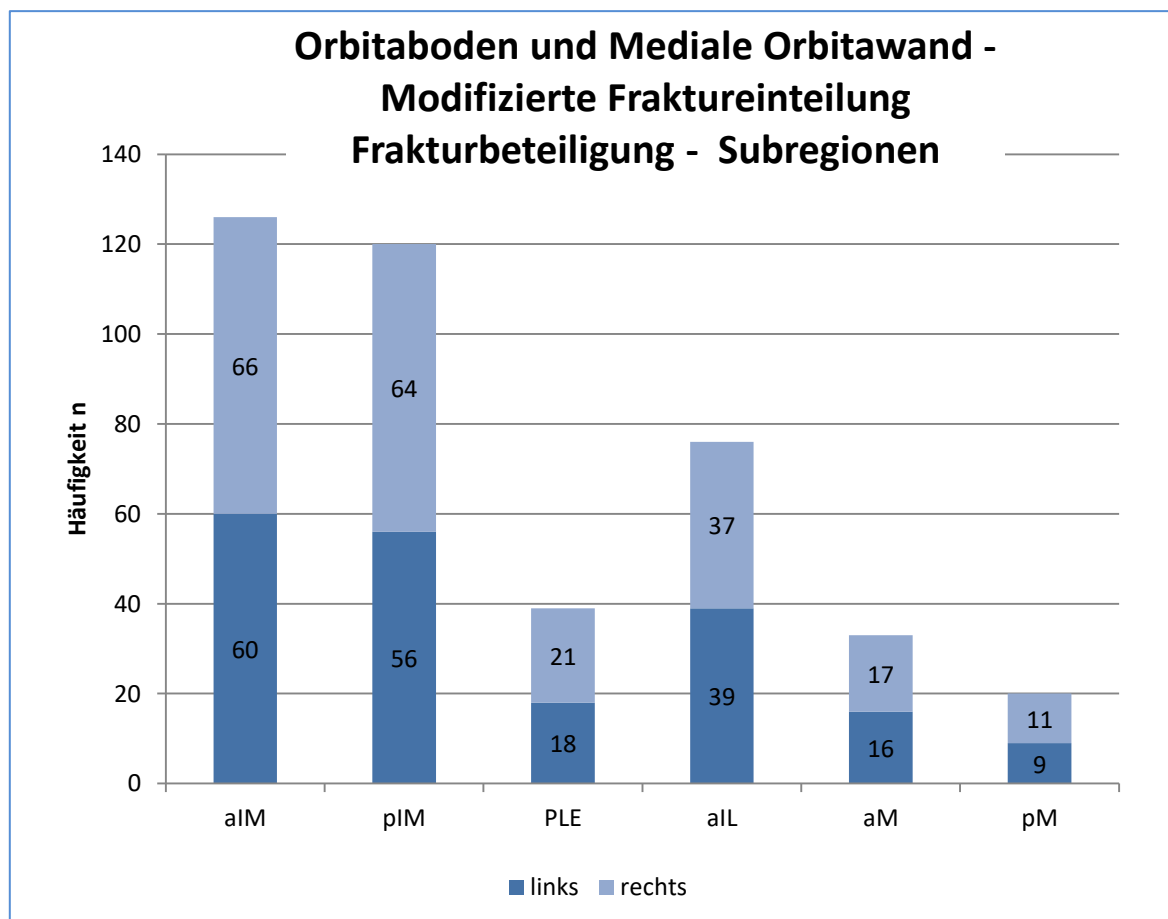


Diagramm 13: Häufigkeit von Frakturen in den topographischen Subregionen von Orbitaboden und Medialer Orbitawand – Modifizierte Einteilung. Gesamthäufigkeit n=414 – Einzelheiten siehe Text. Bezeichnungen: „aIM“ (=anterior inferior orbital wall, medial part), „pIM“ (=posterior inferior orbital wall, medial part), „aIL“ (=anterior inferior orbital wall, lateral part), „PLE“ (=posterior ledge), „aM“ (=anterior medial orbital wall), „pM“ (=posterior medial orbital wall). Dunkelblau = linke Orbita, hellblau = rechte Orbita.

Im Rahmen der n=34 Frakturen in der medialen Orbitawand (**Diagramm 13**) waren die Subregionen „aM“ und „pM“ als anteriorer bzw. posteriorer Abschnitt n=33-mal bzw. n=20-mal betroffen. Bei einer Fraktur der Subregion „pM“ (n=1) konnte eine Beteiligung des Apex festgestellt werden (im Modifikationsvorschlag nicht separat gekennzeichnet).

4.3.3 Beteiligung anatomischer Landmarken

Die 4 anatomischen Landmarken aus dem Modifikationsvorschlag (**Diagramm 14**) dienen zur weiteren Charakterisierung der Frakturmuster. Am häufigsten war der Canalis infraorbitalis („C“) in Frakturen involviert (n=131). Wiederholt erwies sich vor allem die den N. infraorbitalis im anterioren und Midorbita-Bereich ummantelnde dünne Knochenlamelle als Schwachstelle im Orbitaboden. Die „inferior orbital fissure“ („F“) war ebenfalls häufig in die Frakturausläufer einbezogen (n=74). Die knöcherne Transitionszone zwischen Orbitaboden und medialer Orbitawand, also die „internal orbital buttress“ („IOB“), sowie der nasolacrimal canal („NLC“) waren vergleichsweise selten (n=33 bzw. n=20) am Frakturmuster beteiligt (**Diagramm 14**). Bei n=23 Frakturmustern mit gleichzeitiger Beteiligung von Orbitaboden und medialer Orbitawand (n=34) war die „IOB“ involviert (67,7%).

Von den vier anatomischen Landmarken waren durchschnittlich 2,25 +/- 0,96 an jedem Frakturmuster beteiligt (Median = 2, Minimum = 0, Maximum = 4).

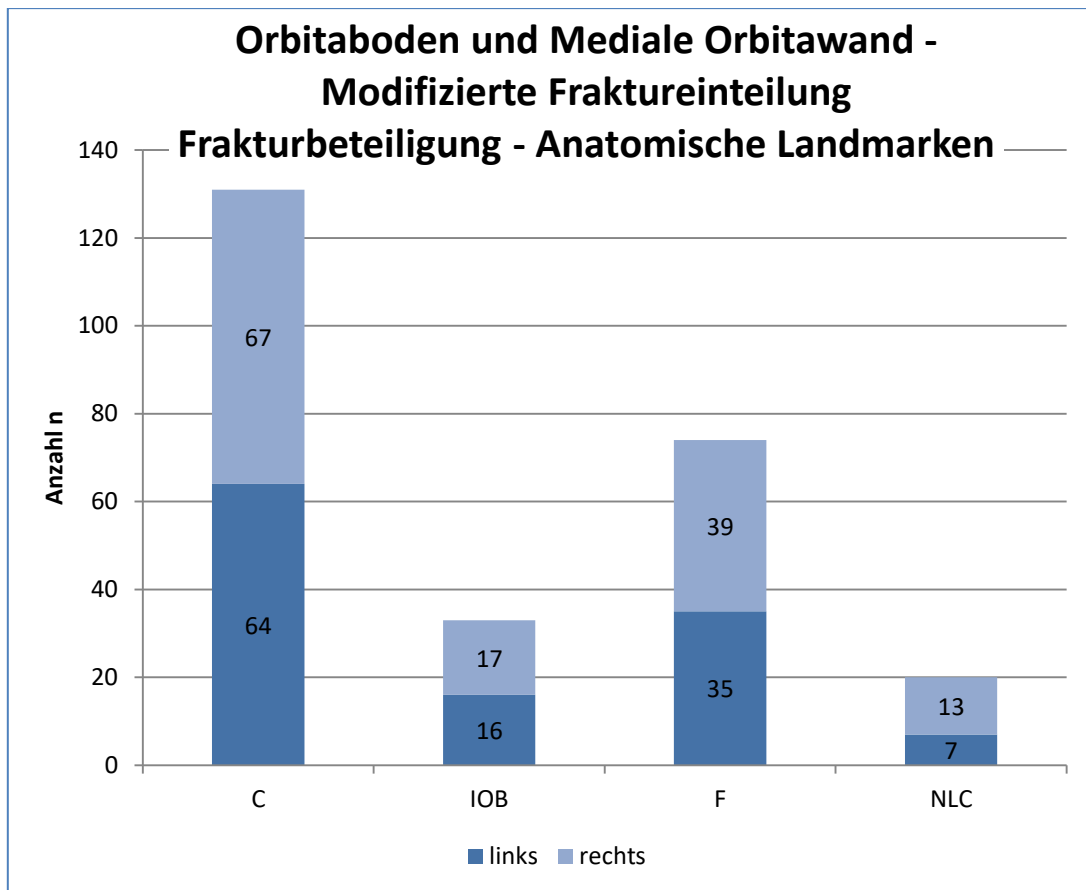


Diagramm 14: Häufigkeit beteiligter anatomischer Landmarken an den Frakturen in Orbitaboden und Medialer Orbitawand – Modifizierte Einteilung. Gesamthäufigkeit n=258 – Einzelheiten siehe Text. Bezeichnungen: „C“ (=Canalis infraorbitalis), „F“ (=Fissura orbitalis inferior), „IOB“ (=internal orbital buttress) und „NLC“ (=nasolacrimal canal). Dunkelblau = linke Orbita, hellblau = rechte Orbita.

4.3.4 Kombination der Subregionen und Involvierung der Landmarken bei Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand nach topographischen Gesichtspunkten

In den Fraktur Codes der modifizierten Klassifikation fanden sich auffallend häufig identische Kombinationen einzelner Subregionen - beispielsweise „aIM pIM...“ in den Gesamtcodes/ „Brutto“-Codes „aIM pIM aIL IOB C F“, „aIM pIM C“, „ aIM pIM PLE aIL C F“ oder „aIM pIM PLE aIL C F“ .

Häufig vorkommende Kombinationen von Subregionen, d.h. deren Akronyme bzw. Codes, und die Beteiligung von Landmarken bei Frakturmustern wurden nach klinisch topographischen Gesichtspunkten in mehreren Diagrammen zusammengestellt. Die Auswahl dieser Kombinationen orientierte sich an anatomischen Zusammenhängen in 5 therapie-relevanten Untereinheiten: medial des Infraorbitalkanals lokalisierte Subregionen im Orbitaboden, der anterioren Orbita zugehöriger Orbitaboden, Orbitaboden in toto, Subregionen dorsal des Nasolacrimalkanals (NLC) bzw. um die „internal orbital buttress“ (IOB) und Subregionen um die „posteromedial bulge“ auf Seiten des posterioren Orbitabodens und der medialen Orbitawand.

Referenzwert für prozentuale Häufigkeitsangaben in Bezug zum Orbitaboden (**Diagramm 15** und **17**) war die Gesamtzahl n=145 (=100%) der Orbitabodenfrakturen in der vorliegenden Untersuchungsreihe. In Bezug auf die mediale Orbitawand (**Diagramm 16** und **17**) war es die Gesamtzahl n=34 (=100%) der medialen Orbitawandfrakturen.

4.3.4.1 Orbitaboden medial des Infraorbitalkanals

Frakturmuster im Bereich des medialen Orbitabodens waren mit 72 % (n=105 von n=145) am häufigsten aus einer Kombination von Frakturen in den Subregionen „aIM pIM“ zusammengesetzt. Dabei war in n=96 Fällen der lateral der beiden Subregionen befindliche Canalis infraorbitalis „C“ in die Fraktur involviert. Umgekehrt ausgedrückt war der Infraorbitalkanal „C“ in nur etwa 9,5 % (n=9) der Fälle bei einer Frakturkombination in „aIM pIM“ nicht mitbetroffen (**Diagramm 15 A**).

4.3.4.2 Orbitaboden anterior

Die beiden Subregionen „aIM“ und „aIL“ entsprechen dem anterioren Orbitaboden in topographischer Querausrichtung und sind beidseits des Canalis infraorbitalis lokalisiert. Ein Frakturmuster mit Beteiligung beider Subregionen in Kombination fand sich in 46 % (n=66 von n=145).

Dabei war der Canalis infraorbitalis „C“ in n=64 bzw. 97 % der Fraktur-Kombinationen in „aIM aIL“ einbezogen (**Diagramm 15 B**).

4.3.4.3 Orbitaboden in toto

Frakturen des gesamten Orbitabodens, d.h. eine Frakturkombination bestehend aus den Subregionen „aIM aIL pIM“ war in 35 % (n=51 von n=145) vorhanden (**Diagramm 15 C**). Dabei war der Canalis infraorbitalis immer in die Fraktur eingeschlossen (Prozentsatz Code-Kombination „aIM aIL pIM“ = „aIM pIM aIL C“).

Die beiden beschriebenen Frakturmuster „aIM aIL pIM“ bzw. „aIM aIL pIM C“ umranden zusammen mit der Fissura orbitalis inferior („F“) die als „area innominata“ bezeichnete Subregion dorsal der „aIL“. Wie bereits dargelegt, konnten Frakturen dieses Bereiches nicht in allen CTs konkret gesehen und beurteilt werden (Abstand der CT-Sequenzen teilweise zu groß). Am wahrscheinlichsten waren Frakturen der „area innominata“ in Fällen von „aIM aIL pIM C F“-Frakturkombinationen. Diese kamen in 26 % aller Orbitabodenfrakturen vor (n=38 von n=145).

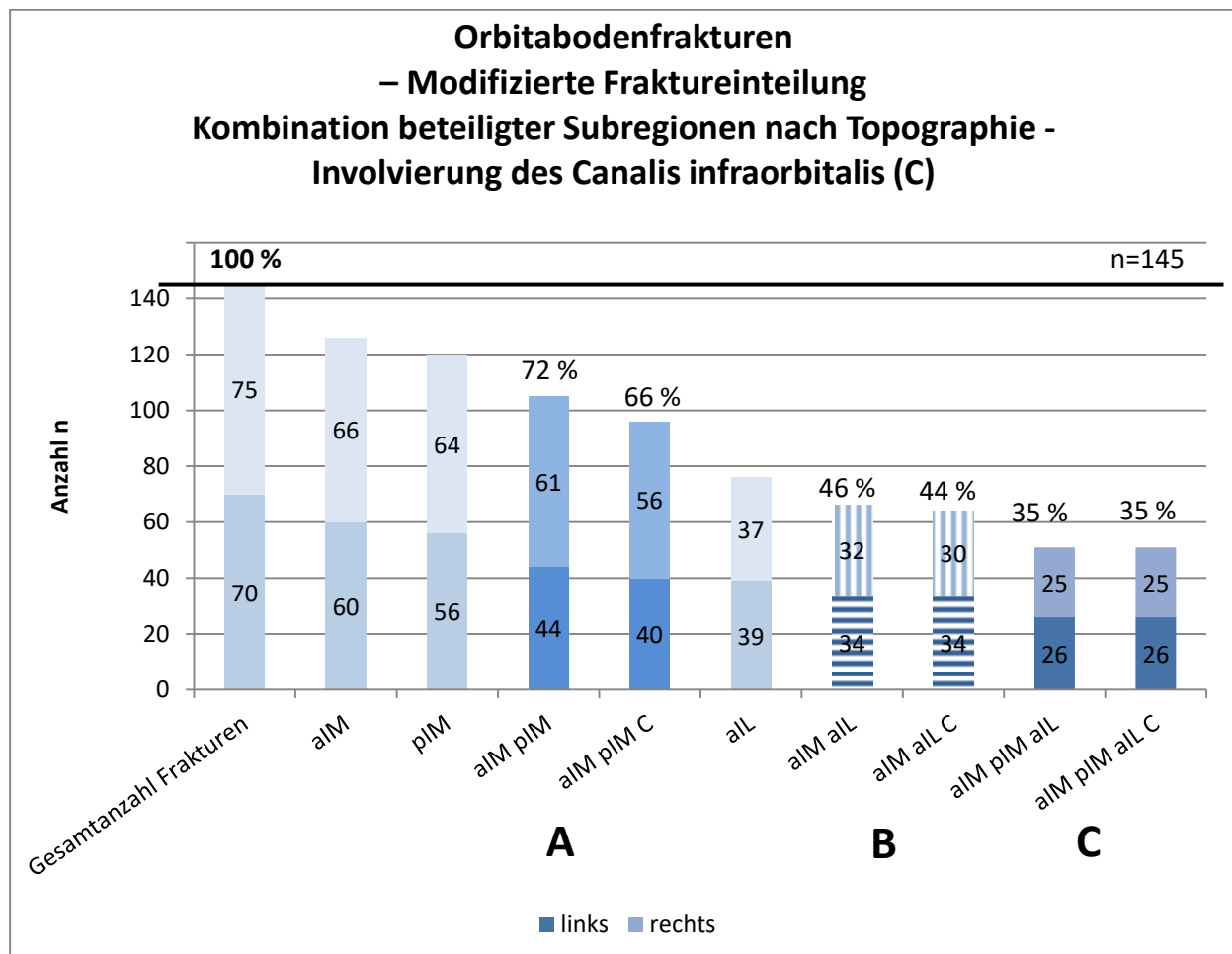


Diagramm 15: Fraktur-Kombinationen in den Subregionen des Orbitabodens nach topographischen Gesichtspunkten und Involvierung des Infraorbitalkanals „C“ – Modifizierte Einteilung. A = Orbitaboden medial des Infraorbitalkanals, B = Orbitaboden anterior, C = Orbitaboden in toto. Häufigkeiten und Prozentwerte (100 % entspricht der Gesamtzahl der Orbitabodenfrakturen n=145, 1. Säule von links; Vergleichswerte von „aIM“, „pIM“ und „aIL“ eingezeichnet) – Dunkelblau = linke Orbita, hellblau = rechte Orbita.

4.3.4.4 Subregionen dorsal des Nasilacrimalkanals (NLC) und um die „internal orbital buttress“ (IOB)

Im topographischen Zusammenhang interessante Frakturmuster in der Transitionszone zwischen anteriorer medialer Orbitawand und den medialen Anteilen des Orbitabodens unter Beteiligung der Subregionen „aM“, „pM“, „aIM“ und „pIM“ sowie der anatomischen Landmarken „IOB“ und „NLC“ zeigten die folgenden Kombinationen und Häufigkeiten (**Diagramm 16**):

Die anteriore mediale Orbitawand („aM“) war insgesamt n=33-mal Bestandteil aller untersuchten Frakturmuster in der internen Orbita (vgl. **Diagramm 13**). Mediale Orbitawandfrakturen lagen in insgesamt n=34 Fällen vor (n=1-mal nur „pM“ frakturiert).

In 82% (n=28 von n=34) der Fälle lag eine Kombination mit Frakturen im anteromedialen Orbitaboden („aM aIM“) vor.

Die zwischen den Subregionen „aM“ und „aIM“ befindliche „IOB“ (=internal orbital buttress) war in n=20 dieser Frakturkombination beschädigt („aIM aM IOB“).

Der „nasolacrimal canal“ („NLC“) ventral der Subregion „aM“ war bei n=10 Frakturkombinationen involviert (in diesen Fällen wurde auch „aIM“ als frakturiert eingestuft).

Frakturmuster in Kombination der Subregionen „aM aIM pIM“ fanden sich in 71% (n=24 von n=34) der Frakturen in der medialen Orbitawand. Zusammen mit den Subregionen „aM aIM pIM“ war „IOB“ n=18-mal, „NLC“ n=7-mal frakturiert.

Frakturen im Übergang anteriore mediale Orbitawand und Orbitaboden

– Modifizierte Fraktуреinteilung

Kombination beteiligter Subregionen,
Involvierung der Internal Orbital Buttress (IOB) und des
Nasolacrimonal Canal (NLC)

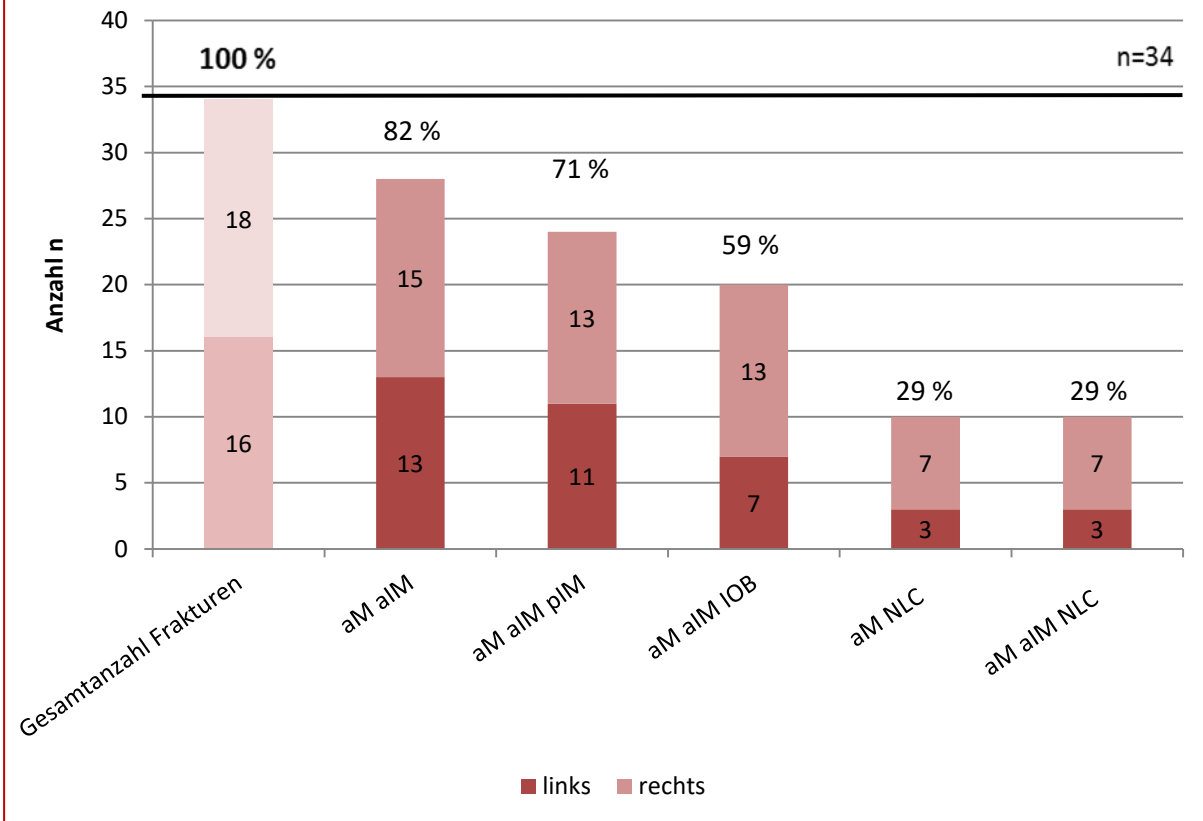


Diagramm 16: Fraktur-Kombinationen in den Subregionen im Übergang von anteriorer medialer Orbitawand „aM“ und dem medialen Orbitaboden „aIM“ (= anteriorer Orbitaboden) zu „pIM“ (= inferiore Midorbita) sowie Involvierung von „IOB“ und „NLC“ – Modifizierte Einteilung. Darstellung der absoluten Häufigkeiten und Prozentwerte (100% entspricht der Gesamtzahl der Frakturen in der medialen Orbitawand n=34, 1. Säule von links). Dunkelrot = linke Orbita, hellrot = rechte Orbita.

4.3.4.5 Subregionen um die „posteromedial bulge“ auf Seiten des posterioren Orbitabodens und der medialen Orbitawand

Im Einzugsbereich der „posterior medial bulge“ liegen die Subregionen „pIM“, „PLE“ und „pM“.

Bei Frakturen in dieser topographischen Untereinheit der Orbita ergeben sich verschiedene Kombinationsmöglichkeiten für eine Beteiligung der Subregionen und eine potentielle Involvierung der Landmarken Sulcus/Canalis infraorbitalis („C“), Fissura orbitalis inferior („F“) und „internal orbital buttress“ („IOB“) (**Diagramm 17**).

Die Subregion „pIM“ war in ca. 83% (n=120 von n=145) der Orbitabodenfrakturen beteiligt und war damit die zweithäufigst betroffene Subregion nach „aIM“ mit ca. 87% (n=126 von n=145).

In 57% (n=69 von n=120) der Frakturen mit „pIM“-Beteiligung war auch die Landmarke „F“ involviert (48 % der n=145 Orbitabodenfrakturen). In 56% (n=67 von n=120) mit „pIM“-Beteiligung konnte zudem eine Einbeziehung des Canalis infraorbitalis (als „pIM C F“) nachgewiesen werden (also insgesamt 46% der Gesamtanzahl von Orbitaboden-frakturen n=145, **Diagramm 17**).

Frakturmuster in Kombination der Subregionen „pIM PLE“ waren in 27% (n=39 von n=145, **Diagramm 17**) aller untersuchten Frakturen feststellbar. Ca. 69% (n=27 von n=39) dieser Kombinations-Frakturen zeigten zugleich eine Involvierung von „C“ und „F“ (entsprechend 19% von n=145 Frakturen, **Diagramm 17**).

Frakturen in der Subregion „pM“ waren in 13% aller Orbitafrakturen (n=145) bzw. in 56% (n=19 von n=34) aller medialen Orbitawand-Frakturen mit „aM“ kombiniert. Nur in einem Fall lag die Fraktur der posterioren medialen Orbitawand („pM“) nicht in Kombination mit dem anterioren Bereich der medialen Orbitawand („aM“) vor (Frakturcode dieser Ausnahme: „pIM pM IOB C“).

In den Frakturmustern mit Kombination in den Subregionen „pM pIM IOB“ (n=14) und „pM pIM PLE“ (n=11) kommt die simultane Beteiligung der posterioren medialen Orbitawand des posterioren Orbitabodens (= inferiore Midorbita) zum Ausdruck (**Diagramm 17**).

Zu den Fraktur-Kombinationen „pM pIM IOB“ bzw. „pM pIM PLE“ ist ergänzend anzumerken, dass „pM pIM“ ohne „IOB“/„PLE“ insgesamt n=17-mal aufgetreten ist.

**Frakturen im Einzugsbereich der Posterior Medial Bulge
– Modifizierte Fraktуреinteilung
Kombination beteiligter Subregionen,
Involvierung von (C) , (F) und (IOB)**

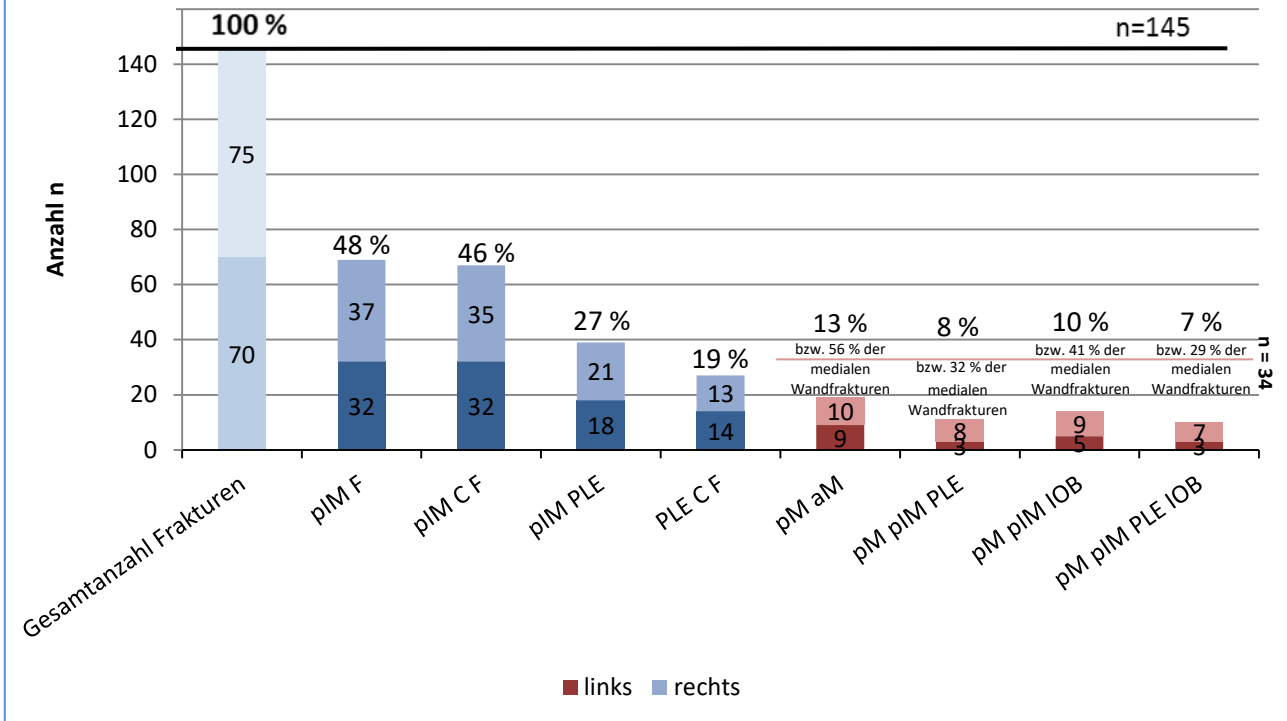


Diagramm 17: Frakturmuster unter Beteiligung der Subregionen und Involvierung der Landmarken im Einzugsbereich der „posterior medial bulge“ - Modifizierte Einteilung. „PIM“, „PLE“, „pM“ („aM“) und „F“, „C“ sowie „IOB“ - Darstellung der Häufigkeiten und Prozentwerte (100% entspricht n=145, 1. Säule von links; weitere (kleingedruckte) Prozentangaben der 4 rechten Säulen beziehen sich auf Anteil an n=34 [siehe rote Hilfslinie] medialen Orbitawandfrakturen) – Dunkelblau = linke Orbita, hellblau = rechte Orbita, dunkelrot = linke Orbita, hellrot = rechte Orbita.

4.4 Gegenüberstellung von AO CMF Klassifikation für Erwachsene und Modifikationsvorschlag zur Codierung von Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand

Die „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ im Orbitaboden und der medialen Orbitawand und ihre diesbezüglichen Codierungs-Formeln werden im Modifikationsvorschlag weiter präzisiert. Die Codierung des Modifikationsvorschlags für die inferomedialen Wände der internen Orbita unterscheidet sich durch die Benennung weiterer Subregionen im Orbitaboden und in der medialen Orbitawand („aIM“, „pIM“, „PLE“, „aIL“, „aM“, „pM“) sowie die explizite Angabe anatomischer Landmarken („C“, „F“, „IOB“, „NLC“). Mit Ausnahme von „C“ (= Canalis infraorbitalis) lässt sich eine Frakturbeteiligung der Landmarken in den „AO COIAC“-„Drop-Down Menues“ zwar dokumentieren, geht aber nicht automatisch in die Codierungsformeln der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ ein.*

Nach dem Modifikationsvorschlag mit seiner größeren Zahl von topographischen Subregionen im Orbitaboden kann ein Frakturmuster exakter eingegrenzt und in der Formel genauer wiedergegeben werden. Aus dieser größeren Grundmenge von topographischen Subregionen und Landmarken resultieren deutlich mehr mögliche Permutationen der Frakturcodes, d.h. theoretische Frakturmuster ohne Wiederholung, als in der AO CMF-Codierung (**Tabelle 4 und 5**). Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der Orbitaboden in der vorliegenden Untersuchungsreihe immer frakturiert war und Frakturen im medialen Bereich des Apex orbitae „A(m)“ separat aufzuführen sind, ergeben sich nach der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ 24 Permutationen für die Frakturcodes in Orbitaboden und medialer Orbitawand. Davon beziehen sich 6 Frakturcodes alleinig auf den Orbitaboden [„W1(i)“, „W2(i)“, „W1(i)2(i)“ jeweils +/- „A(m)“] und 18 Frakturcodes auf den Orbitaboden und die mediale Orbitawand [„W1(im)2(im)“, „W1(im)2(i)“, „W1(im)2(m)“, „W1(im)“, „W1(m)2(im)“, „W2(im)“, „W1(m)2(i)“, „W1(i)2(m)“, „W1(i)2(im)“ jeweils +/- „A(m)“]. Lediglich 11 von 24 dieser Frakturcodes bzw. Frakturmuster (n=3 im Orbitaboden und n=8 im Zusammenschluss von Orbitaboden und medialer Orbitawand) waren in der vorliegenden CT- Untersuchungsreihe tatsächlich realisiert (**Tabelle 4 und 5**).

Unter der gleichen Prämisse, wie zuvor, nämlich dass der Orbitaboden in der Untersuchungsreihe immer von Frakturen involviert war, errechnen sich für den Modifikationsvorschlag theoretisch 896 Permutationen der Frakturcodes (Berechnung als Kombination ohne Wiederholung: Die Reihenfolge bleibt außer Acht, der Orbitaboden muss

* Da die Involvierung von Landmarken nicht automatisch in die AO CMF Codierungs-Formel eingeht, wurde sie bei der Wiedergabe der Frakturmuster auch in den weiteren Ausführungen nicht berücksichtigt

betroffen sein,, ohne diese Prämisse der Orbitaboden-Beteiligung sind es sogar 1023 Permutationen.

Faktisch fanden sich nur 63 der 896 möglichen Frakturcodes - (35 im Orbitaboden und 28 im Zusammenschluss von Orbitaboden und der medialen Orbitawand). „Nonsense“-Frakturmuster würden sich bei alleiniger Involvierung der vier anatomischen Landmarken (n=15 Permutationen) ergeben.

Das Beispiel von drei unterschiedlichen Frakturmustern im Orbitaboden, die nur im Modifikationsvorschlag zum Ausdruck kommen, verdeutlicht dessen präzisere Aussagemöglichkeiten.

Die AO CMF Trauma Codierung „Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)“ (Abb. 51) kann nicht zwischen den drei folgenden Frakturmustern nach dem Modifikationsvorschlag (Abb. 52 A - C) differenzieren und ist für alle identisch.

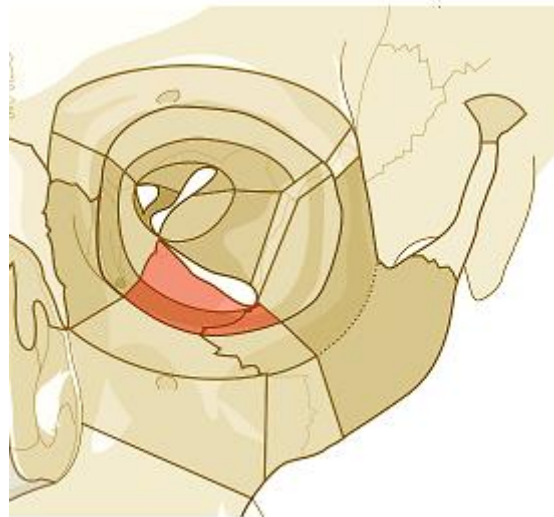
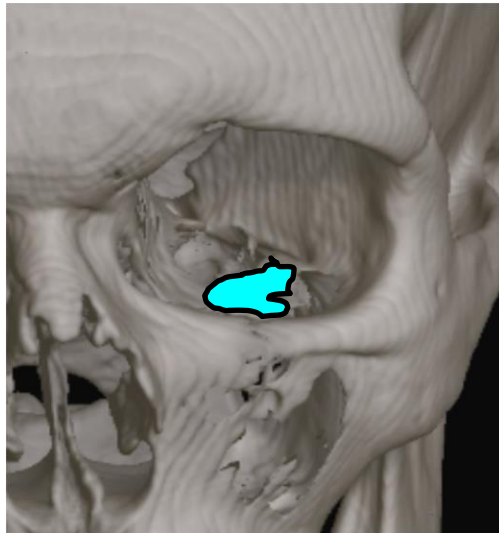
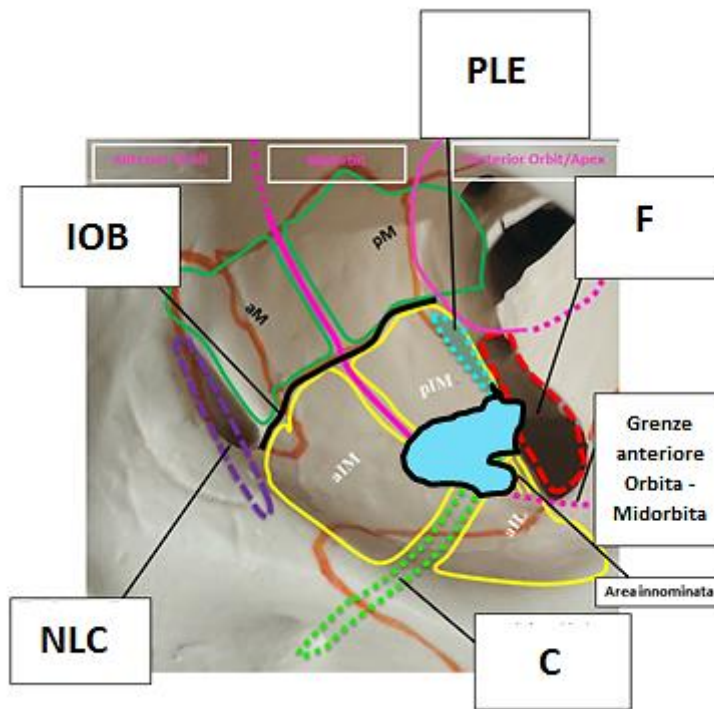


Abb. 51: „AO COIAC“-Icon zum AO CMF Trauma Klassifikations-Code für Erwachsene „Midface92 m.Oi O (left) W1(i)2(i)“. Dieser Code umfasst Frakturen in der Gesamtfläche des Orbitabodens (= anteriore Orbita und Midorbita) und entspricht im klinischen Sprachgebrauch einer isolierten Orbitabodenfraktur (n=41 mit diesem exakt gleichen „Brutto“-Code für Frakturen der anterioren Orbita und Midorbita in der Untersuchungsreihe). Isolierte Orbitabodenfrakturen, d.h. Frakturen mit den Netto-Codes „W1(i)2(i)“ / „W1(i)“ / „W2(i)“ (ohne weitere MGF oder Orbitafrakturen auf der Gegenseite), lagen insgesamt n=46-mal vor.

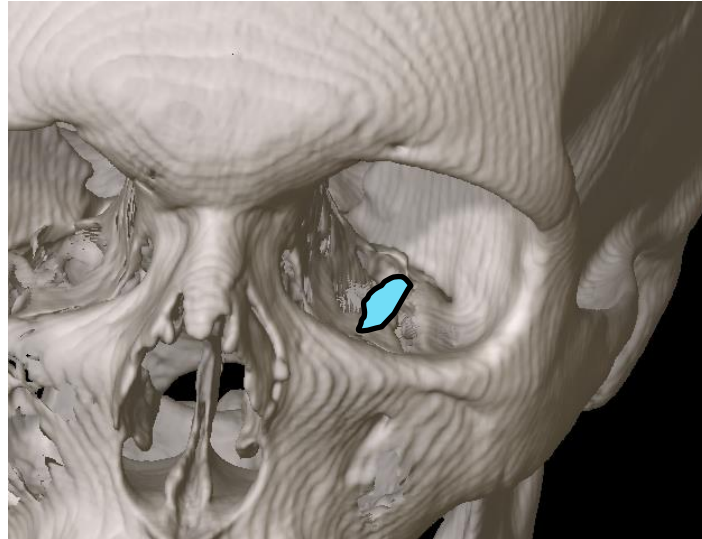


A1

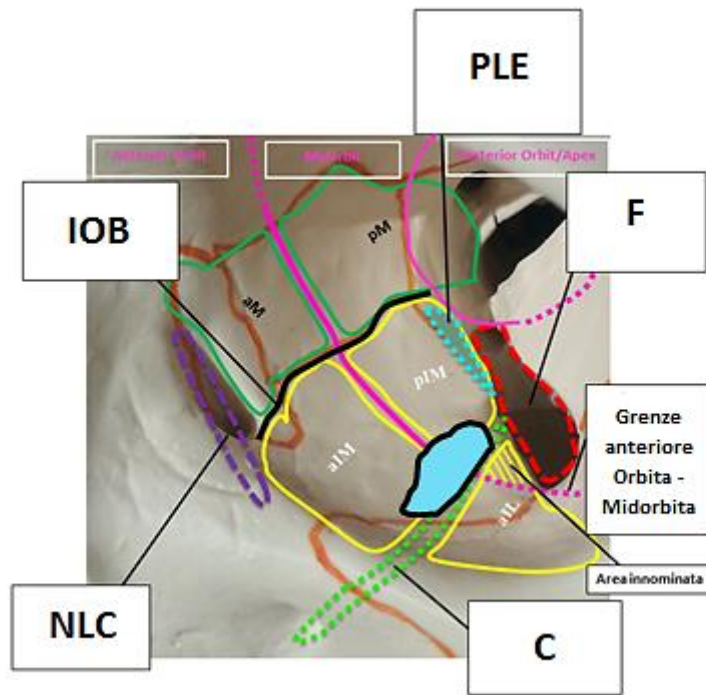


A2

Abb. 52 A1 und A2: 3D-CT mit Segmentierung einer zentral und dorsal im Orbitaboden gelegenen Fraktur mit Einbeziehung des Canalis infraorbitalis und der Fissura orbitalis inferior (**A1**) - Darstellung der eingeschlossenen Subregionen und anatomischen Landmarken im Schema des Modifikationsvorschlages (**A2**). Der präzisierte Code lautet: „aIM pIM aIL C F“ in Gegenüberstellung zu „O (left) W1(i)2(i)“. Subregionen – „aIM“ = anterior inferior medial orbital wall, „pIM“ = posterior inferior medial orbital wall (midorbit), „aIL“ = anterior inferior lateral orbital wall, „aM“ = anterior medial wall, „pM“ = posterior medial wall, „PLE“ = posterior ledge; Anatomische Landmarken – „IOB“ = internal orbital buttress, „C“ = infraorbital canal, „F“ = inferior orbital fissure, „NLC“ = nasolacrimal canal.

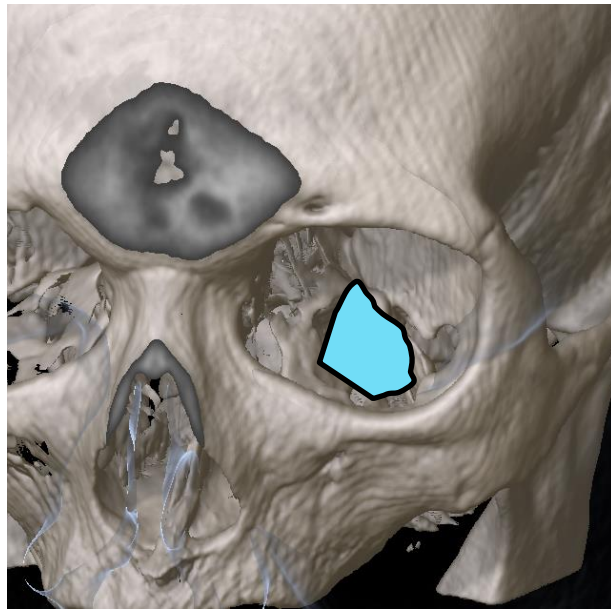


B1

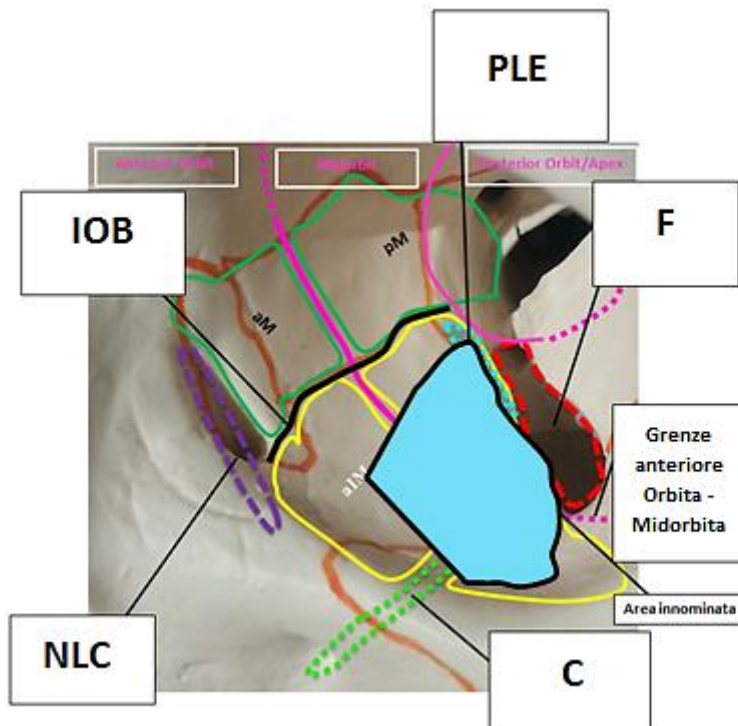


B2

Abb. 52 B1 und B2: 3D-CT mit Segmentierung einer zentral und medial gelegenen Fraktur im Orbitaboden unter Einbeziehung des Canalis infraorbitalis (**B1**) - Darstellung der eingeschlossenen Subregionen und der Landmarke „C“ im Schema des Modifikationsvorschlages (**B2**). Der präzisierte Code lautet: „aIM pIM C“ in Gegenüberstellung zu „O (left)W1(i)2(i)“. Subregionen – „aIM“ = anterior inferior medial orbital wall, „pIM“ = posterior inferior medial orbital wall (midorbit), „aIL“ = anterior inferior lateral orbital wall, „aM“ = anterior medial wall, „pM“ = posterior medial wall, „PLE“ = posterior ledge; Anatomische Landmarken – „IOB“ = internal orbital buttress, „C“ = infraorbital canal, „F“ = inferior orbital fissure, „NLC“ = nasolacrimal canal.



C1



C2

Abb. 52 C1 und C2: 3D-CT mit Segmentierung einer ausgedehnten zentralen, medialen und lateralen Fraktur im Orbitaboden mit Einbeziehung der „posterior ledge“ („PLE“), des Canalis infraorbitalis und der Fissura orbitalis inferior (**C1**) - Darstellung der 4 eingeschlossenen Subregionen und der beiden Landmarken „C“ und „F“ im Schema des Modifikationsvorschlags (**C2**). Der präzisierte Code lautet: „aIM pIM PLE aIL C F“ in Gegenüberstellung zu „O (left)W1(i)2(i)“. Subregionen – „aIM“ = anterior inferior medial orbital wall, „pIM“ = posterior inferior medial orbital wall (midorbit), „aIL“ = anterior inferior lateral orbital wall, „aM“ = anterior medial wall, „pM“ = posterior medial wall, „PLE“ = posterior ledge; Anatomische Landmarken – „IOB“ = internal orbital buttress, „C“ = infraorbital canal, „F“ = inferior orbital fissure, „NLC“ = nasolacrimal canal.

Die Subregionen der medialen Orbitawand zur Fraktуреinteilung nach dem Modifikationsvorschlag unterscheiden sich nicht wesentlich von der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“. Die Bezeichnungen sind anders benannt: „aM“ statt („W1(m)“ und „pM“ statt „W2(m)“. erinnert sei daran, dass „pM“ bis in den Medialbereich des Apex orbitae (unter Einschluss des Medialrandes der vorderen Öffnung des Canalis opticus) reicht, wobei dieser Apex-Teilbereich in der AO CMF Trauma Codierung als „A(m)“ extra benannt wird.

4.4.1 Vergleich der Häufigkeit von Frakturmustern im Orbitaboden (Netto3-Codes): AO CMF Trauma-Code für Erwachsene versus Codierung nach Modifikationsvorschlag *

Von n=145 Orbitafrakturen umfassten n=111 Frakturen nur den Orbitaboden und n=34 Frakturen den Orbitaboden und die mediale Orbitawand in Kombination. Diese wurden in 2 Schritten getrennt (4.4.1 für den Orbitaboden / 4.4.2 für den Orbitaboden und mediale Orbitawand) anhand der Einteilung nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ sowie nach dem Modifikationsvorschlag miteinander verglichen.

Den n=111 alleinigen Orbitabodenfrakturen entspricht die Summe aus n=86 „W1(i)2(i)“- , n=19 „W1(i)“- und n=6 „W2(i)“-Frakturmustern.

„W1(i)2(i)“ war das innerhalb aller CTs dieser Studie (bei Auswertung von unilateralen und pro Gesichtshälfte bilateraler Mittelgesichtsfrakturen und Fokussierung auf den Orbitaboden und die mediale Orbitawand [n=145]) mit n=86 dominierende Frakturmuster (Vgl. **Tabelle 4**).

Für den AO CMF Trauma Code „W1(i)2(i)“ ergaben sich nach dem Modifikationsvorschlag insgesamt 23 unterschiedliche Codierungs-Varianten (vgl. **Tabelle 4**). Die drei Codierungen „aIM pIM aLL C F“ (n=14), „aIM pIM C“ (n=13) und „aIM pIM PLE aLL C F“ (n=11) kamen dabei am häufigsten vor. In n=23 von n=86 Frakturen des „W1(i)2(i)“-AO CMF Trauma Codes ergab sich in den korrelierenden Varianten des Modifikationsvorschlags eine Involvierung der Subregion „PLE“, d.h. der Facies orbitalis des Os palatinum, gleichbedeutend des für Rekonstruktionen der Orbitawände äußerst wichtigen Auflagelimes „posterior ledge“.

Als Pendant zum Frakturmuster mit dem AO CMF Trauma Code „W1(i)“ (n=19) fanden sich im Modifikationsvorschlag 9 unterschiedliche Codierungs-Varianten (vgl. **Tabelle 4**) - für die Subregionen „aIM“ und/oder „aLL“. Dabei waren Frakturmuster mit der Codierung für eine kombinierte Beteiligung der beiden Subregionen „aIM“ und „aLL“ mit n=12 deutlich häufiger vertreten als alleinige Frakturen in den Subregionen „aIM“ (n=5) oder „aLL“ (n=2). Bei alleinigen Frakturen oder alleiniger Frakturbeteiligung im anterioren Orbitaboden mit dem „W1(i)“ AO CMF Trauma Code fand sich - wie nicht anders zu erwarten - keine „PLE“ Beteiligung unter den entsprechenden Codierungs-Varianten des Modifikationsvorschlags.

Für das AO CMF Trauma Frakturmuster „W2(i)“ zeigten sich 3 unterschiedliche Codierungs-Varianten nach dem Modifikationsvorschlag. Dies waren: „pIM C F“ (n=3), „pIM C“ (n=2), „pIM PLE C F“ (n=1) (**Tabelle 4**). Bei diesen insgesamt n=6 Frakturen im Midorbita-Bereich des Orbitabodens war „PLE“ also nur einmal im Rahmen der Variante „pIM PLE C F“ beteiligt.

* Zur Vereinfachung der Darstellung in den Kapiteln 4.4.1, 4.4.2 und 4.5 wurden die AO CMF Trauma Codes für Frakturen im Orbitaboden und der medialen Orbitawand auf die relevanten Formelanteile (Netto3-Codes) reduziert. Da Frakturen der lateralen Orbitawand und des Orbitadachs nicht Gegenstand des Modifikationsvorschlags waren, wurden auch diese Wände aus den AO CMF Formeln entfernt – beispielsweise wurde die Formel „W1(li)2(i)“-Code zu „W1(i)2(i)“ oder „W1(lim)2(im)“ zu „W1(im)2(im)“ transformiert.

Die mittleren Frakturflächen waren bei der Kombination von Frakturen in den Subregionen „W1(i)“ und „W2(i)“ erwartungsgemäß größer [2,94 +/-1,08 cm²] als bei alleinigem Auftreten in „W1(i)“ [2,31 +/-1,10 cm²] oder „W2(i)“ [1,87 +/- 0,95 cm²].

Die „internal orbital buttress“ gilt als wichtige Struktur bei der Reparatur von infero-medialen Orbitawandfrakturen. Die korrekte diagnostische Beurteilung reduziert das Risiko für eine Fehlplatzierung des Titanmeshes (vgl. Abschnitt 2.3.3.5.2). In der vorliegenden Untersuchungsreihe war „IOB“ in 9 % (n=8 von n=86) in das Frakturmuster mit dem Code „W1(i)2(i)“-Typs involviert (IOB-Involvierung n=33-mal bei allen n=145 Orbitafrakturen vgl. **Diagramm 14**). Frakturen in der Subregion „W1(i)“ zeigten in ca. 11 % (n=2 von n=19) eine beschädigte „IOB“ (11%). Frakturen in der Subregion „W2(i)“ waren nicht mit Verletzungen der „IOB“ verbunden.

Die Involvierung des Canalis infraorbitalis, d.h. der Landmarke „C“ in die Frakturmuster ist klinisch hinsichtlich neurosensorischer Defizite - Hyp-/Anästhesien im Ausbreitungsgebiet des N. infraorbitalis - und möglicher chirurgischer Dekompression/Neurolyse des N. infraorbitalis von Interesse. Eigentlich ist „C“ die einzige, neu eingeführte Landmarke im Modifikationsvorschlag. Alle anderen Landmarken („IOB“, „F“, „NLC“) sind im „AO COIAC“-Softwareprogramm dokumentierbar, werden aber im AO CMF Trauma-Code nicht automatisch wiedergegeben.

In den Frakturmustern der gesamten Untersuchungsreihe (n=145) lag in 90 % (n=131) eine Beteiligung der Canalis infraorbitalis vor (vgl. **Diagramm 14**).

Bei Betrachtung allein auf den Orbitaboden beschränkter Frakturmuster (Summe n=111) war der Infraorbitalkanal in 92% (n=102) involviert (**Tabelle 4**).

Bei 92 % (n=79 von n=86) der Frakturen mit dem Subregionen Muster „W1(i)2(i)“ konnte eine Beteiligung des Infraorbitalkanals „C“ nachgewiesen werden. Bei Frakturen in der Subregion „W1(i)“ zeigten 90 % (n=17 von n=19) und in der Subregion „W2(i)“ 100 % (n=6 von n=6) Involvierungen des Canalis infraorbitalis. Bei Frakturmustern in den Subregionen „aIM pIM aIL“, d.h. bei Orbitabodenfrakturen lateral und medial des Canalis infraorbitalis, war der Infraorbitalkanal immer (100 % - n=38 von n=38) eingeschlossen.

Die Fissura orbitalis inferior („F“) war in n=74 Frakturmuster (51%) des gesamten Untersuchungskollektivs (n=145) einbezogen. An den Frakturmustern im Orbitaboden war die Fissura orbitalis inferior in einem Prozentsatz von 51 % (n=57 von n=111) beteiligt (**Tabelle 4**). Bei den korrelierenden Frakturvarianten des Modifikationsvorschlages zum AO CMF Trauma Code „W1(i)2(i)“ (n=86) war „F“ in n=49 Fällen (57%) involviert.

Bei den Frakturvarianten in Entsprechung zum „W1(i)“-AO CMF Trauma Code (n=19), d.h. im anterioren Orbitaboden, also vor der „anterior loop“ der Fissura orbitalis inferior war eine Beteiligung von „F“ mit 21 % (n=4) verständlicherweise eine vergleichsweise seltene Ausnahmeerscheinung. Erwartungsgemäß deutlich häufiger kam es dagegen zur Einbeziehung von „F“ bei Frakturen im Midorbita-Bereich des Orbitabodens, der direkt in

den Medialrand der Fissura orbitalis inferior übergeht. An den Frakturmustern in diesem Bereich mit dem AO CMF Trauma Code „W2(i)“ (Summe n=6) war „F“ in der Lesart des Modifikationsvorschlags in 66 % (n=4) beteiligt (**Tabelle 4**).

Der „nasolacrimal canal“ (NLC) mit seiner direkten knöchernen Umgebung, der als topographische Eingangszone zur „internal orbital buttress“ („IOB“) bzw. zum „inferomedial orbital strut“ verstanden werden kann, war in 14% (n=20 von n=145) der Gesamtuntersuchungsreihe (vgl. **Diagramm 14**) involviert. Bei auf den Orbitaboden beschränkten Frakturen war „NLC“ in 9% der Fälle (n=10 von n=111) mitbetroffen; im Einzelnen – in 11 % (n=9 von n=86) der Frakturmuster in den beiden Subregionen „W1(i)2(i)“ und in ca. 5% (n=1 von n=19) bei Frakturen in der Subregion „W1(i)“.

Ohne eine direkte anatomische Nachbarschaft waren Frakturen in der Subregion „W2(i)“ erwartungsgemäß nicht mit Verletzungen des „nasolacrimal canals“ assoziiert.

Die an Orbitabodenfrakturen (n=111) beteiligten Subregionen und die anatomischen Landmarken in der Lesart des Modifikationsvorschlags beliefen sich in der Summe auf jeweils „aIM“ n=98, „pIM“ n=92, „PLE“ n=24, „aIL“ n=57 „IOB“ n=10, „C“ n=102, „F“ n=57 und „NLC“ n=10 (Addition der Zwischensummen aus **Tabelle 4**).

Netto3-Code-Ausschnitt aus AO CMF Trauma Klassifikation	Korrelierende Codierungen des Modifikationsvorschlages								Anzahl Codierungs-Varianten (Modifikations-vorschlag)	Mittlere Frakturfläche in cm ²
	aIM	pIM	PLE	aIL	IOB	C	F	NLC		
W1(i)2(i)	aIM	pIM		aIL		C	F		14	Mittelwert: 2,94 Standardabw.: 1,08 Median: 2,97 Max.: 5,7 Min.: 0,59
(n=86)	aIM	pIM				C			13	
	aIM	pIM	PLE	aIL		C	F		11	
	aIM	pIM				C	F		8	
	aIM	pIM							6	
	aIM	pIM		aIL		C			5	
	aIM	pIM	PLE			C	F		5	
	aIM	pIM	PLE	aIL		C			3	
		pIM		aIL		C	F		3	
	aIM	pIM		aIL		C	F	NLC	2	
	aIM	pIM				C	F	NLC	2	
	aIM	pIM				C		NLC	2	
	aIM	pIM			IOB	C			2	
	aIM	pIM		aIL	IOB	C			1	
	aIM	pIM	PLE	aIL	IOB	C	F		1	
	aIM	pIM		aIL	IOB	C		NLC	1	
	aIM	pIM	PLE			C			1	
	aIM	pIM					F		1	
	aIM	pIM	PLE		IOB	C	F		1	
	aIM	pIM			IOB	C		NLC	1	
	aIM	pIM	PLE		IOB	C			1	
		pIM		aIL		C			1	
		pIM		aIL		C	F	NLC	1	
Summe: aIM = 81, pIM=86, PLE= 23, aIL=43, IOB= 8, C= 79, F= 49, NLC= 9										
W1(i)	aIM			aIL		C			6	Mittelwert: 2,31 Standardabw.: 1,10 Median: 1,92 Max.: 5,04 Min.: 0,21
(n=19)	aIM					C			5	
	aIM			aIL		C	F		2	
	aIM			aIL			F		1	
	aIM			aIL	IOB	C			1	
	aIM			aIL	IOB	C	F		1	
				aIL		C			1	
				aIL		C		NLC	1	
	aIM			aIL					1	
Summe: aIM = 17, pIM= 0, PLE= 0, aIL=14, IOB= 2, C= 17, F= 4, NLC= 1										

Netto3-Code-Ausschnitt aus AO CMF Trauma Klassifikation	Korrelierende Codierungen des Modifikationsvorschlages								Anzahl Codierungs-Varianten (Modifikations-vorschlag)	Mittlere Frakturfläche in cm ²	
	aIM	pIM	PLE	aIL	IOB	C	F	NLC			
W2(i)		pIM				C	F		3	Mittelwert:	1,87
(n=6)		pIM				C			2	Standardabw.:	0,95
		pIM	PLE			C	F		1	Median:	1,59
										Max.:	3,74
										Min.:	0,91
Summe: aIM = 0, pIM= 6, PLE= 1, aIL= 0, IOB= 0, C= 6, F= 4, NLC= 0											

Tabelle 4: Häufigkeit der drei AO CMF Trauma-Codes (Netto3) für den Orbitaboden n=111 [„W1(i)2(i)“; „W1(i)“; „W2(i)“] in Korrelation zu den Fraktur-Codierungen des Modifikationsvorschlages. Rechte Spalte: Mittlere Frakturflächen (Standardabweichung, Median, Maximum und Minimum) für die einzelnen Frakturmuster der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“. Dunkelblaue Zwischen-Zeilen: Jeweils (Zwischen-) Summen der Frakturen in den Subregionen des Modifikationsvorschlages bzw. der Beteiligung anatomischer Landmarken entsprechend der drei o.g. nach dem AO CMF Trauma-Code benannten Subregionen.

4.4.2 Vergleich der Häufigkeiten von kombinierten Frakturmustern in Orbitaboden und Medialer Orbitawand (Netto3-Codes): AO CMF Trauma-Code versus Codierung nach Modifikationsvorschlag

Isolierte Frakturen der medialen Orbitawand kamen in der gesamten Untersuchungsreihe (n=145) nicht vor, die Frakturen der medialen Orbitawände waren immer mit Frakturen des Orbitabodens kombiniert (Häufigkeit n=34). Auch in diesem Abschnitt erfolgte die Untersuchung nach „Netto3“-Codes.

Nach dem AO CMF Trauma-Code war „W1(im)2(im)“ (n=14) dabei das häufigste Frakturmuster. In einem weiteren Fall (n=1) reichte die „W1(im)2(im)“-Fraktur bis in die mediale Apexregion „A(m)“. Die entsprechende Codierung des Modifikationsvorschlages, in dem die Apex-Beteiligung nicht besonders hervorgehoben wird („pM“ enthält per Definition den medialen Apex), lautete: „pIM PLE aIL aM pM IOB C“. Dies war zugleich das einzige Muster aus der Reihe der Frakturen in den beiden Subregionen „W1(im)2(im)“-Frakturen, indem nicht „aIM“ - also der mediale anteriore Orbitaboden - sondern ausschließlich „aIL“ (ohne „aIM“) frakturiert war.

Insgesamt gesehen verbargen sich hinter dem AO CMF Trauma-Code „W1(im)2(im)“ (n=14+1) in der Codierung des Modifikationsvorschlages 11 unterschiedliche Varianten (**Tabelle 5**), die demzufolge alle nur eine geringe Häufigkeit (überwiegend n=1 bis maximal n=3) aufwiesen.

Innerhalb dieser 11 Modifikations-Fraktur-Formeln wurde „PLE“ n=11-mal als an den Frakturmustern mitbeteiligte topographische Subregion eingestuft.

Die durchschnittlichen Frakturflächen für den Frakturtyp „W1(im)2(im)“ betragen in der medialen Orbitawand 3,19 +/- 1,41 cm² und im Orbitaboden 3,97 +/- 1,14 cm² und waren damit pro Wandung und in der Summation die größten mittleren Frakturflächen in der Untersuchungsreihe (vgl. **Tabelle 4 und 5**).

Frakturmuster mit dem AO CMF Trauma-Code „W1(im)2(i)“ waren insgesamt n=10-mal vorhanden. Als Korrelat gemäß der Codierung des Modifikationsvorschlages waren die drei Subregionen „aIM“, „pIM“ und „aM“ immer von Frakturen betroffen. In Assoziation mit den Subregionen „PLE“ und „aIL“ ergaben sich insgesamt 8 Codierungs-Varianten (**Tabelle 5**). Die Subregion „PLE“ war dabei insgesamt n=3 mal in das Frakturmuster einbezogen.

Die Flächen für das Frakturmuster „W1(im)2(i)“ lagen im Mittel bei 3,21 +/- 0,67 cm² für den Orbitaboden und 1,41 +/- 1,01 cm² für die mediale Orbitawand.

Die beiden Frakturmuster mit dem AO CMF Trauma-Code „W1(im)2(m)“ sowie und „W1(im)“ kamen in der Untersuchungsreihe jeweils n=3-mal vor, wobei sich jedes dieser Frakturmuster nach dem Modifikationsvorschlag nochmals in weitere drei unterschiedliche Codierungs-Varianten aufteilte.

Für die Frakturmuster „W1(im)2(m)“ beliefen sich die Frakturflächen im Orbitaboden im Mittel auf 2,03 +/- 1,72 cm² und in der medialen Orbitawand im Mittel auf 2,03 +/- 0,35 cm².

Bei „W1(im)“-Frakturmustern wies der Orbitaboden mittlere Frakturflächen in der Größe von 2,12 +/- 0,78 cm² auf und die mediale Orbitawand in der Größe von 1,23 +/- 0,11 cm².

Für die Muster der drei restlichen Frakturkombinationen in Orbitaboden und medialer Orbitawand war jeweils ein unterschiedlicher AO CMF Trauma-Code zu verzeichnen mit Transformierung in je eine Codierungs-Variante aus dem Modifikationsvorschlag: „W1(m)2(im)“ mit „pIM aM pM“ als Pendant, „W2(im)“ mit dem Korrelat „pIM pM IOB C“ und „W1(m)2(i)“ in Form von „pIM PLE aM IOB C F“ - zugehörige Frakturflächen zu diesen Formeln siehe **Tabelle 5**.

Wegen seiner Bedeutung für die Rekonstruktion der Orbitawände mit Titanmeshes sei zusammenfassend noch einmal auf Frakturen in der Subregion „PLE“ eingegangen. Im Unterschied zu einer Häufigkeit von 22% (n=24 von n=111) bei auf den Orbitaboden beschränkten Frakturmustern war „PLE“ bei kombinierten Frakturmustern in Orbitaboden und medialer Orbitawand in 44% (n=15 von n=34) der Fälle vertreten. Die Einbeziehung von „PLE“ konzentrierte sich dabei am weitaus häufigsten (n=11 von n=15) auf die Frakturmuster mit den ausgedehntesten Flächengrößen, die unter dem AO CMF Trauma-Code „W1(im)2(im)“ zusammengefasst sind. Im übrigen war „PLE“ nur innerhalb der Frakturmuster mit dem AO CMF Trauma Code „W1(im)2(i)“ mit n=3 von n=10 bzw. „W1(m)2(i)“ mit n=1 von n=1 betroffen (**Tabelle 5**).

Die „internal orbital buttress“ („IOB“) war bei den kombinierten Frakturmustern in Orbitaboden und medialer Orbitawand in 68 % der Fälle (n=23 von n=34) involviert. Damit lag die „IOB“-Beteiligung fast 7,5-fach höher gegenüber der Häufigkeit von 9 % (n=10 von n=111) bei den auf den Orbitaboden beschränkten Frakturmustern. In Entsprechung zum AO CMF Trauma-Code war „IOB“ innerhalb der Frakturmuster-Varianten nach dem Modifikationsvorschlag im Einzelnen folgendermaßen beteiligt: bei „W1(im)2(im)“ in n=13 Fällen, bei „W1(im)2(i)“ in n=6 Fällen, bei „W1(im)“ in n=2 Fällen und bei „W2(im)“ und „W1(m)2(i)“ in jeweils n=1 Fall (**Tabelle 5**).

Während die Beteiligung des Canalis infraorbitalis an den Frakturmustern in der gesamten Untersuchungsreihe bei einem Prozentsatz von 90 % (n=131 von n=145) und bei den reinen Orbitabodenfrakturen bei 92% (n=102 von n=111) lag, war der Infraorbitalkanal bei den kombinierten Frakturmustern in Orbitaboden und medialer Orbitawand nur in 85 % (n=29 von n=34) involviert, allerdings mit besonderer Häufung bei Frakturen mit dem AO CMF Trauma Code „W1(im)2(im)“ in n=13 von 15 Fällen und bei „W1(im)2(i)“ in n=10 von n=10 Fällen. Bei den Beteiligungen des Canalis infraorbitalis „C“ fand sich in 50 % (n=17 von n=34) der Frakturmuster-Kombinationen neben den Frakturverläufen im Medialbereich des Orbitabodens ein Übergreifen nach lateral auf die Subregion „aL“.

Für das Frakturmuster „W1(im)2(m)“ (n=3) ergab sich im Modifikationsvorschlag lediglich bei einer von drei entsprechenden Codierungs-Varianten die Involvierung nur einer anatomischen Landmarke, nämlich des Canalis infraorbitalis in der Fraktur Formel „aIL aM pM C“. Alle anderen anatomischen Landmarken blieben bei diesem Verletzungsmuster nach diesem AO CMF Trauma-Code ausgespart.

Die Fissura orbitalis inferior „F“ war in einem Prozentsatz von 50% (n=17 von n=34) an den kombinierten Frakturmustern in Orbitaboden und medialer Orbitawand miteinbezogen. Eine Involvierung von „F“ fand sich, wenn Frakturen in den folgenden Subregionen vorlagen: „W1(im)2(im)“ (n=10 von n=15), bei „W1(im)2(i)“ mit n=5 von n=10 sowie „W1(im)“ mit n=1 von n=3 und „W1(m)2(i)“ mit n=1 von n=1. Die zugehörigen Codierungs-Formeln des Modifikationsvorschlags sind in **Tabelle 5** aufgeführt.

Der Tränengangskanal bzw. „Nasolacrimal Canal“ (Landmarke „NLC“) mit seiner direkten knöchernen Umgebung war nur in einem relativ geringen Prozentsatz von 29% (n=10 von n=34) im Vergleich zu den anderen anatomischen Landmarken in die kombinierten Frakturmuster in Orbitaboden und medialer Orbitawand einbezogen.

Bei den Frakturmustern nach dem AO CMF Trauma-Code war „NLC“ in „W1(im)2(im)“ in n=3 von n=15 Fällen, in „W1(im)2(i)“ in n=4 von n=10 Fällen und in „W1(im)“ in n=3 von n=3 Fällen in den zugehörigen Codierungs-Varianten nach Modifikationsvorschlag zu finden. Innerhalb der Frakturmuster-Codierungen nach dem AO CMF Trauma-Code „W1(im)“ (n=3) war „NLC“ dabei in allen Fällen zusammen mit dem Infraorbitalkanal „C“ einbezogen (**Tabelle 5**).

In der Gesamtsumme waren unter den kombinierten Frakturen im Orbitaboden und der medialen Orbitawand (n=34) nach Lesart des Modifikationsvorschlags die Subregionen und anatomischen Landmarken jeweils folgendermaßen betroffen: „aIM“ n=28, „pIM“ n=28, „PLE“ n=15, „aIL“ n=19, „aM“ n=33, „pM“ n=20 „IOB“ n=23, „C“ n=29, „F“ n=17 und „NLC“ n=10 (Addition der Zwischensummen aus **Tabelle 5**).

Zusammenfassend fanden sich in der medialen Orbitawand mit n=19 von insgesamt n=34 am häufigsten Frakturen in den beiden Subregionen „W1(m)2(m)“ (mediale anteriore Orbita und mediale Midorbita) zugleich (mittlere Frakturfläche: 2,98 +/- 1,34 cm² ; Range: 0,57 – 5,43 cm²), in der Subregion „W1(m)“ n=14 (mittlere Frakturfläche 1,36 +/- 0,86 cm² ; Range: 0,29 – 2,91 cm²) und in „W2(m)“ n=1 (Frakturfläche 1,65 cm²).

Netto3-Code-Ausschnitt aus AO CMF Trauma Klassifikation	Korrelierende Codierung des Modifikationsvorschlages											Anzahl der Codierungs-Varianten (Modifikations-vorschlag)	Mittlere Frakturfläche in cm ²
	aIM	pIM	PLE	aIL	aM	pM	IOB	C	F	NLC			
W1(im)2(im)	aIM	pIM	PLE		aM	pM	IOB	C	F			3	Orbitaboden: Mittelwert: 3,97 Standardabw.:1,14 Median: 3,87 Max.: 6,09 Min.: 1,09 Mediale Orbita- wand: Mittelwert: 3,19 Standardabw.:1,41 Median: 3,53 Max.: 5,43 Min.: 0,57
W1(im)2(im). A(m)*	aIM	pIM		aIL	aM	pM	IOB	C	F			2	
	aIM	pIM	PLE	aIL	aM	pM	IOB	C	F	NLC		2	
(n=15 [14+1])	aIM	pIM	PLE	aIL	aM	pM		C	F			1	
	aIM	pIM	PLE	aIL	aM	pM	IOB	C				1	
	aIM	pIM			aM	pM		C				1	
	aIM	pIM		aIL	aM	pM	IOB	C	F			1	
	aIM	pIM	PLE		aM	pM	IOB	C				1	
	aIM	pIM	PLE		aM	pM	IOB		F	NLC		1	
	aIM	pIM	PLE		aM	pM	IOB					1	
	*	pIM	PLE	aIL	aM	pM	IOB	C				1	
Summe: aIM = 14, pIM= 15, PLE= 11, aIL= 8, aM= 15, pM= 15, IOB= 13, C= 13, F= 10, NLC= 3													
W1(im)2(i)	aIM	pIM		aIL	aM			C	F			2	
(n=10)	aIM	pIM		aIL	aM		IOB	C				2	
	aIM	pIM		aIL	aM		IOB	C	F	NLC		1	
	aIM	pIM	PLE	aIL	aM		IOB	C	F	NLC		1	
	aIM	pIM			aM			C		NLC		1	
	aIM	pIM	PLE		aM			C				1	
	aIM	pIM			aM		IOB	C	F			1	
	aIM	pIM	PLE		aM		IOB	C		NLC		1	
Summe: aIM = 10, pIM= 10, PLE= 3, aIL= 6, aM= 10, pM= 0, IOB= 6, C= 10, F= 5, NLC= 4													
W1(im)2(m)				aIL	aM	pM						1	Orbitaboden: Mittelwert: 2,03 Standardabw.:1,72 Median: 1,71 Max.: 4,28 Min.: 0,11 Mediale Orbita- wand: Mittelwert: 2,03 Standardabw.:0,35 Median: 2,13 Max.: 2,39 Min.: 1,56
(n=3)				aIL	aM	pM		C				1	
	aIM				aM	pM						1	
Summe: aIM = 1, pIM= 0, PLE= 0, aIL= 2, aM= 3, pM= 3, IOB= 0, C= 1, F= 0, NLC= 0													

Netto3-Code-Ausschnitt aus AO CMF Trauma Klassifikation	Korrelierende Codierung des Modifikationsvorschlages										Anzahl der Codierungs-Varianten (Modifikations-vorschlag)	Mittlere Frakturfläche in cm ²	
	aIM	pIM	PLE	aL	aM	pM	IOB	C	F	NLC			
W1(im)	aIM			aL	aM			C		NLC	1	Orbitaboden: Mittelwert: 2,12 Standardabw.:0,78 Median: 2,63 Max.: 2,71 Min.: 1,03 Mediale Orbita-wand: Mittelwert: 1,23 Standardabw.:0,11 Median: 1,17 Max.: 1,39 Min.: 1,15	
(n=3)	aIM			aL	aM			IOB	C		NLC		1
	aIM			aL	aM			IOB	C	F	NLC		1
Summe: aIM = 3, pIM= 0, PLE= 0, aL= 3, aM= 3, pM= 0, IOB= 2, C= 3, F= 1, NLC= 3													
W1(m)2(im)		pIM			aM	pM						1	Orbitaboden: 0,96 Mediale Orbitawand: 2,54
(n=1)													
Summe: aIM = 0, pIM= 1, PLE= 0, aL= 0, aM= 1, pM= 1, IOB= 0, C= 0, F= 0, NLC= 0													
W2(im)		pIM				pM	IOB	C				1	Orbitaboden: 1,33 Mediale Orbitawand: 1,65
(n=1)													
Summe: aIM = 0, pIM= 1, PLE= 0, aL= 0, aM= 0, pM= 1, IOB= 1, C= 1, F= 0, NLC= 0													
W1(m)2(i)		pIM	PLE		aM		IOB	C	F			1	Orbitaboden: 1,28 Mediale Orbitawand: 1,09
(n=1)													
Summe: aIM = 0, pIM= 1, PLE= 1, aL= 0, aM= 1, pM= 0, IOB= 1, C= 1, F= 1, NLC= 0													

Tabelle 5: Häufigkeit von insgesamt 7 bzw. 8 unterschiedlichen Fraktur-Codes der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ („Netto3“) bei Frakturmuster-Kombinationen in Orbitaboden und medialer Orbitawand [W1(im)2(im); W1(im)2(im). A(m); W1(im)2(i); W1(im)2(m); W1(im); W1(m)2(im); W2(im); W1(m)2(i)] in Korrelation zu den Fraktur-Codierungen nach dem Modifikationsvorschlag. Rechte Spalte: Mittlere Frakturflächen (Standardabweichung, Median, Maximum und Minimum) für die einzelnen AO CMF Trauma-Frakturmuster, jeweils getrennt für Orbitaboden und mediale Orbitawand. Die Gesamtfläche für jedes AO CMF Trauma-Frakturmuster ergibt sich aus der Addition. Dunkelrote Zwischenzeilen: Jeweils (Zwischen-) Summen der Frakturen in den Subregionen des Modifikationsvorschlages bzw. Beteiligung der anatomischen Landmarken entsprechend der sieben (bzw. acht) nach dem AO CMF Trauma-Code bezeichneten Frakturareale.

4.5 Inferenz-Statistische Auswertung – Flächenausdehnung der Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand

Anhand von Regressionsanalysen (Software-Programm „R Version 3.1.1“, Prozess und Statistik Faes, Dormagen) wurde versucht, herauszustellen, wie sich die Gesamtgröße der Frakturflächen ändert, wenn eine zunehmende Zahl von topographischen Subregionen in Orbitaboden und medialer Orbitawand als frakturiert eingestuft werden. Dazu wurde ein lineares Modell implementiert, das vorhersagen kann, was für einen Effekt ein bestimmtes Frakturmuster (z.B. „aIM pIM PLE aL“) im Mittel auf die Gesamt-Frakturfläche hat. Zum einen wurden diese Regressionsmodelle – in Gegenüberstellung der Subregionen „W1(i)“ und „W2(i)“ nach dem AO CMF Trauma-Code mit den topographischen Subregionen „aIM“, „pIM“, „PLE“ und „aL“ aus dem Modifikationsvorschlag – auf den Orbitaboden angewandt. Zum anderen konnte ein Regressionsmodell für die Subregionen „aM“ und „pM“ in der medialen Orbitawand erstellt werden.

Da die Subregionen „aM“ vollständig und „pM“ weitestgehend mit den Subregionen „W1(m)“ bzw. „W2(m)“ übereinstimmen („W2(m)“ schließt den medialen Orbita-Apex „A(m)“ - anders als „pM“ - nicht mit ein; außerdem lag eine Frakturbeteiligung des Apex nur in einem Fall vor), wurde auf eine separate Analyse der medialen Orbitawand nach dem AO CMF Trauma-Code verzichtet.

4.5.1 Regressionsmodelle für Frakturflächen im Orbitaboden

4.5.1.1 Subregionen nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene

Für die Frakturen in den Subregionen des Orbitabodens in der Lesart der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ - „W1(i)“ und „W2(i)“ - konnte aufgrund der Flächen-Vermessungen ein Regressionsmodell zur Abschätzung der zu erwartenden Flächen-Ausdehnung für die verschiedenen Frakturmuster erstellt werden (**Tabelle 6**). „Estimate(Intercept)“ entspricht dabei einer Konstanten (in Gleichung [1] ist dies „ β_0 “) und wird nur einmal pro Frakturflächen-Schätzung addiert. Die erwarteten Frakturflächen sind als Mittelwerte zu verstehen.

Folgendes Modell lag dieser Abschätzung zugrunde:

$$E(\text{Fläche der Fraktur}) = \beta_0 + \beta_1 W1(i) + \beta_2 W2(i) + e_i \quad [1]$$

Für Frakturen ausschließlich im Bereich „W1(i)“ ist folgende Frakturflächengröße zu erwarten („W2(i)“ nicht frakturiert):

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(W1i)} = 0,7923 \text{ cm}^2 + 1,4597 \text{ cm}^2 = \mathbf{2,25 \text{ cm}^2} \quad [2]$$

Im Bereich von „W2(i)“ sind die Frakturgrößen wie erwartet etwas geringer (da in Richtung posterior auch die Fläche infolge der Dreiecksform des Orbitabodens abnimmt; „W1(i)“ nicht frakturiert):

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(W2i)} = 0,7923 \text{ cm}^2 + 0,8470 \text{ cm}^2 = \mathbf{1,64 \text{ cm}^2} \quad [3]$$

Sind beide Subregionen frakturiert, kann man anhand des Regressionsmodells eine Frakturfläche von

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(W1i)} + \text{Estimate(W2i)} = 0,7923 \text{ cm}^2 + 1,4597 \text{ cm}^2 + 0,8470 \text{ cm}^2 = \mathbf{3,10 \text{ cm}^2} \quad [4]$$

erwarten.

Regressionsmodell für Orbitaboden ~ W1if + W2if				
Call:				
lm(formula = FlächenOrbita.boden ~ W1if + W2if, data = dat1)				
Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.51087	-0.67722	-0.08587	0.60113	2.98813
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.7923	0.4474	1.771	0.078708 .
W1if1	1.4597	0.3875	3.767	0.000241 ***
W2if1	0.8470	0.2475	3.422	0.000812 ***
—				
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 1.118 on 142 degrees of freedom (1 observation deleted due to missingness)				
Multiple R-squared: 0.1404, Adjusted R-squared: 0.1283				
F-statistic: 11.6 on 2 and 142 DF, p-value: 2.162e-05				

Tabelle 6: R-Output für ein Regressionsmodell der Subregionen „W1(i)“ und „W2(i)“ des Orbitabodens nach der AO CMF Trauma-Codierung. Gelbe Markierung = Estimate-Werte der topographischen Subregionen (und Intercept) zur Abschätzung der erwarteten Frakturflächen.

Die P-Werte [Pr(>|t|)] dieses Regressionsmodells (**Tabelle 6**) sind niedrig und somit die Schätz-Werte („Estimate“) hoch signifikant. Im Gegensatz zum nachfolgenden Regressionsmodell des Modifikationsvorschlags sind jedoch die Werte für „R-squared“ kleiner und die „standard Error“ („Std. Error“) größer, sodass das Regressionsmodell des Modifikationsvorschlags die zu erwartenden Frakturflächen im Bereich des Orbitabodens genauer beschreiben kann (**Tabellen 6 und 7**).

Die für die Untersuchung verwendeten Daten wurden zudem auf Normalverteilung („Normal Quantile-Quantile Plot“) geprüft (**Diagramm 18**). Normalverteilung ist Voraussetzung für die korrekte Modellierung des Datensatzes. Graphisch zeigt sich eine Normalverteilung im Q-Q-Plot durch eine geringe Abweichung der standardisierten Residuen („standardized residuals“) von einer angelegten Geraden (wie es **Diagramm 18** für unser Modell zeigt). Der

„Normal Q-Q Plot“ spiegelt in diesem Regressionsmodell also eine Normalverteilung der Frakturflächen und der beteiligten Subregionen wieder (**Diagramm 18**).

Ausreisser („Normal Q-Q Plot“, „residuals vs. fitted plot“ und „scale location“) sind Nr. „19“, Nr. „129“ und Nr. „43“. Die Fraktur Nr. „19“ lag mit 5,04 cm² bei „W1(i)“-Beteiligung deutlich über den erwarteten Werten. Mit 5,70 cm² überschritt „Nr. 129“ bzw. das Frakturmuster „W1(i)2(i)“ den erwarteten bzw. geschätzten Werten für die Frakturfläche um mehr als +2. Für die „Nr. 43“ fand sich bei einer „W1(i)2(i)“-Orbitabodenfraktur in Kombination mit einer medialen Orbitawandfraktur eine Frakturfläche von 6,087 cm² und war damit ebenso höher als die Schätzung mit dem Regressionsmodell. Insgesamt zeigen sich keine nicht erfassten Trends des Regressionsmodells (**Diagramme 18, 19, 20**).

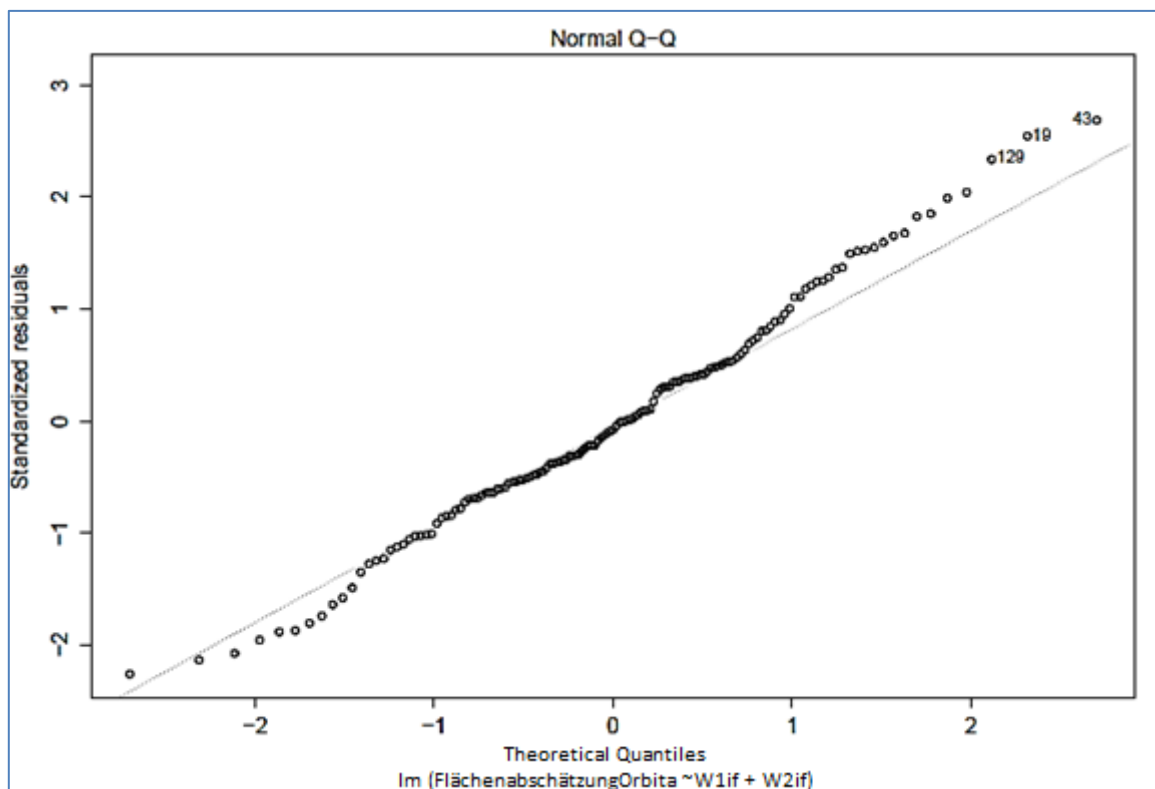


Diagramm 18: „Normal Q-Q Plot“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen des Orbitabodens nach dem AO CMF Trauma-Code für Erwachsene. Ausreisser (Nr.): o 129; o 19; o 43

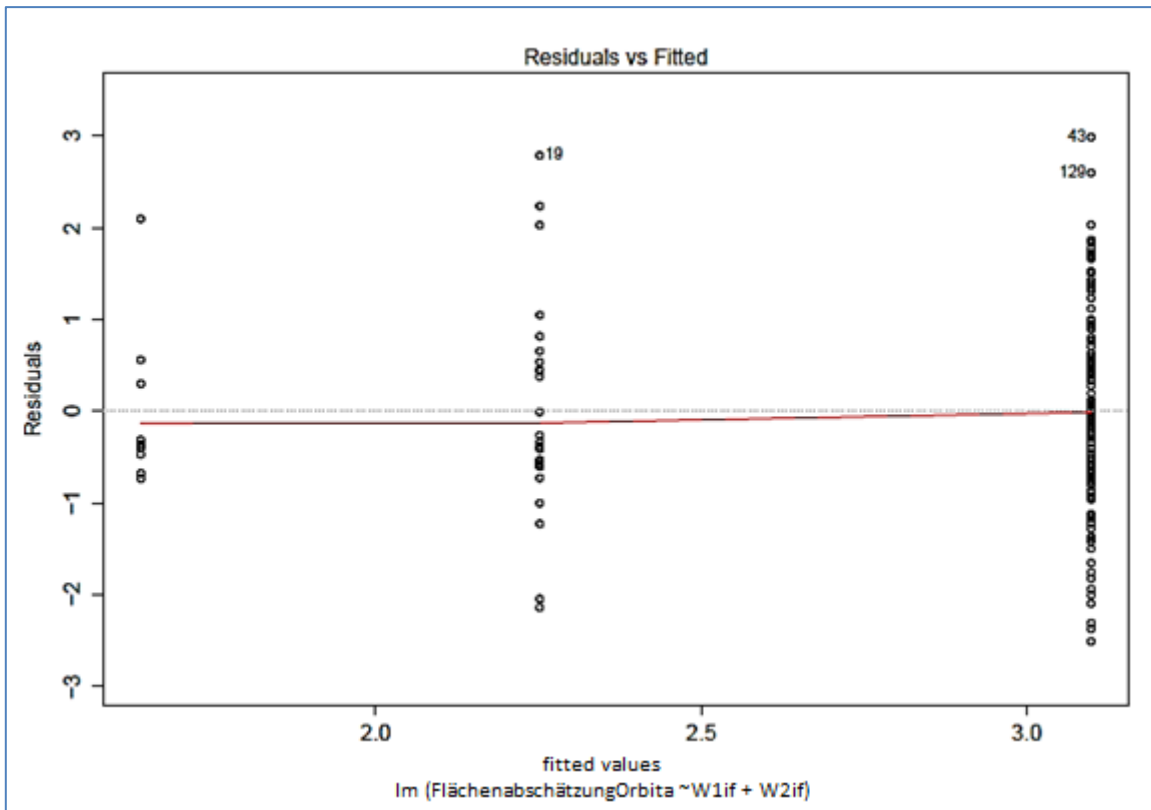


Diagramm 19: „residuals vs. fitted“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen des Orbitabodens nach dem AO CMF Trauma-Code für Erwachsene. Ausreisser (Nr.): o 129; o 19; o 43

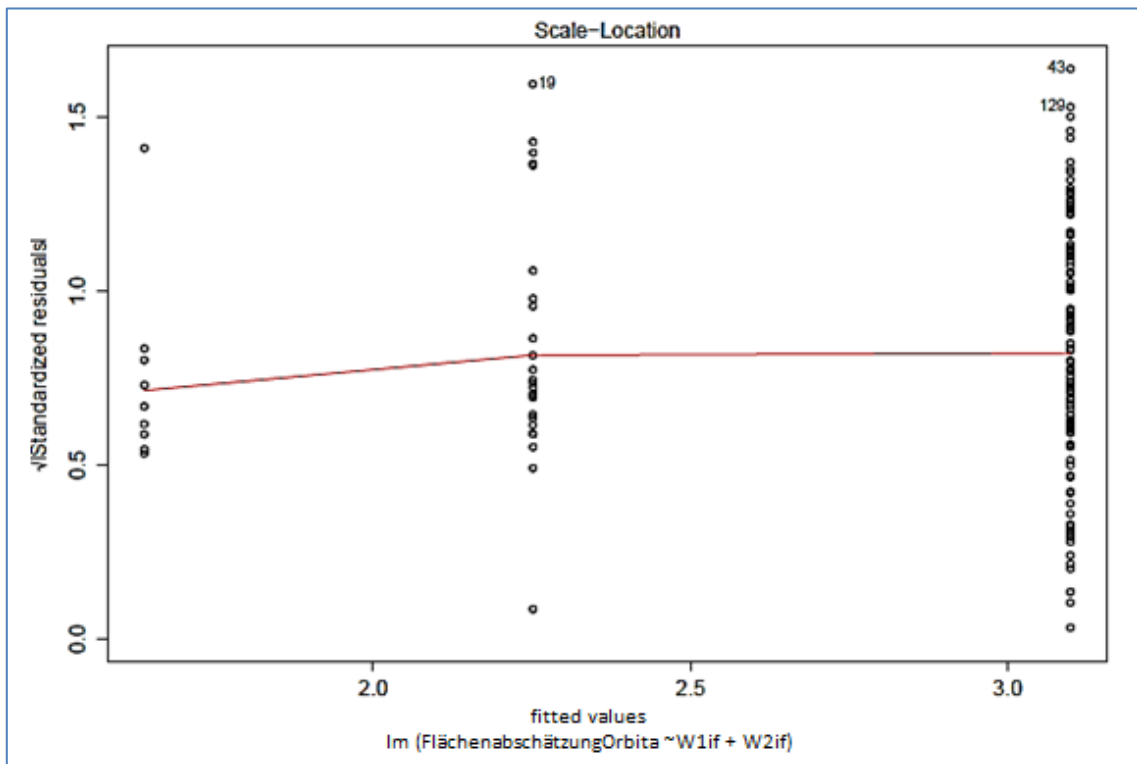


Diagramm 20: „scale location“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen des Orbitabodens nach dem AO CMF Trauma-Code für Erwachsene. Ausreisser (Nr.): o 129; o 19 ; o 43

Mittelwerte und „Quartiles“ sowie Maximum und Minimum der mittleren Frakturflächen mit entsprechender Beteiligung von „W1(i)“ und „W2(i)“ sind den **Diagrammen 21 und 22** zu entnehmen. Die Breite der Boxplots gibt eine Information darüber, wie viele Daten (in diesem Fall Frakturen) sich in der Kategorie 0 (Subregion nicht frakturiert) oder in der Kategorie 1 (Subregion frakturiert) befinden. Die genauen Fallzahlen sind in den vorhergehenden Ergebnisdarstellungen zu den Häufigkeiten der Codes zu finden. Einzelne Ausreisser sind punktförmig (°) außerhalb der „Whiskers“ dargestellt. Die Länge der Whiskers ergibt sich aus den „Residuals“ der **Tabelle 6** (1. Quartil = Länge des unteren Whiskers, 3. Quartil = Länge des oberen Whiskers).

Die Boxplots (**Diagramme 21, 22**) zeigen die Verteilung der Häufigkeiten (Box-Breite) von „W1(i)“ [n (Kat1) = 136, n (Kat0) = 9] und „W2(i)“ [n (Kat1) = 120, n (Kat0) = 25] jeweils in Bezug auf die Kategorie 1 (frakturiert) und die Kategorie 0 (keine Fraktur in dieser Subregion).

Die Skalierung der y-Achse von Boxplots (Median, Quartile, „whiskers“, etc.) basiert auf den tatsächlich gemessenen Werten (Subregion frakturiert = Kategorie 1, Subregion nicht frakturiert = Kategorie 0) und ist - bis auf die rot eingezeichnete „Distanz der Mittelwerte“ - nicht mit den „Estimate-Werten“ des Outputs zu erklären (verdeutlicht wird dies anhand von **Diagramm 33**).

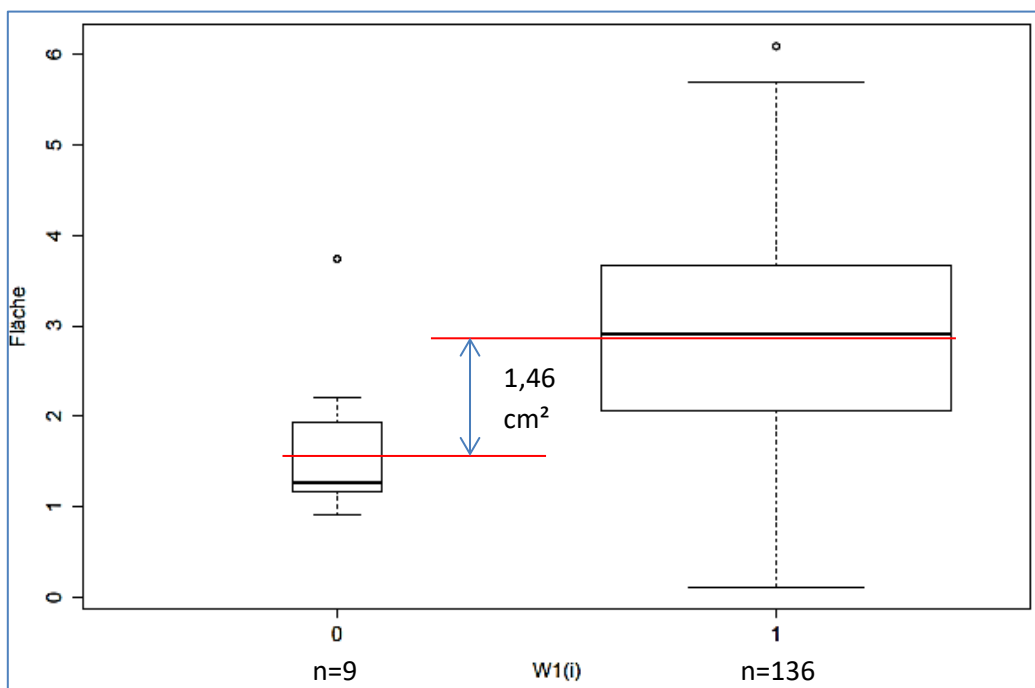


Diagramm 21: Boxplots der Frakturflächengrößen in der anterioren Subregion des Orbitabodens „W1(i)“ (gemäß „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“). Distanz der roten Linien: Differenz der Mittelwerte der Kategorien 0 (n=9) und 1 (n=136) entsprechend dem „Estimate“-Wert 1,46 cm² aus dem Output (Tabelle 6).

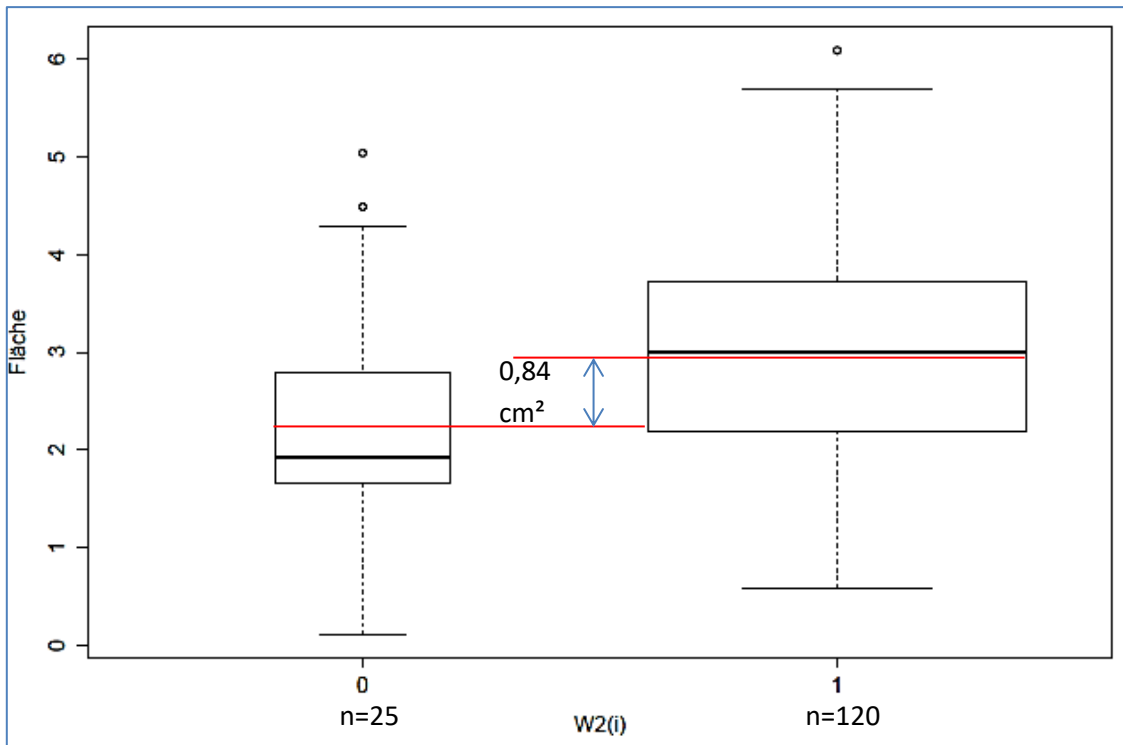


Diagramm 22: Boxplots der Frakturflächengrößen in der posterioren Subregion des Orbitabodens „W2(i)“ (gemäß „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“). Distanz der roten Linien: Differenz der Mittelwerte der Kategorien 0 (n=25) und 1 (n=120) entsprechend dem „Estimate“-Wert 0,84 cm² aus dem Output (Tabelle 6).

4.5.1.2 Subregionen nach dem Modifikationsvorschlag

Das Regressionsmodell für die vier topographischen Subregionen des Orbitabodens („aIM“, „pIM“, „PLE“ und „aL“) sieht folgendermaßen aus:

$$E(\text{Fläche der Fraktur}) = \beta_0 + \beta_1 \text{aIM} + \beta_2 \text{pIM} + \beta_3 \text{PLE} + \beta_4 \text{aL} + e_i \quad [5]$$

Diese Gleichung ist Basis der statistischen Untersuchungen (**Tabelle 7**). „Estimate(Intercept)“ entspricht einer Konstanten (in Gleichung [5] ist dies „ β_0 “) und wird nur einmal pro Frakturflächen-Schätzung addiert. Die erwarteten Frakturflächen sind als Mittelwerte zu verstehen.

Es zeigt sich, dass eine Fraktur der einzeln betrachteten, topographischen Subregion „aIM“ eine durchschnittliche zu erwartende Frakturfläche von

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(aIM)} = 0,8124 \text{ cm}^2 + 1,1532 \text{ cm}^2 = 1,9656 \text{ cm}^2 = \mathbf{1,97 \text{ cm}^2} \quad [6]$$

besitzt.

Für die singuläre „pIM“-Beteiligung kann eine zu erwartende durchschnittliche Fläche von

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(pIM)} = 0,8124 \text{ cm}^2 + 0,6821 \text{ cm}^2 = 1,4945 \text{ cm}^2 = \mathbf{1,50 \text{ cm}^2} \quad [7]$$

festgestellt werden.

Im Falle von alleiniger Fraktur von „PLE“ liegt die zu erwartende Frakturfläche bei

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(PLE)} = 0,8124 \text{ cm}^2 + 0,6384 \text{ cm}^2 = 1,4508 \text{ cm}^2 = \mathbf{1,45 \text{ cm}^2} \quad [8]$$

und bei Frakturen des Orbitabodens unter Mitbeteiligung der Subregion „aL“ wird ein Einfluss auf die Frakturgröße von

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(aL)} = 0,8124 \text{ cm}^2 + 0,5859 \text{ cm}^2 = 1,3983 \text{ cm}^2 = \mathbf{1,40 \text{ cm}^2} \quad [9]$$

erwartet.

Die zu erwartenden Werte lassen sich folgendermaßen erklären: „aIM“ hat mit $1,97 \text{ cm}^2$ (= Intercept + $1,15 \text{ cm}^2$) den größten Einfluss auf die Frakturfläche, es folgen in absteigender Reihenfolge „pIM“, „PLE“ und „aL“. „Estimate (Intercept)“ wird als Konstante verwendet und findet auch bei mehreren beteiligten topographischen Subregionen nur einfach Anwendung. Da mindestens immer eine topographische Subregion des Orbitabodens als „frakturiert“ eingestuft wurde (Einschlusskriterium der Studie), muss der Wert „Estimate(Intercept)“ nicht gegen 0 gehen (in unserer Untersuchung: Estimate(Intercept) = $0,8124 \text{ cm}^2$, **Tabelle 7**).

Wenn beispielsweise „pIM“ und „aL“ zusammen frakturiert sind, ändert sich die zu erwartende Frakturfläche wie folgt:

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(aIL)} + \text{Estimate(pIM)} = 0.8124 \text{ cm}^2 + 0,5859 \text{ cm}^2 + 0,6821 \text{ cm}^2 = \mathbf{2,08 \text{ cm}^2} \quad [10]$$

Schließt eine Fraktur also z.B. alle 4 topographischen Subregionen des Orbitabodens ein, ergibt sich für die mittlere zu erwartende Frakturfläche:

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(aIM)} + \text{Estimate(pIM)} + \text{Estimate(PLE)} + \text{Estimate(aIL)} = 0.8124 \text{ cm}^2 + 1.1532 \text{ cm}^2 + 0.6821 \text{ cm}^2 + 0,6384 \text{ cm}^2 + 0,5859 \text{ cm}^2 = \mathbf{3,87 \text{ cm}^2} \quad [11]$$

Dieses Vorgehen zur Bestimmung der zu erwartenden mittleren Orbitaboden-Frakturfläche ist für alle Fraktur-Kombinationen anwendbar. Die Zusätze durch Involvierung anatomischer Landmarken („C“, „F“, „IOB“, „NLC“) haben keinen Einfluss.

```

Regressionsmodell für Orbitaboden ~ aIMf+pIMf+PLEf+aILf
Call:
lm(formula = FlächenabschätzungOrbita ~ aIMf + pIMf + PLEf + aILf,
    data = dat1)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.2277 -0.6667 -0.1862  0.5175  3.0523

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.8124    0.3215   2.527  0.012617 *
aIMf1       1.1532    0.2519   4.578  1.03e-05 ***
pIMf1       0.6821    0.2370   2.878  0.004624 **
PLEf1       0.6384    0.1966   3.248  0.001454 **
aILf1       0.5859    0.1740   3.367  0.000983 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.018 on 140 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.2973,    Adjusted R-squared:  0.2772
F-statistic: 14.81 on 4 and 140 DF, p-value: 4.097e-10

```

Tabelle 7: R-Output für ein Regressionsmodell die topographischen Subregionen „aIM“, „pIM“, „PLE“ und „aIL“ des Orbitabodens nach dem Modifikationsvorschlag. Gelbe Markierung = „Estimate“-Werte der topographischen Subregionen (und Intercept) zur Abschätzung der erwarteten Frakturflächen.

Dass es sich bei dem Regressionsmodell zur Abschätzung der Fraktureinflüsse der topographischen Subregionen „aIM“, „pIM“, „PLE“ und „aIL“ um ein signifikantes Modell handelt, zeigen die sehr niedrigen P-Werte [$\Pr(>|t|)$] der einzelnen Einflussgrößen (**Tabelle 7**).

Der „Normal Q-Q Plot“ spiegelt in diesem Regressionsmodell eine Normalverteilung der Frakturflächen und ihrer Frakturareale wieder (**Diagramm 23**).

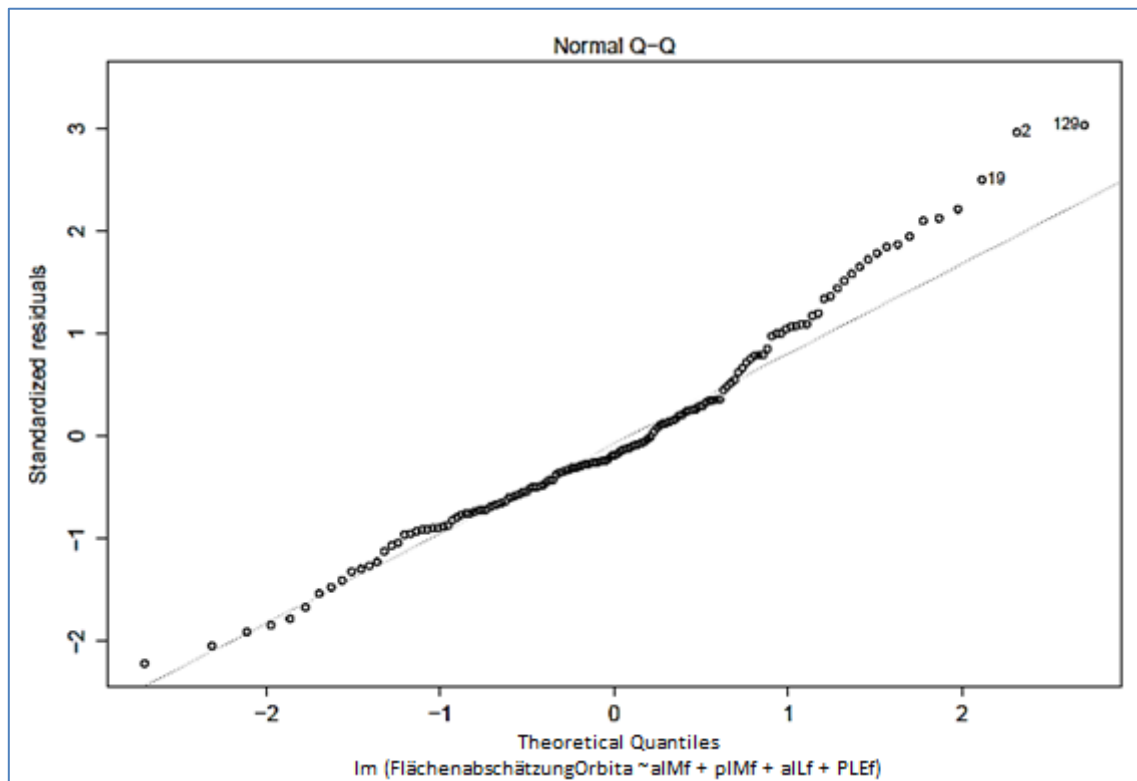


Diagramm 23: „Normal Q-Q Plot“ bei Regressionsanalyse zu Frakturflächen des Orbitabodens anhand des Modifikationsvorschlages. Ausreisser (Nr.): o 19 ; o 2; o 129

Etwaige Schätzfehler bzw. systematische, nicht erfasste Trends konnten keine festgestellt werden („residuals vs. fitted plot“, **Diagramm 24**). Der Plot der Residuen (Schätzfehler) gegen die vorhergesagten Werte zeigt eine gleichmäßige Verteilung der Werte um eine horizontale Gerade. Ausreißer der Residuen von mehr als ± 2 stellen die Punkte mit den Nummern 2, 19 und 129 dar: Dies sind keine Fehler der Schätzung, sondern ungewöhnlich große Frakturen relativ kleiner topographischer Areale. „Nr. 2“ der Untersuchung zeigte eine ungewöhnlich große Frakturfläche im Orbitaboden von $4,28 \text{ cm}^2$ bei „aIL“-Beteiligung und Fraktur der medialen Orbitawand (Formel „aIL aM pM C“). „Nr. 19“ lag mit $5,04 \text{ cm}^2$ bei „aIL“- und „aIM“-Involvierung über den erwarteten Werten (Formel „aIM aIL IOB C F“). Die Fraktur „Nr.129“ mit dem Muster „aIM pIM IOB C NLC“ lag mit $5,70 \text{ cm}^2$ mehr als $+2$ über den erwarteten bzw. geschätzten Werten für die Frakturfläche.

Auch die „scale Location“ (**Diagramm 25**) zeigt keine auffälligen Trends. Abweichungen sind wieder die Frakturen Nr. 2, 19, 129. In der Mehrheit weichen die Daten graphisch nicht stark von einer horizontalen Gerade (rote Linie, vgl. „residuals vs. fitted plot“) ab.

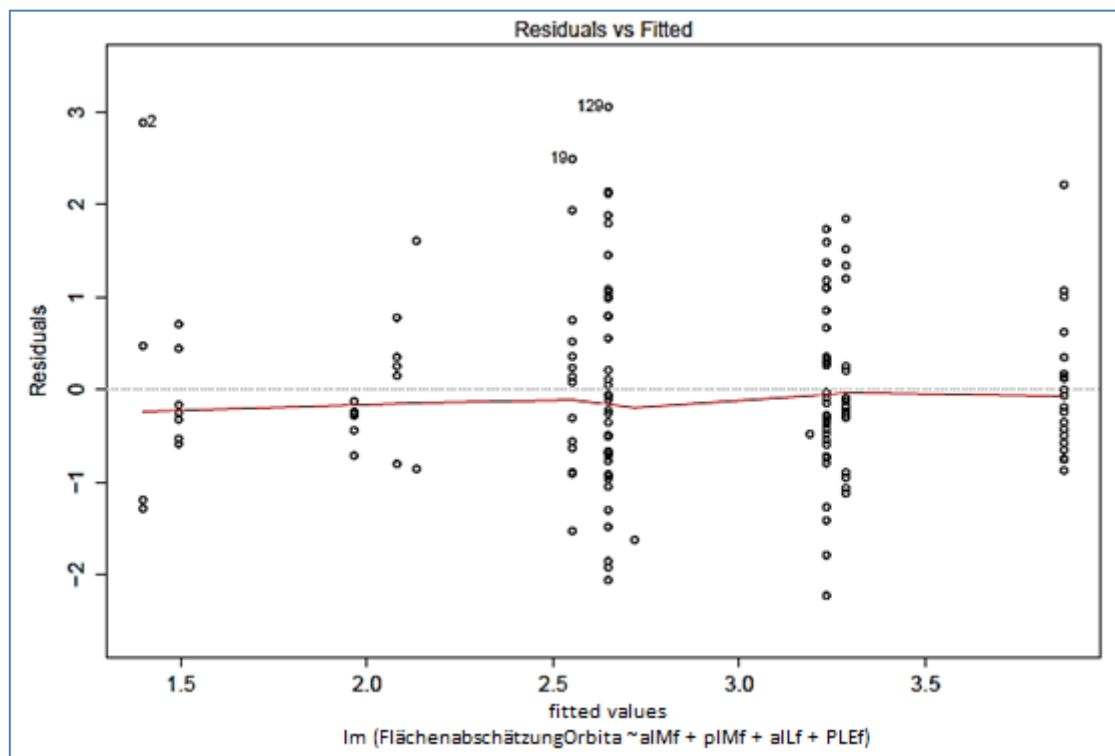


Diagramm 24: „residuals versus fitted“ bei Regressionsanalyse zu Frakturflächen des Orbitabodens anhand des Modifikationsvorschlags. „Ausreißer“ (Nr.) o 2; o 19;o 129.

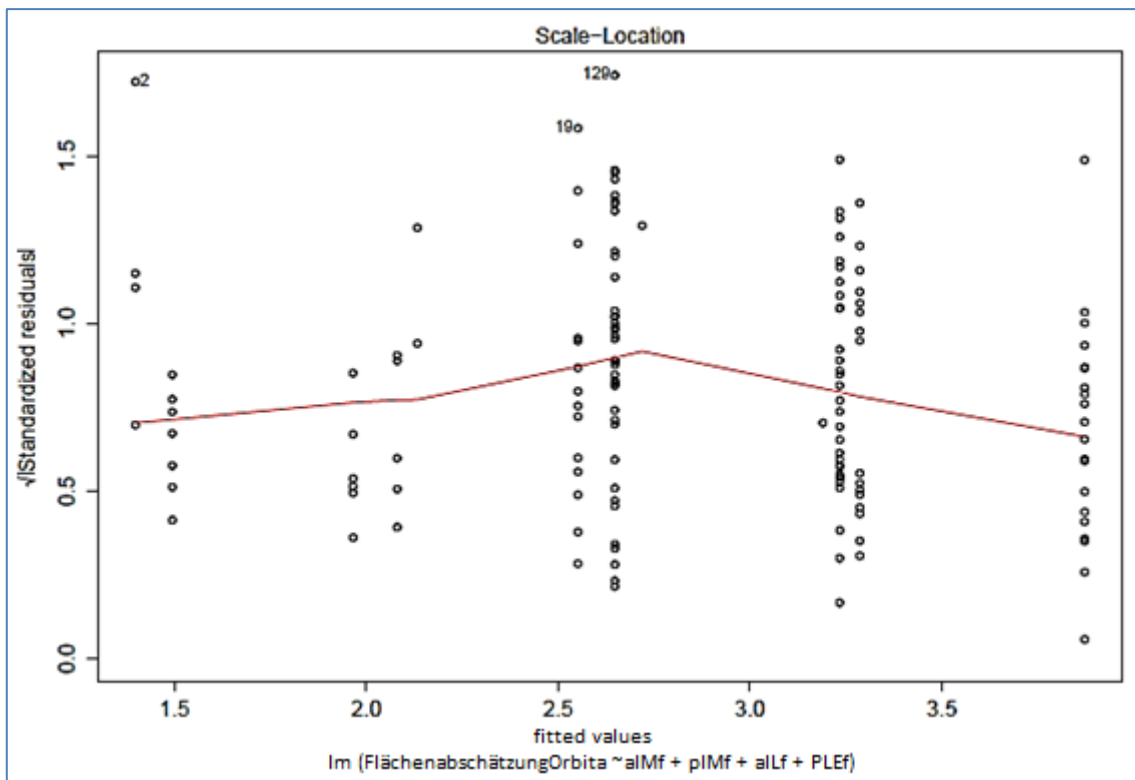


Diagramm 25: „scale location“ bei Regressionsanalyse zu Frakturflächen des Orbitabodens anhand des Modifikationsvorschlages. „Ausreisser“ (Nr.) o2; o 19;o 129.

Die einzelnen Frakturflächen sind abschließend als „boxplots“ dargestellt (**Diagramme 26-29**). Kategorie 0 bedeutet, dass keine Fraktur in diesem Teilbereich vorliegt, bei Kategorie 1 ist der Bereich „aIM“, „aL“, „pIM“ oder „PLE“ in den Frakturverlauf involviert. Die Skalierung der y-Achse von Boxplots (Median, Quartile, „whiskers“, etc.) basiert auf den tatsächlich gemessenen Werten (Subregion frakturiert = Kategorie 1, Subregion nicht frakturiert = Kategorie 0) und ist - bis auf die eingezeichnete „Distanz der Mittelwerte“ - nicht mit den „Estimate-Werten“ des R-Outputs zu erklären (verdeutlicht wird dies anhand von **Diagramm 33**).

Mittelwerte und „Quartiles“ sowie Maximum und Minimum der mittleren Frakturflächen mit entsprechender Beteiligung von „aIM“, „aL“, „pIM“ und „PLE“ sind den **Diagrammen 26-29** zu entnehmen.

Die genauen Fallzahlen sind in den vorhergehenden Ergebnisdarstellungen zu den Häufigkeiten der Codes des Modifikationsvorschlages zu finden ($n(\text{„aIM mit Kat. 1“}) = 126$, $n(\text{„pIM mit Kat. 1“}) = 120$, $n(\text{„PLE mit Kat. 1“}) = 39$, $n(\text{„aL mit Kat. 1“}) = 76$; siehe **Diagramm 13**). Einzelne Ausreisser sind punktförmig (°) außerhalb der „whiskers“ dargestellt. Die Länge der „whiskers“ ergibt sich aus den „residuals“ der **Tabelle 7** (1. Quartil = Länge des unteren „whiskers“, 3. Quartil = Länge des oberen „whiskers“).

Falls die Subregion „aIM“ als frakturiert eingestuft wurde, war die Frakturfläche im Mittel um 1,15 cm² größer als bei Orbitabodenfrakturen, bei denen „aIM“ nicht involviert war. Dies ergibt sich aus der Differenz der Mittelwerte der Kategorien 1 (n=126) und 0 (n=19) (siehe Abschnitt 3.3.4.5 zur Statistik und zusätzlich **Diagramm 26**).

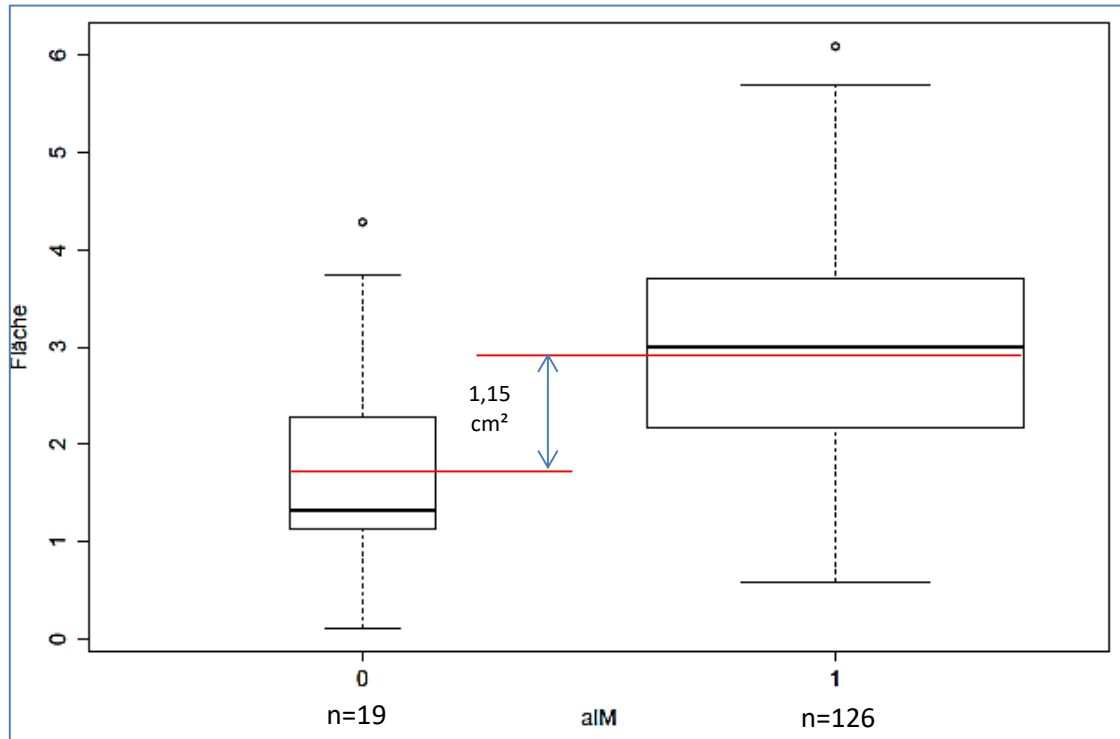


Diagramm 26: Boxplot der topographischen Subregion „aIM“. Distanz der roten Linien: Differenz der Mittelwerte der Kategorien 0 (n=19) und 1 (n=126) entsprechend dem „Estimate“-Wert 1,15 cm² aus dem Output (Tabelle 7).

Die topographischen Subregionen „pIM“, „PLE“ und „aL“ sind wie „aIM“ zu interpretieren. Eine „pIM“- „PLE“- und „aL“-Beteiligung führt zu einem kleineren Zuwachs der mittleren Frakturfläche (pIM = + 0,68 cm², PLE = + 0,64 cm², aL = + 0,59 cm²) im Verhältnis zur Zunahme bei Orbitabodenfrakturen mit „aIM“-Beteiligung (**Diagramm 27-29**).

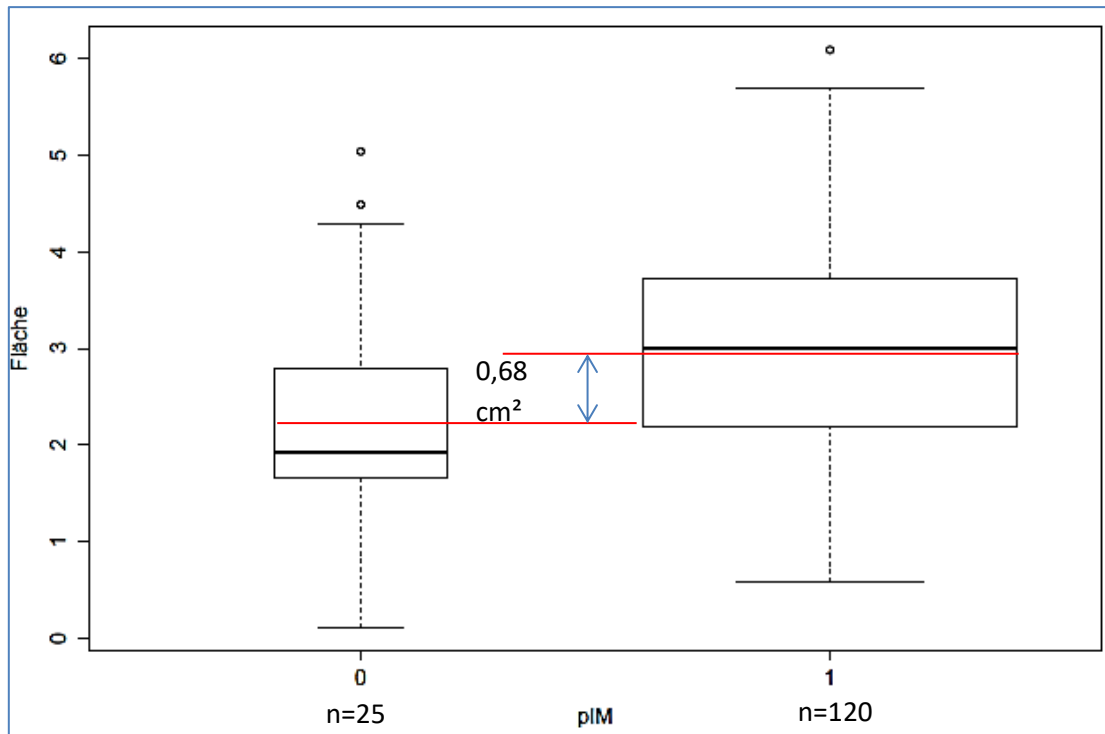


Diagramm 27: Boxplot der topographischen Subregion „pIM“. Distanz der roten Linien: Differenz der Mittelwerte der Kategorien 0 (n=25) und 1 (n=120) entsprechend dem „Estimate“-Wert 0,68 cm² aus dem Output (Tabelle 7).

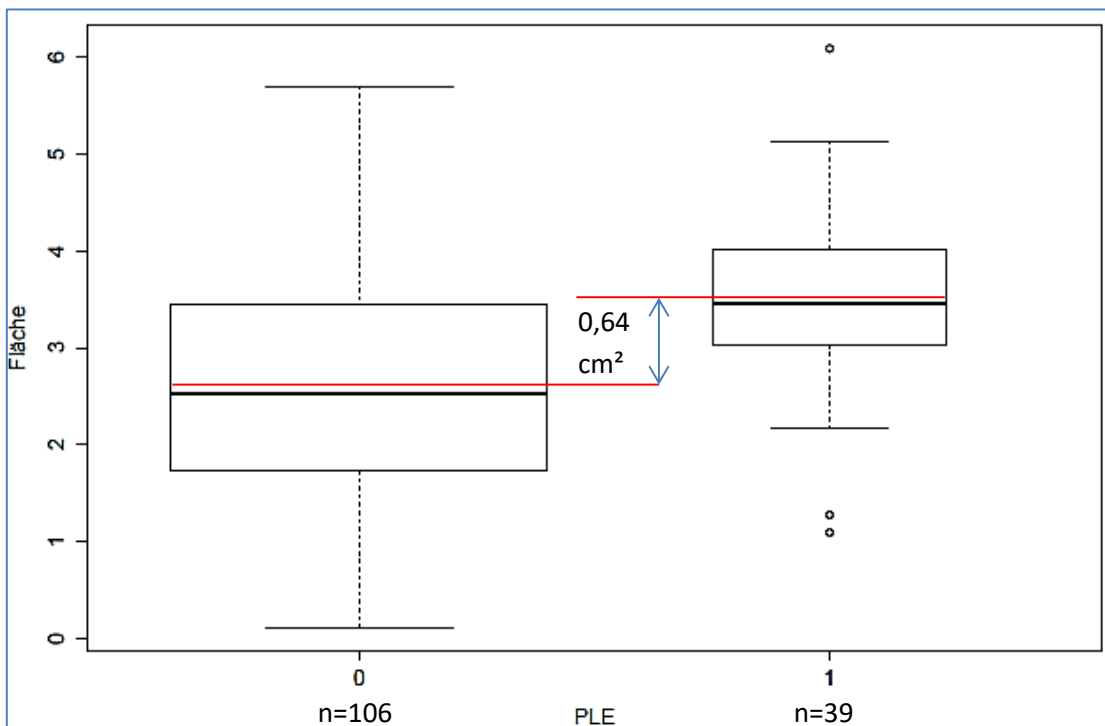


Diagramm 28: Boxplot der topographischen Subregion „PLE“. Distanz der roten Linien: Differenz der Mittelwerte der Kategorien 0 (n=106) und 1 (n=39) entsprechend dem „Estimate“-Wert 0,64 cm² aus dem Output (Tabelle 7).

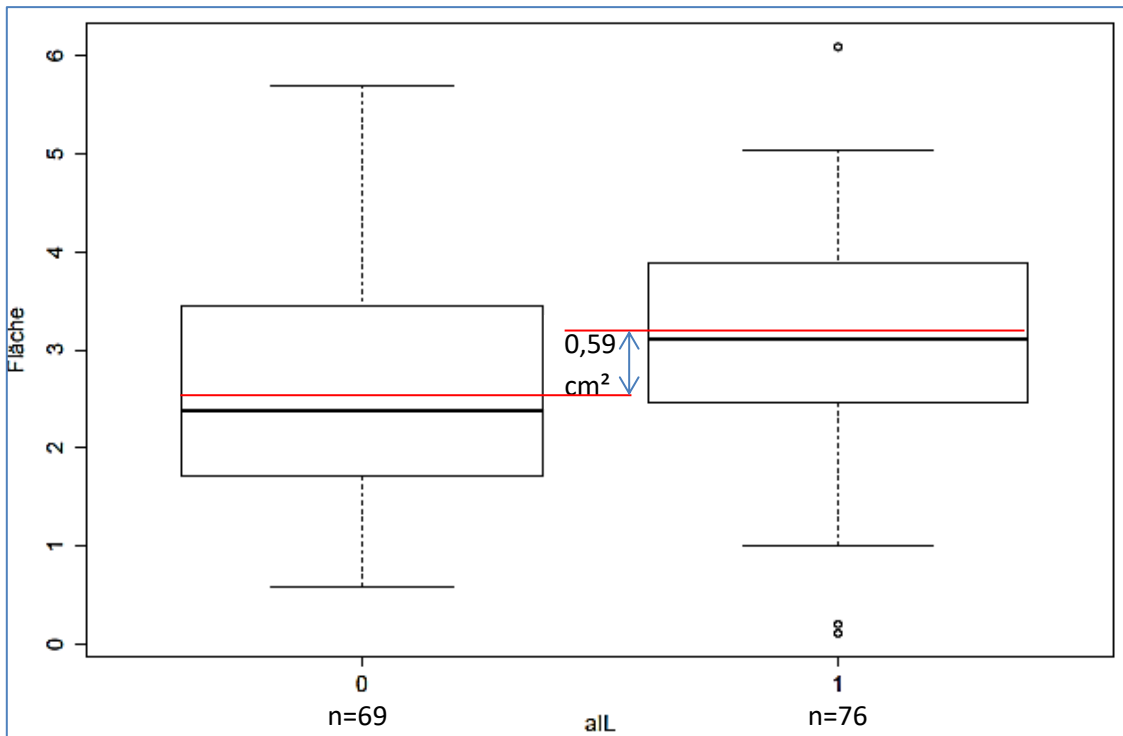


Diagramm 29: Boxplot der topographischen Subregion „alL“. Distanz der roten Linien: Differenz der Mittelwerte der Kategorien 0 (n=69) und 1 (n=76) entsprechend dem „Estimate“-Wert 0,59 cm² aus dem Output (Tabelle 7).

4.5.2 Regressionsmodell für Frakturflächen in der medialen Orbitawand

Frakturflächen der medialen Orbitawand wurden in allen n=34 Fällen vermessen. „aM“ beschreibt Frakturen der anterioren medialen Orbitawand, „pM“ Frakturen der medialen Midorbita und des medialen Orbita-Apex. „aM“ stimmt mit „W1(m)“ überein, „pM“ ist gleichbedeutend mit „W2(m).A(m)“. Tatsächlich war der mediale Orbita-Apex in der Untersuchungsreihe nur in einem Fall zusammen mit einer Fraktur der posteromedialen Orbitawand involviert, sodass auf ein separates Regressionsmodell mit „W1(m)“, „W2(m)“ und „A(m)“ - aufgrund minimal zu erwartender Abweichungen - verzichtet wurde.

4.5.2.1 Subregionen nach dem Modifikationsvorschlag

Das Vorgehen ähnelte dem bei den Regressionsanalysen des Orbitabodens. Zunächst wurde ein Modell definiert (**Tabelle 8**):

$$E(\text{Fläche der Fraktur}) = \beta_0 + \beta_1 aM + \beta_2 pM + e_i \quad [12]$$

Frakturen der topographischen Subregion „aM“ lassen folgende flächenmäßigen Ausdehnungen erwarten (**Tabelle 8**):

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(aM)} = 0,02616 \text{ cm}^2 + 1,33005 \text{ cm}^2 = \mathbf{1,36 \text{ cm}^2} \quad [13]$$

Die topographische Subregion „pM“ frakturiert nach dem Regressionsmodell mit einer mittleren Fläche von (**Tabelle 8**):

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(pM)} = 0,02616 \text{ cm}^2 + 1,61884 \text{ cm}^2 = \mathbf{1,65 \text{ cm}^2} \quad [14]$$

Beide Subregionen „aM“ und „pM“ lassen eine Frakturfläche von

$$\text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(aM)} + \text{Estimate(pM)} = 0,02616 \text{ cm}^2 + 1,33005 \text{ cm}^2 + 1,61884 \text{ cm}^2 = \mathbf{2,98 \text{ cm}^2} \quad [15]$$

erwarten (**Tabelle 8**).

```

Regressionsmodell für Mediale Orbitawand ~ aMf + pMf
Call:
lm(formula = FlächenMedialeOrbitawand ~ aMf + pMf, data = dat2)
Residuals:
  Min    1Q   Median    3Q   Max
-2.4101 -0.7832 -0.2342  0.7097  2.4499
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.02616    1.26706   0.021  0.98366
aMf1         1.33005    1.22614   1.085  0.28640
pMf1         1.61884    0.42094   3.846  0.00056 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.195 on 31 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3271, Adjusted R-squared:  0.2837
F-statistic: 7.536 on 2 and 31 DF, p-value: 0.002153

```

Tabelle 8: R-Output für ein Regressionsmodell der topographischen Subregionen „aM“ und „pM“ der medialen Orbitawand gemäß dem Modifikationsvorschlag. Gelbe Markierung = „Estimate“-Werte der topographischen Subregionen (und Intercept) zur Abschätzung der erwarteten Frakturflächen.

Der R-Output zeigt zudem, dass die erwarteten Werte für „aM“ nicht signifikant sind [$\text{Pr}(>|t|) = 0,28640$]. Dies resultiert daraus, dass „aM“ nur ein einziges Mal unter allen Frakturen der medialen Orbitawand nicht frakturiert ist. Somit ist eine Gegenüberstellung von „topographische Subregion „aM“ frakturiert“ und „topographische Subregion „aM“ nicht frakturiert“ nicht aussagekräftig genug, um eine statistisch fundierte Abschätzung zu ermöglichen.

Auch die Frakturflächen der medialen Orbitawand wurden positiv auf Normalverteilung getestet (**Diagramm 30**). Der Plot „residuals vs. fitted“ (**Diagramm 31**) und die „scale location“ (**Diagramm 32**) zeigen keine stark abweichenden Trends. Bei den Ausreißern (siehe auch Markierungen bzw. Nummerierung in **8. Anhang, Tabelle 10**) mit den Nummern 15, 16, 18 handelt es sich um folgende Frakturmuster: mit Frakturflächen von 5,206 cm² (Nr. 15, Fraktur-Code: „aIM pIM aIL aM pM IOB C F“) und 5,425 cm² (Nr. 18, Fraktur-Code: „aIM pIM aIL PLE aM pM IOB C F NLC“) zeigten zwei Frakturen hohe, mit dem Modell nicht abschätzbare Werte, „Nr. 16“ hingegen eine zu geringe Ausdehnung (0,565 cm², Fraktur-Code: „aIM pIM aIL aM pM IOB C F“).

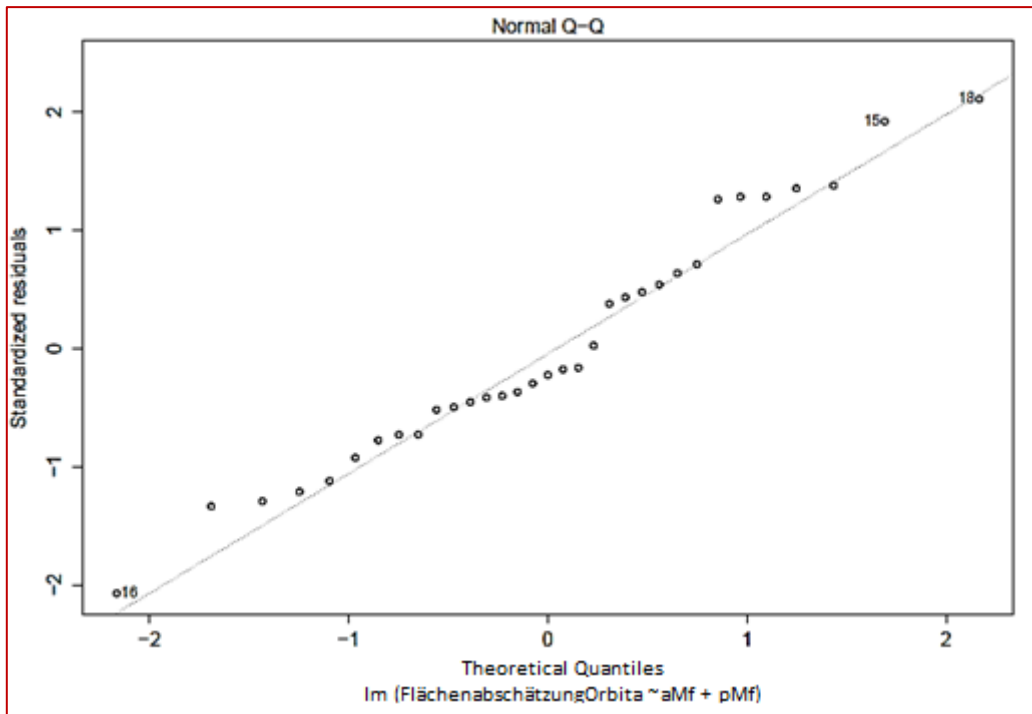


Diagramm 30: „Normal Q-Q Plot“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen in den Subregionen „aM“ und/ oder „pM“ der medialen Orbitawand. Ausreisser (Nr.) o 15; o 16; o 18.

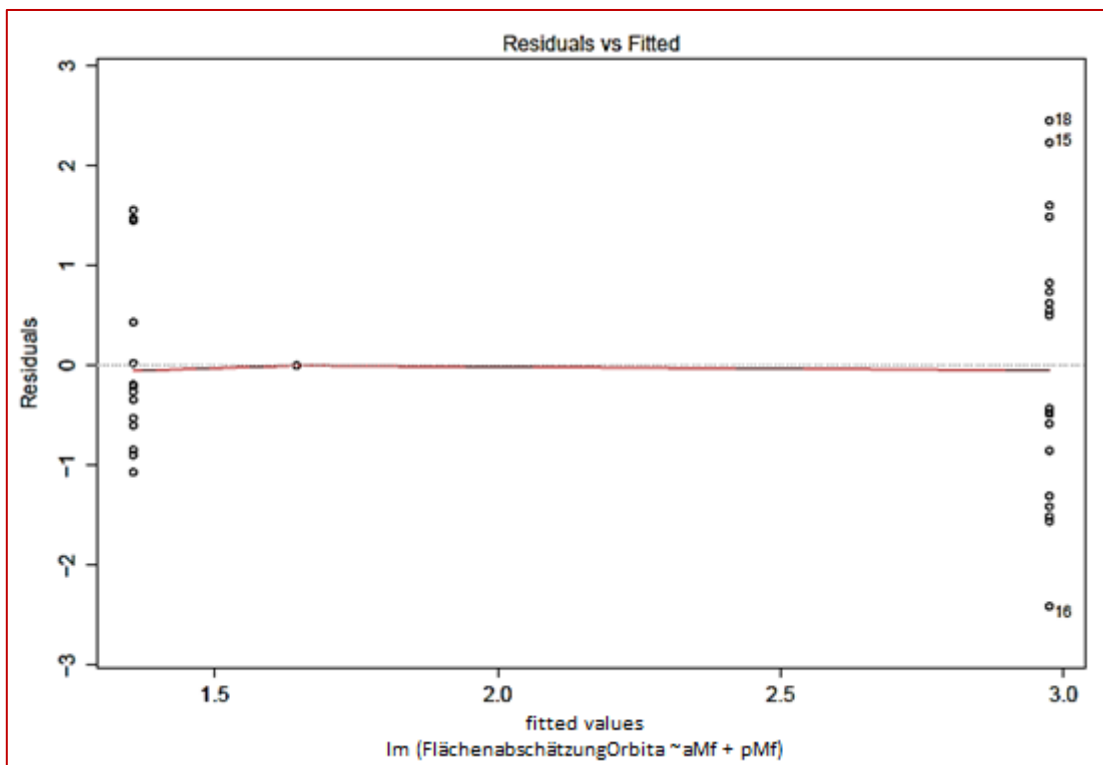


Diagramm 31: „residuals vs. fitted plot“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen in den Subregionen „aM“ und/ oder „pM“ der medialen Orbitawand. Ausreisser (Nr.) o 15; o 16; o 18.

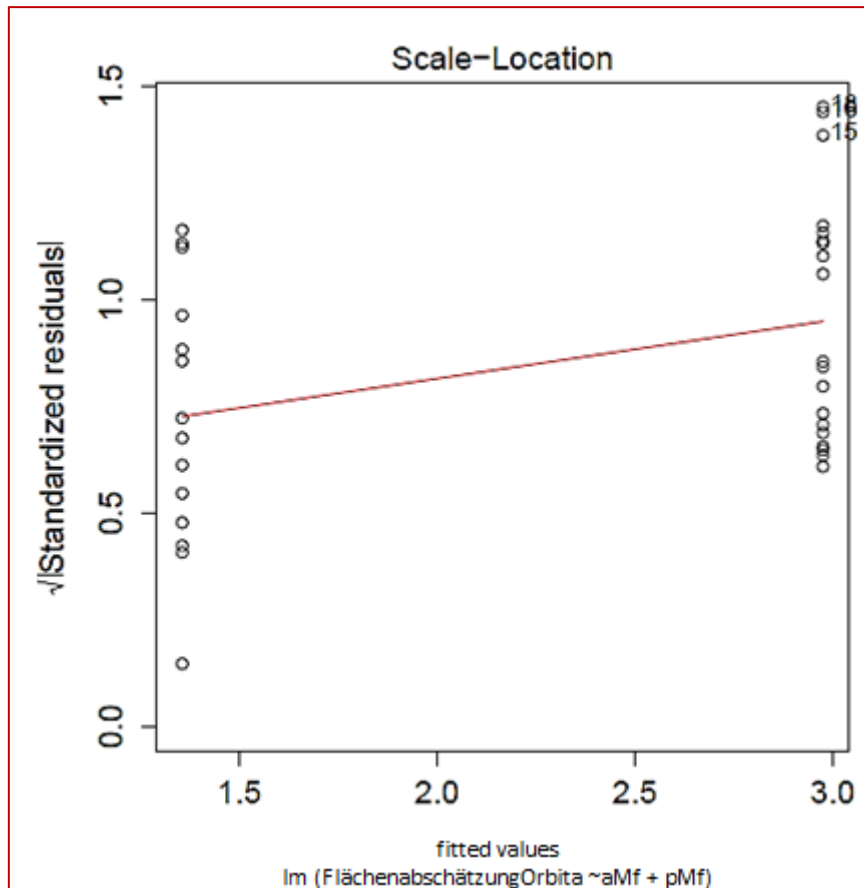


Diagramm 32: „scale location“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen in den Subregionen „aM“ und/ oder „pM“ der medialen Orbitawand. Ausreisser (Nr.) o 15; o 16; o 18.

Die Boxplots der topographischen Subregionen „aM“ (n (Kat1) = 33, n (Kat0) = 1) und „pM“ (n (Kat1) = 20, n (Kat0) = 14) zeigen keine Ausreisser über den 1,5-fachen Interquartilsabstand hinaus (**Diagramme 33, 34**). Bei der Kategorie 0 von „aM“ entfällt die Box-Darstellung, da nur ein Wert (1,65 cm², Fraktur-Code: „pIM pM IOB C“) für Frakturen der medialen Orbitawand ohne „aM“-Beteiligung vorhanden ist. An diesem Beispiel wird auch die gewählte Skalierung der y-Achse ersichtlich.

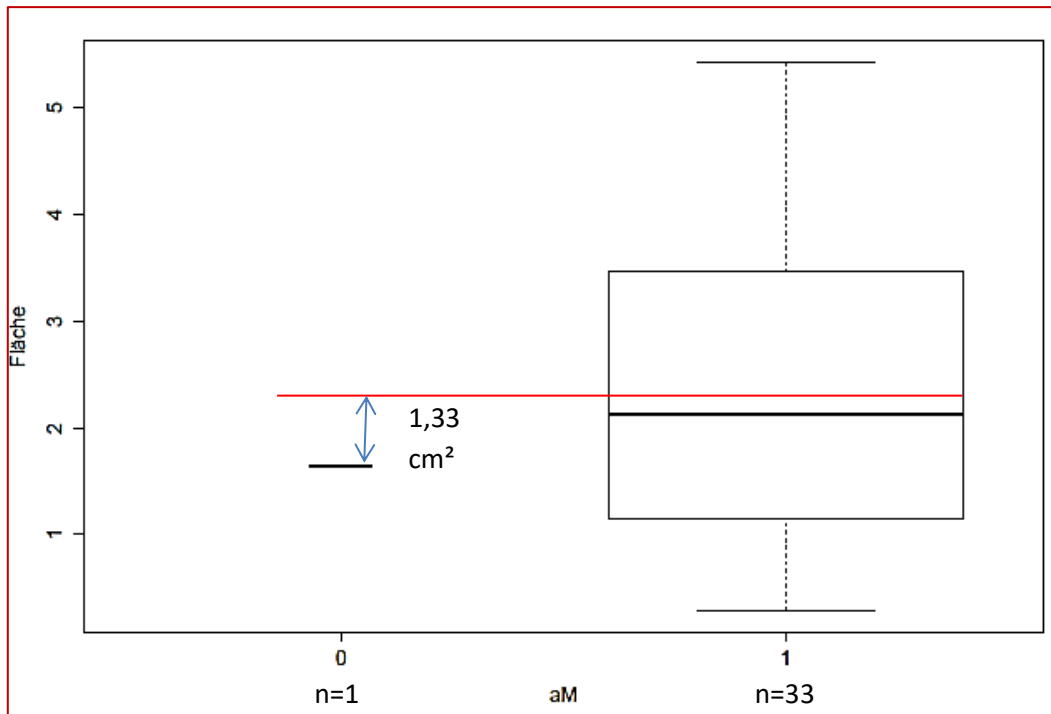


Diagramm 33: Boxplot der Frakturflächengröße in der anterioren Subregion der medialen Orbitawand „aM“ (gemäß Modifikationsvorschlag). Distanz der roten Linien: Differenz der Mittelwerte der Kategorien 0 (n=1) und 1 (n=33) entsprechend dem „Estimate“-Wert 1,33 cm² aus dem Output (Tabelle 8).

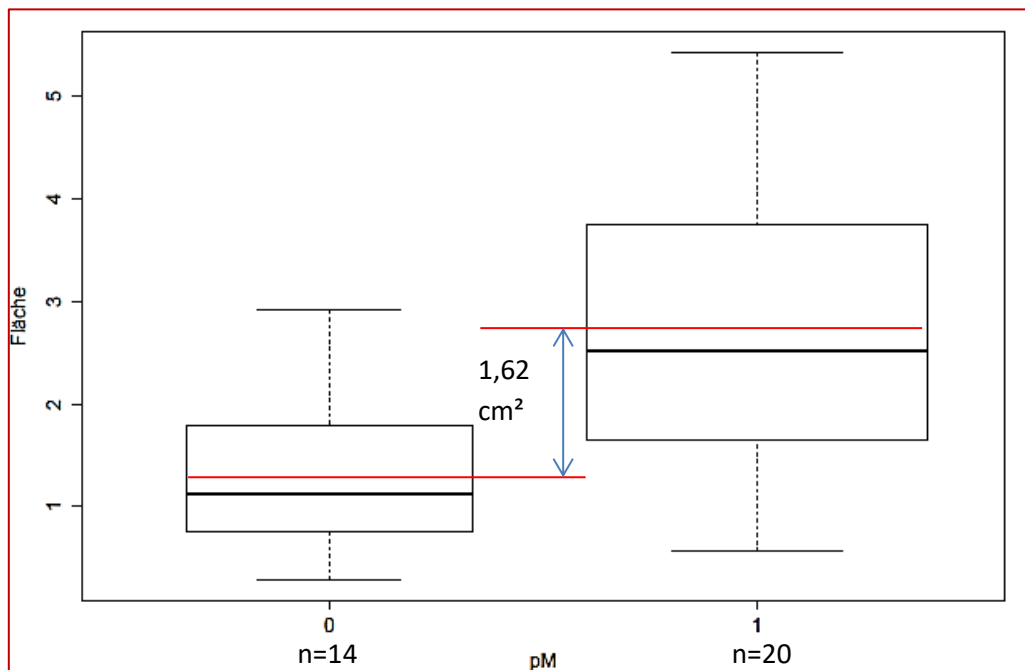


Diagramm 34: Boxplot der Frakturflächengröße in der posterioren Subregion der medialen Orbitawand „pM“ (gemäß Modifikationsvorschlag). Distanz der roten Linien: Differenz der Mittelwerte der Kategorien 0 (n=14) und 1 (n=20) entsprechend dem „Estimate“-Wert 1,62 cm² aus dem Output (Tabelle 8).

5. Diskussion

5.1 Flächen-Ausdehnung von Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand

Die Lokalisation und Flächenausdehnung von Frakturen im Orbitaboden und in der medialen Orbitawand sind bei der Indikationsstellung zum operativen Eingriff und zur OP Planung (operativer Zugangsweg und Art und Auswahl eines Implantats) gleichermaßen von Bedeutung. Zahlreiche Publikationen widmen sich der Volumenmessung der Augenhöhle (*Forbes et al. 1985*⁶¹, *McGurk et al. 1992*¹³⁵, *Deveci et al. 2000*⁴⁵, *Kwon et al. 2010*¹¹⁶, *Roca et al. 2013*¹⁶⁷, *Strong et al. 2013*^{182, 183}, *Jansen et al. 2016*⁹³) sowie der Beziehung von orbitaler Volumenzunahme und Enophthalmus-Entwicklung (*Bite et al. 1985*¹⁴, *Gilbard et al. 1985*⁷¹, *Manson et al. 1986*^{128, 130}, *Parsons und Mathog 1988*¹⁵², *Whitehouse et al. 1994*¹⁹⁷, *Schuknecht et al. 1996*¹⁷⁴, *Raskin et al. 1998*¹⁶⁶, *Jin et al. 2000*⁹⁶, *Fan et al. 2003*⁵⁹, *Cunningham et al. 2005*⁴², *Kwon et al. 2009*¹¹⁵, *Lee et al. 2009*¹²², *Zhang et al. 2012*²⁰², *Oh et al. 2013*¹⁴⁸, *Safi et al. 2016*¹⁷²). Mit der Flächenmessung der Frakturen im Orbitaboden (*Ploder et al. 2001*¹⁵⁷, *Ploder 2002*¹⁶¹, *Ploder et al. 2002a*¹⁵⁶, *2002b*¹⁵⁸, *2003*¹⁶⁰, *2005*¹⁵⁹, *Czerwinski et al. 2008*⁴³, *Park et al. 2013*¹⁵¹, *Kunz et al. 2013*¹¹⁴) und in der medialen Orbitawand (*Jin et al. 2000*⁹⁶, *Lee et al. 2009*¹²², *Kunz et al. 2013*¹¹⁴) beschäftigen sich weniger Veröffentlichungen. Die Flächenberechnung von gebogenen Flächen (*Ploder et al. 2001*¹⁵⁷, *Ploder 2002*¹⁶¹, *Ploder et al. 2002a*¹⁵⁶, *2002b*¹⁵⁸, *2003*¹⁶⁰, *2005*¹⁵⁹) sollte zukünftig möglichst automatisiert in Softwareprogrammen möglich sein. Der Vorteil von Flächenberechnungsfunktionen gegenüber einer Bestimmung von Frakturausmaßen über die Volumendifferenz zwischen intakter und frakturierter Orbita (neben Problematik der anterioren Orbitaöffnung) liegt auf der Hand: Für den Operateur ist für die Rekonstruktion des Orbitagerüstes entscheidend, wie groß eine Fraktur ist und wo sie lokalisiert ist. Diese Kenntnis kann mit einer Flächenberechnung und Topographiebestimmung erworben werden. Weniger geeignet ist hierfür die Volumenbestimmung der Orbita. Mit dem Volumenunterschied (intakte Orbita/lädierte Orbita bzw. vorher/nachher) kann stattdessen das Ausmaß an Folgeerscheinungen (Enophthalmus, Doppelbilder) vorhergesagt werden (*Jin et al. 2000*⁹⁶, *Lee et al. 2009*¹²², *Raskin et al. 1998*¹⁶⁶, *Safi et al. 2016*¹⁷², *Schuknecht et al. 1996*¹⁷⁴, *Zhang et al. 2012*²⁰²).

5.1.1 Flächenvermessung von inferioren und medialen Orbitawandfrakturen in der Literatur

Die Ergebnisse der vorgenannten Arbeiten werden nun kurz dargestellt, um sie dann mit jenen dieser Arbeit vergleichen zu können.

Von Ploder und Mitarbeitern^{156, 157, 158, 159, 160, 161} stammt das Gros der Untersuchungen zur Flächenmessung von Orbitabodenfrakturen sowie zu Frakturen der medialen Orbitawand; sie sind in seiner Habilitationsschrift (*Ploder 2002*¹⁶¹) zusammengefasst sind.

Eine Studie diene zunächst der Validierung der neu entwickelten sog. 2D-ROI-Messmethode (Ploder et al. 2001^{157, 161}). Bei dieser Methode werden Computertomographien (CT: Philips Secura, Best, Niederlande; CT-Schichtabstand: 3mm) in koronaler Schichtung (2D-ROI = zweidimensionale „region of interest“) betrachtet. In den einzelnen Schichten wird die Distanz der beiden Frakturrenden von lateral nach medial vermessen. Aus der Anzahl der CT-Schichten und deren Schichtabständen lässt sich so die Frakturfläche errechnen (Ploder et al. 2001, Ploder 2002).

An 14 anatomischen Human-Präparaten von Augenhöhlen wurde zunächst Millimeterpapier auf den Orbitaboden gelegt und dieser vermessen (Millimeterskala). Anschließend wurde die Fläche des Orbitabodens mit der 2D-ROI Methode bestimmt. Bei direkter Vermessung des Orbitabodens fand sich ein Mittelwert mit Standardabweichung von **5.21 +/- 0.39 cm²** und mit der 2D-ROI Methode einer von **5.30 +/- 0.52 cm²**. Die Flächen artifiziiell gesetzter Frakturen beliefen sich bei direkter Vermessung auf **1.05 +/- 0.64 cm²** und nach der 2D-ROI Methode auf **1.01 +/- 0.62 cm²**. Die Differenz der beiden Methoden lag mit 1,7% bzw. 0,09 cm² für die Flächenmaße des Orbitabodens im Vergleich niedriger als 3,8% bzw. 0,04 cm² für die Frakturflächen (Ploder et al. 2001, Ploder 2002).

Beim experimentellen Vergleich von drei Methoden für die Vermessung von Orbitabodenfrakturen an 22 Augenhöhlen (Human-Präparate) betrug die Mittelwerte mit Standardabweichung nach Berechnung mit der 2D- Ellipsenformel / Hemi-Ellipsoid-Methode (nach Jin et al. 2000⁹⁶) **1,19 +/- 0,59 cm²**, nach der 2D-ROI-Methode **1,44 +/- 0,62 cm²** und nach einer 3D-Methode mit der Visualisierungssoftware Analyze® **1,56 +/- 0,64 cm²**. Die direkte Messung mit Millimeterpapier ergab einen Mittelwert von **1,46 +/- 0,67 cm²** als Referenzwert (Ploder 2002¹⁶¹, Ploder et al. 2002b¹⁵⁸).

In einer ersten klinischen Studie aus den Jahren 1997-2000 an n=38 Patienten mit Vermessung der koronalen CT-Scans ausschließlich nach der 2D-ROI-Methode ergab sich ein Mittelwert mit Standardabweichung für die Fläche des Orbitabodens von **5,72 +/- 1,07 cm²** und für die Frakturfläche im Orbitaboden von **2,63 +/- 1,20 cm²** (Ploder 2002¹⁶¹, Ploder et al. 2002b¹⁵⁸)

Die Frakturfläche hatte einen durchschnittlichen Anteil von 45,3 +/- 17,6% an der Gesamtfläche des Orbitabodens. In antero-posteriorer Richtung war das anteriore Drittel des Orbitabodens mit einer Frakturfläche von **0,43 +/- 0,44 cm²** an n=28 der Frakturen, das mittlere Drittel mit **1,64 +/- 0,69 cm²** an n=36 Frakturen und das posteriore Drittel mit einer Größe von **0,62 +/- 0,43 cm²** an n=33 Frakturen beteiligt.

Der durchschnittliche Prozentsatz der Frakturflächen am Orbitaboden lag für das anteriore Drittel bei 14,4 +/- 10,8%, für das mittlere Drittel bei 62,7 +/- 12,1% und für posteriore Drittel bei 22,9 +/- 13,3%.

Bemerkenswert an dieser Studie ist die exakte metrische Aufteilung des zweidimensional dargestellten Orbitabodens in drei gleiche Drittel. Die Inkrementdicken in definierten CT-Schichtebenen wurden entlang der y-Achse (koronal), die einer geradlinig verlaufenden Sutura ethmoidomaxillaris gleichgesetzt wurde, aufgereiht und in Drittel separiert.

Aus den Jahren 2000-2001 stammt eine Follow-up Untersuchung nach nicht-chirurgischer und chirurgischer (antrale Ballons bzw. Ballons und intraorbitales Implantat) Behandlung von unilateralen isolierten Orbitabodenfrakturen (Ploder 2002 und Ploder et al. 2003¹⁶⁰). Die präoperative CT Vermessung der Frakturflächen mit der 2D-ROI-Methode (inzwischen automatisiert; die Software zur Vermessung heißt „Image J“ und zur Berechnung „Image Analyze 1.0“) an n=30 Patienten ergab einen Mittelwert mit Standardabweichung von **2,85 +/- 1,11 cm²** (Range: 0,40 - 4,85 cm²). Der Mittelwert mit Standardabweichung für die Fläche des gesamten Orbitabodens betrug für alle Patienten **6,04 +/- 0,98 cm²** (Range: 4,17 - 7,46 cm²).

Eine dritte retrospektive Untersuchungsreihe zur Korrelation von CT-Frakturflächenvermessungen und ophthalmologischen Daten (Bulbusposition, Diplopie, Motilitäts-einschränkung) beruhte auf der Auswertung einer Datenbank, in der während der Jahre 1999-2002 insgesamt n = 82 Patienten akquiriert wurden (Ploder 2002¹⁶¹, Ploder 2005¹⁵⁹). Bei n=68 dieser Patienten war der Orbitaboden, bei n=8 Patienten der Orbitaboden zusammen mit der medialen Orbitawand und bei n=6 Patienten die mediale Orbitawand allein frakturiert.

Die mittlere Fläche des Orbitabodens lag bei **6,32 +/- 1,05 cm²** (Range: 3,62 – 8,77 cm²).

Die mittlere Frakturfläche mit Standardabweichung im Orbitaboden betrug **2,59 +/- 1,14 cm²** (Range: 0,40 – 4,85 cm²) und bei isolierten medialen Orbitawandfrakturen **1,47 +/- 0,52 cm²** (Range: 0,94 – 2,30 cm²).

Die Frakturfläche innerhalb des Orbitabodens hatte einen Anteil von 40,6% +/- 15,9% (Range: 8,5 – 77,7%) am gesamten Orbitaboden.

Berechnungen für die Gesamtgröße der medialen Orbitawand wurden nicht ausgewiesen, ebenso wenig Flächenberechnungen für die n=8 kombinierten Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand, die zur Gegenüberstellung mit der vorliegenden Studie interessant gewesen wären.

Park MS und Baek S¹⁵¹ fanden in ihren Untersuchungen aus den Jahren 2003-2004 zur Vorhersage eines postoperativen Enophthalmus an n=31 Patienten mit isolierten blow-out-Orbitabodenfrakturen durchschnittliche Frakturflächen von **6,11 cm²** [keine Standardabweichung angegeben] (Range: 3,56 - 11,73 cm²). Die Autoren gingen davon aus, dass die Frakturen einer ebenen Fläche entsprechen und so relativ einfach anhand von 2D-CT Messungen zu vermessen waren (Softwareprogramm PACS (PiViewSTAR; INFINITT, Seoul, Korea); Details siehe 5.1.2).

Czerwinsky et al.⁴³ untersuchten die Auswirkungen von Jochbeinfrakturen und deren Rekonstruktion auf den Orbitaboden (2002–2007). Sie vermaßen deshalb n=15 Frakturen sowohl prä- als auch postoperativ mit der 2D-ROI-Methode von Ploder et al (Software: Voxel Q, Picker International, Cleveland, OH; CT-Schichtabstand: 1,25 mm). Präoperativ lagen Frakturflächen im Orbitaboden von **0,3 cm²** (Range: 0 - 0,74 cm²) und postoperativ (nach Repositionierung des Jochbeins) von **0,55 cm²** (Range: 0 – 2,50 cm²) vor. Grund für die

Frakturflächen-Differenz prä- und postoperativ ist, dass der Orbitaboden bei Jochbein-Einstauchung wie eine Ziehharmonika zusammenschoben wird. Die operative Reposition des Jochbeins bewirkt dann eine entsprechende Auffaltung des Orbitabodens mit vermeintlich größerem Defekt.

Jin et al.⁹⁶ verwendeten eindimensionale Messungen aus jeweils einer koronalen (Höhe der Fraktur A) und axialen CT-Schicht (Länge der Fraktur B), nämlich die oben genannte 2D-Ellipsenformel (siehe 5.1.2) zur Berechnung von Frakturflächen bei isolierten blow-out Frakturen der medialen Orbitawand von n=9 Patienten. Die mittlere Frakturfläche betrug **2,35 +/- 1,22 cm²**.

Lee et al.¹²² untersuchten kleinere Frakturen der medialen Orbitawand (< 50% der medialen Wand frakturiert) an n=36 Patienten. Sie gingen bei der Vermessung der medialen Orbitawandfrakturen vor wie Jin et al.⁹⁶ (max. Höhe koronal, max. Länge axial, Ellipsenformel $\pi \times A \times B / 4$) und konnten eine Range der Frakturflächen von **0,18 – 2,20 cm²** feststellen (keine mittlere Frakturfläche angegeben).

Kunz et al.¹¹⁴ fanden bei ihren Vermessungen (2D-ROI nach Ploder et al.) an CT-Datensätzen aus den Jahren 2000-2007 an n=38 (von n=48) Patienten eine mittlere Frakturfläche von **2,16 +/- 1,32 cm²** (Range: 0,42 – 7,87 cm²) bei Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand. Hervorzuheben ist, dass die Frakturvermessung (Software: VXR12, Vidar Systems Corporation, USA und Photoshop CS4 Extended, Adobe Systems, USA) bereits mit einem „fracture-mapping“ („Trifoil mapping system“ nach Jaquiéry et al.^{94, 95}) korreliert wurde.

Dabei ergaben sich im Orbitaboden mittlere Frakturflächen von **0,98 +/- 0,4 cm²** (Range: 0,42 – 1,7 cm²) für n=13 Frakturen der Kategorie **A1** („*Isolated defect of the orbital floor [or the medial wall], 1-2 cm², within zones 1 and 2* [anteriore Orbita und Midorbita, Referenzpunkte: Foramen ethmoidale ant. und Foramen ethmoidale post.]“) bzw. **2,42 +/- 0,8 cm²** (Range: 0,88 -3,74 cm²) für n=18 Fälle der Kategorie **A2** („*Isolated defect of the orbital floor [or the medial wall or both], >2 cm², within zones 1 and 2* [anteriore Orbita und Midorbita], *bony ledge preserved at medial margin of the infraorbital fissure*“) und n=1 Fall der Kategorie **A3** (vgl. A2, aber „*missing bony ledge medial to the infraorbital fissure*“) mit einer Frakturfläche von **1,75 cm²**.

Eine Orbitabodenfraktur mit gleichzeitiger Fraktur der medialen Orbitawand (n=1) hatte eine Fläche von **7,87 cm²** und wurde der Kategorie **A4** („*Defect of the entire orbital floor and the medial wall extending into the posterior third (zone 3), missing bony ledge medial to the infraorbital fissure*“).

Die n=9 isolierten medialen Orbitawandfrakturen (Kategorie **B1** [„defect of the medial wall within zone 1“], **B2** [„defect of the medial wall within zone 2 or within zones 1 and 2“], **B3** [“... within zone 3 or within zones 1, 2 and 3“]) ergaben mittlere Frakturflächen von **2,3 cm²** (Kat. B1, n=1), **2,63 +/- 0,57 cm²** (Range: 2,12 – 3,26 cm, Kat. B2, n=4) und **2,53 +/- 0,55 cm²** (Range: 2,1 – 3,15 cm², Kat. B3, n=4).

Kamer et al.⁹⁸ fanden (CT: SOMATOM Sensation 10, Siemens AG, Erlangen, Germany; CT-Schichtabstand 0.4–0.8 mm; Vermessungs-Software: Amira, Visage Imaging GmbH, Berlin, Germany) heraus, dass im Falle von Orbitabodenfrakturen vornehmlich ein Areal (Größe ca. **4,19 +/- 0,33 cm²** bei Männern, **3,85 +/- 0,38 cm²** bei Frauen) im Bereich der posterioren Transitionszone von Orbitaboden zur medialen Orbitawand (= posterior medial bulge) involviert ist. Frakturen bzw. falsche Rekonstruktionen dieses Areals bewirken eine Malposition des Bulbus.^{98, 138}

5.1.2 Vergleich mit der vorliegenden Studie, unterschiedliche Vermessungsmethoden, Methodenkritik

In der vorliegenden Studie kamen inferiore Orbitawandfrakturen allein oder in Assoziation mit weiteren Mittelgesichtsfrakturen vor, mediale Orbitawandfrakturen hingegen nur kombiniert mit Orbitabodenfrakturen oder auch weiteren Mittelgesichtsfrakturen (**Tabelle 9**). Die Werte für die Frakturflächen aus unserer Untersuchung (n=145 Orbitabodenfrakturen und n=34 mediale Orbitawandfrakturen vermessen nach dem „defect-body“-Verfahren) sind mit den Ergebnissen aus der Literatur (siehe 5.1.1) vergleichbar. Park und Baek¹⁵¹ geben hingegen deutlich höhere Frakturflächen (von isolierten blow-out-Frakturen) für den Orbitaboden im Vergleich zu unseren Untersuchungen an Orbitabodenfrakturen (6,11 cm² gegenüber 2,94 +/- 0,98 cm² (n= 46 in unserer Studie) sowie den Untersuchungen von Ploder (2,63 +/- 1,20 cm², 2,85 +/- 1,11 cm², 2,59 cm² +/- 1,14 cm² (Ploder et al.^{158, 159, 160, 161}) an.

Zur Diskussion und zum Vergleich mit der Literatur sind die eigenen Ergebnisse der Frakturflächenvermessungen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand in **Tabelle 9** dargestellt.

Fraktur und deren Assoziation	Anzahl n	Frakturfläche (Mittelwert + Standardabweichung)
Orbitabodenfrakturen insgesamt	$\Sigma = 145$	2,86 +/- 1,19 cm² Range: 0,11 – 6,09 cm ²
isolierte Orbitabodenfrakturen	46	2,94 +/- 0,98 cm² Range: 0,73 - 4,94 cm ²
Orbitabodenfrakturen assoziiert mit weiteren Mittelgesichtsfrakturen	99	2,83 +/- 1,28 cm² Range: 0,11 – 6,09 cm ²
Frakturen der medialen Orbitawand insgesamt	$\Sigma = 34$	Mediale Orbitawand: 2,27 +/- 1,39 cm² Range: 0,29 – 5,43 cm ²
Orbitabodenfrakturen ausschließlich assoziiert mit medialen Orbitawandfrakturen	23	Orbitaboden: 3,04 +/- 1,53 cm² Range: 0,11 – 6,09 cm ² Mediale Orbitawand: 2,31 +/- 1,28 cm² Range: 0,29 – 5,43 cm ²
Orbitabodenfrakturen assoziiert mit medialen Orbitawandfrakturen und weiteren Mittelgesichtsfrakturen	11	Orbitaboden: 3,42 +/- 0,86 cm² Range: 2,22 – 4,97 cm ² Mediale Orbitawand: 2,19 +/- 1,59 cm² Range: 0,46 – 5,21 cm ²
Orbitabodenfrakturen/mediale Orbitawandfrakturen in Assoziation mit Jochbeinfrakturen insgesamt	$\Sigma = 44$	Frakturen der lateralen Orbitawand nicht vermessen Orbitaboden: 2,70 +/- 1,10 cm² Range: 0,21 – 5,04 cm ²
Orbitabodenfrakturen assoziiert mit Jochbeinfrakturen ohne mediale Orbitawand (inkl. n=1 3-Wand Fraktur [inf. + lat. + sup. Wand])	33	2,46 +/- 1,19 cm² Range: 0,21 – 5,04 cm ²
Orbitabodenfrakturen assoziiert mit medialen Orbitawandfrakturen und Jochbeinfrakturen (n=10 3-Wand Frakturen + n=1 4-Wand Fraktur)	11	Orbitaboden: 3,42 +/- 0,86 cm² Range: 2,22 – 4,97 cm ² Mediale Orbitawand: 2,19 +/- 1,59 cm² Range: 0,46 – 5,21 cm ²

Tabelle 9: Übersicht der Frakturflächen in der vorliegenden Studie – Orbitaboden- und mediale Orbitawandfrakturen isoliert oder in Assoziation mit weiteren Mittelgesichtsfrakturen. Anzahl n und Frakturfläche [cm²] (Mittelwert +/- Standardabweichung).

Czerwinski's⁴³ Frakturflächenvermessungen im Orbitaboden (2D-ROI-Methode, Software: Voxel Q, Picker International, Cleveland, OH) nach Jochbeinfraktur ergaben relativ niedrige Werte (präoperativ 0,3 cm² (Range: 0 – 0,74 cm²); postoperativ nach Reposition 0,55 cm² (Range: 0 – 2,50 cm²)). Dies ist überwiegend auf die Tatsache zurückzuführen, dass Orbitabodenfrakturen in Assoziation mit Jochbeinfrakturen, linienförmig im Verlauf der ZSS (sutura sphenozygomata), zu finden sind und die resultierende Frakturfläche nicht den kompletten Orbitaboden betrifft. Eine antrale Eintauchung des Jochbeins führt zudem zu einer Ziehharmonika-ähnlichen Einklappung des Orbitabodens (geringe Frakturflächen-Größe). Eine Reposition faltet den Orbitaboden auf und zieht die Fragmente wieder auseinander (Frakturfläche nimmt zu). In der Studie ist die Schwere des Traumas auf „moderate-energy zygoma fractures“ limitiert und der Dislokationsgrad des Jochbeins beschränkt sich auf „posteromedial displacement“.

In der unsererseits vorliegenden Studie fanden sich bei Frakturkombinationen „Orbitaboden-Jochbein“ Frakturflächen (präoperativ, n=33) von im Mittel 2,46 +/- 1,19 cm². Im Vergleich zu allen (n=145) in unserer Studie vermessenen Frakturflächen im Orbitaboden (2,86 +/- 1,19 cm², n=145) bzw. zu isolierten Orbitabodenfrakturen (2,94 +/- 0,98 cm², n=47) waren diese um 14% bzw. um 16,5% kleiner.

Tahernia et al.¹⁸⁷ konnten im Vergleich von isolierten Orbitabodenfrakturen (n=13) und Frakturen des zygomaticomaxillären Komplexes (n=10) zeigen, dass das Orbitavolumen bei isolierten Orbitabodenfrakturen um ca. + 28,3% zunimmt (gesund: 17,07 +/- 5,697 mm³, frakturiert: 21,723 +/- 6,001 mm³), jedoch bei Jochbeinfrakturen eine Abnahme von - 18,3% des Orbitavolumens (gesund: 17,9 +/- 5,452 mm³, frakturiert: 14,9 +/- 4,681 mm³) festzustellen ist. Referenzwerte waren die gesunden Orbitae der Gegenseite. Der „Ziehharmonika“-Mechanismus scheint sich auch hier als Erklärung zu bestätigen. Mehrere Softwareprogramme werden für die Volumenbestimmung verwendet: „Image Segment“ (Dr Paul Segars, Duke Advanced Imaging Laboratories) dient zur Segmentierung, „Image J 1.37v“ (National Institut of Health, Bethesda, Md.) wandelt DICOM- in RAW-Format (Rohdatenformat) um und letztlich erfolgt die Auswertung mit der Software „Rhinoceros NURBS modeling software“ (Robert McNeel & Associates, Seattle, Washington, USA). Eine OP ist dieser Studie nach indiziert, wenn die Frakturfläche >50% des Orbitabodens beträgt oder der zygomatico-maxilläre Komplex mehr als 10 mm komprimiert ist.

Vorhandene Werte isolierter medialer Orbitawandfrakturen aus der Literatur zeigen zumindest Ähnlichkeiten mit denen der vorliegenden Studie, auch wenn keine isolierten Frakturen der medialen Orbitawand in unseren Untersuchungen vorkamen: Jin et al. konnten bei ihren Untersuchungen an nur n=9 CTs mit isolierten medialen blow-out-Orbitafrakturen eine mittlere Frakturfläche von 2,35 +/- 1,22 cm² (2,27 +/- 1,39 cm² in unserer Studie) feststellen. Isolierte mediale Orbitawandfrakturen (n=6) zeigten bei Ploder et al.¹⁶¹ Frakturflächen von nur 1,47 +/- 0,52 cm². Bei Kunz et al.¹¹⁴ waren isolierte mediale Orbitawandfrakturen (n=9) im Mittel mit 2,55 +/- 0,56 cm² angegeben. Unsere Studie beinhaltete Frakturen der medialen Orbitawand (n=34; mittlere Frakturfläche: 2,27 +/- 1,39

cm²), die immer mit Orbitabodenfrakturen einhergingen. n=11 dieser n=34 Frakturkombinationen „Orbitaboden - Mediale Orbitawand“ waren mit weiteren Mittelgesichtsfrakturen assoziiert und hatten eine mittlere Frakturfläche von 2,19 +/- 1,59 cm² (in der medialen Orbitawand; Orbitaboden: 3,42 +/- 0,86 cm²).

Die bereits angewandten Messmethoden zur Frakturflächenbestimmung unterscheiden sich grundlegend. Jin et al.⁹⁶ (und Lee et al.¹²²) setzten z.B. voraus, dass alle medialen Orbitafrakturen die Form eines Ellipsoids haben. Der hernierte Orbitainhalt wurde als Hemi-Ellipsoid definiert. In je einer für die Fraktur repräsentativen axialen (Länge) und koronalen (Höhe) CT-Schicht wurde die maximale Ausdehnung bestimmt und vermessen. Daraus wurde die Frakturfläche - auf der Annahme eines Ellipsoides basierend - anhand der Formel „Frakturfläche = $\pi \times A \times B / 4$ “ abgeschätzt. Problematisch an dieser Verfahrensweise ist sicherlich, dass nicht jede Orbitafraktur einem Ellipsoid ähnelt, sodass nur eine Näherung der realen Frakturfläche mit dieser Methode möglich scheint.

Goggin et al.⁷⁴ weisen in ihrer Arbeit (CT-Daten aus den Jahren 2009-2013; n=99 Orbitabodenfrakturen; CT-Schichtabstand: < 3 mm) darauf hin, dass vier überprüfte geometrische Modelle (Quadrat, Rechteck, Ellipse, Kreis) zur Frakturflächenabschätzung (PACS, PiViewSTAR; INFINITT, Seoul, Korea) unzureichend und nicht validiert sind. Die beste Näherung gelinge mit der Ellipsenform. Hingegen wird der 2D-ROI-Methode von Ploder et al. attestiert, eine genaue Wiedergabe der Defekte erreichen zu können und validiert zu sein.

Sowohl das hier vorgestellte Verfahren als auch Ploder's 2D-ROI-Methode basieren auf einer schichtweisen Evaluation der CT-Daten. Im „defect-body“-Verfahren wird jede koronale Schicht auf vorhandene Frakturen (in Orbitaboden und medialer Orbitawand) überprüft und diese entsprechend markiert, indem die lateralen und medialen Frakturende jeweils verbunden werden. Zur formgetreuen Nachbildung des ursprünglichen Orbitabodens werden etwaige Krümmungen des Orbitabodens (gespiegelt aus der gesunden Orbita) auf den frakturierten Bereich übertragen.

Bei der 2D-ROI-Methode von Ploder et al. wird ein Referenzpunkt (sutura ethmoidomaxillaris) festgelegt und der Abstand („Image J“, National Institute of Health, Boston, MA) von dort zum medialen und anschließend zum lateralen Frakturende vermessen (= Länge a). Zwischen den aufeinanderfolgenden koronalen Schichten ergeben sich nun von Frakturbereich zu Frakturbereich Trapeze (Teilflächen F_n), die aus den gemessenen Längen a und dem Schichtabstand s der CT gebildet werden. Mit dem bekannten Schichtabstand s der CT kann die Gesamtfläche F der Fraktur aus den Teilflächen F_n bestimmt werden.

Beschrieben wird dies durch die Formel:

$$F = \sum^n F_n = \sum^n \frac{a_{n+1} + a_n}{2} s$$

, wobei $\frac{a_{n+1} + a_n}{2}$ der Mittelwert aus den beiden Trapezseiten ist. Die Daten lassen sich mit dem Programm „Image Analyse 1.0“ (PTS Corp., Vienna, Austria) separat statistisch auswerten. Nach gleichem Verfahren (2D-ROI) gingen Czerwinski et al.⁴³ vor. Sie verwendeten lediglich eine andere Software: die CT-Imaging Software „Voxel Q“ (Picker International, Cleveland, OH), bei der eine Genauigkeit der Längen auf 0,1 mm angegeben wird.

Überprüfend maßen Ploder et al. die Frakturen an n=22 anatomischen Präparaten mittels Foto und Kalibrierung durch Millimeterpapier nach und verglich die Messwerte mit denen der unterschiedlichen Verfahren (2D, 2D-ROI, 3D).¹⁶¹ Eine solche überprüfende Messung konnte in unserer Studie nicht durchgeführt werden.

Ploder et al. konnte nachweisen, dass die 2D-ROI-Methode gegenüber der 2D-Methode von Jin et al.⁹⁶ exaktere Werte liefert. Mit der 2D-Methode wurden die Frakturflächen von Orbitabodenfrakturen im Vergleich zu den anatomischen Referenzpräparaten systematisch unterschätzt (1.46 +/- 0.67 cm² im anatomischen Präparat gegenüber 1.19 +/- 0.59 cm² bei der 2D-Methode; hoher Positionsabweichungsparameter).¹⁶¹

Die 2D-ROI-Methode zeigte nur kleine Abweichungen nach unten (2D-ROI-Methode 1.44 +/- 0.62 cm², im Vergleich zur direkten Vermessung am anatomischen Präparat: 1,46 +/- 0,67 cm²). Je kleiner die Frakturfläche im Orbitaboden jedoch war, desto geringer auch die Abweichungen zwischen 2D-ROI und direkter Vermessung am Schädel (geringer Skalen- und Positionsabweichungsparameter). Auch geringe „Interobserver“ und „Intraobserver“-Fehler bestätigten die Eignung der 2D-ROI-Methode für den klinischen Einsatz.¹⁶¹

In Ploder et al.'s Untersuchungen wurden dieselben Frakturflächen mit dem 3D-Visualisierungsprogramm „Analyze®“ (Biomedical Imaging Resource, Mayo Klinik, Rochester MN, USA) vermessen. Das Programm erstellt eine 3D-Rekonstruktion des Schädels auf Basis von DICOM-Daten. An dem 3D-Modell wird die Frakturfläche dann mit dem Cursor umfahren. Die Frakturfläche wird direkt in der Einheit „Pixel“ angezeigt und kann bei bekannter Pixelgröße in cm² umgerechnet werden.¹⁶¹ Es ergaben sich ähnliche Ergebnisse für n=22 Orbitabodenfrakturen (1.56 +/- 0.64 cm²) wie mit der 2D-ROI-Methode, allerdings war die Bearbeitungszeit im jeweiligen Softwareprogramm um Einiges länger (27 min (3D) im Vergleich zu 6,1 min (2D-ROI)).¹⁶¹

Eine Studie zur Bestimmung des Orbitavolumens von Koppel¹¹⁰ zeigte zudem, dass die automatische Erkennung und Berechnung des Orbitavolumens mit „Analyze®“ sehr fehlerbehaftet ist (Abweichung von im Mittel 8,8 +/- 15,2%, überwiegend Abweichung nach oben im Vergleich zur direkten Messung (Goldstandard)). Nicht außer Acht zu lassen ist, dass

bei der Volumenbestimmung allgemein zusätzliche Ungenauigkeiten durch die große anteriore Orbita-Öffnung und wo diese beginnt eine Rolle spielen.^{110, 187} Eine allesübergreifende Kritik am Softwareprogramm „Analyse®“ ist auf Basis dieser Untersuchung von Koppel et al. – auch im Hinblick auf die fehlende Bewertung der Qualität von Flächenvermessungen – noch unzureichend.

Park et al.¹⁵¹ stellten (im Vergleich zu Ploder et al. und den Flächenbestimmungen der vorliegenden Studie) höhere Messwerte fest (6,11 cm² [Range: 3,56 - 11,73 cm²]). Grund dafür ist offensichtlich eine ungenaue, sehr arbiträre Erfassung der jeweiligen Frakturverläufe. Die Autoren gingen nämlich von der Annahme aus, dass die Frakturen in einer ebenen Fläche liegen und einer Rauten- bzw. Diamant-Form entsprechen. Die Fläche wurde dann durch Multiplikation der maximalen Länge und der maximalen Breite der Raute errechnet bzw. abgeschätzt (Softwareprogramm PACS (PiViewSTAR; INFINITT, Seoul, Korea)).
151

Das „defect-body“-Verfahren gibt dagegen die anatomische Krümmung des Orbitabodens wieder, wie sie auch der gegenüberliegenden Orbita entspricht (mit der „mirroring function“ in „iPlan CMF“ möglich)¹³⁶. Metzger et al.¹³⁶ bestätigten in einer Studie zur Computer-Aided Surgery (CAS) die Genauigkeit des Spiegelungsverfahrens bei virtuellen Rekonstruktionen im Bereich der craniofazialen Chirurgie (z.B. bei medialen Orbitawandfrakturen). Die korrekte Wiedergabe der Orbitakrümmung stellt bereits einen deutlichen Vorteil gegenüber der 2D- Vermessung (z.B. auch mit Ellipsenformel) dar. Hinzu kommt, dass die Umriss der Fraktur (Zirkumferenz) exakt erfasst werden.

Eine Volumenmessungs-Funktion ist im Software-programm „iplan cmf 3.0.3“ bereits automatisiert verfügbar (sogenanntes „cavity tool“). Diese Funktion ist eigentlich zur Messung des Gesamtvolumens der Orbita vorgesehen. Volumenmessungen der Orbita sind schon länger bekannt, da sie aufgrund der CT-Datenbasis „Voxel“ technisch leichter machbar sind (Genauigkeitsangabe der Firma Brainlab: Fehler <10%) als Flächenvermessungen.^{183, 213} Diese Software-Anwendung wurde aus Gründen der Verfügbarkeit schließlich zur Vermessung und Berechnung der Frakturfläche im Orbitaboden sowie der medialen Orbitawand in der vorliegenden Studie verwendet.

Die Standardabweichungen und Spannweiten der angegebenen Frakturflächen vermitteln einen Eindruck von den Messunsicherheiten des „defect-body“-Verfahrens. Diese werden im Wesentlichen durch Verschiedenartigkeiten der menschlichen Orbita, die Abbildungstreue und -genauigkeit der CT-Aufnahmen sowie der Auswertegenauigkeit bestimmt.

Zum Beispiel lagen nicht immer homogene Volumenkörper vor (ca. 15% der untersuchten Orbitae, Beispiel **Abb. 33**). Infolge dieser Ungenauigkeiten ist mit Abweichungen von ca. 2-6% der Frakturfläche zu rechnen ist. Gründe für die Inhomogenität der „defect-bodies“ waren die teilweise großen Schichtabstände der Computertomographien (Dosisersparung) und mangelnde Qualität einiger CTs, die in orts- und behandlerindividuellen Situationen

entstanden waren (z.B. Notfälle). Dazu zählen auch Bewegungsartefakte bei der CT-Untersuchung (Patientencompliance).¹⁶¹

Auch die 3D-Methode („Analyse“) stand in Untersuchungen von Ploder et al.^{158, 161} zu Orbitabodenfrakturen beispielsweise vor dem Problem, dass der dünne Orbitaboden mitunter ungenau abgebildet wurde und Pseudoforamina, anatomische Variationen sowie Artefakte die Frakturanalyse erschwerten. Dies sind nach wie vor Probleme der 3D-Rekonstruktion sowohl von Volumina als auch Frakturflächenbestimmungen in der Orbita und deren Beurteilung. Bereits die Analyse einzelner CT-Schichten (2D, 2D-ROI, „defect-body“) kann dadurch erschwert werden.¹⁶¹

Ist eine präoperative Frakturflächen-Abschätzung der inferioren oder medialen Orbitawände vorgesehen, sollte dies vor der CT-Erstellung mit der Radiologie kommuniziert werden. Denn die moderne Diagnostik anhand von multiplanaren CTs mit Analysemöglichkeiten (Frakturflächenberechnung, Volumetrie) setzt eine Standardisierung der Feinschicht-Technik voraus.

Der vorliegenden Untersuchungsreihe ist - wie den meisten anderen Studien - als nachteilig anzulasten, dass Interobserver nicht und eine Intraobserver-Abweichung ohne ausreichende Dokumentation durchgeführt wurde.¹⁸² Auch eine Referenzmessung (Kalibrierung an einem Dummy oder anatomischen Präparat) wurde nicht durchgeführt. Die Kontrollmessung an einem Präparat kann zur Reduktion von systematischen Fehlern beitragen.

Eine präoperativ bekannte Frakturfläche und Frakturtopographie erlaubt eine präzise OP-Planung mit Auswahl des optimalen Titanmeshes [evtl. als „preformed“-Variante] und dessen Platzierung.¹³⁶

Zusammenfassend dient unser Verfahren zu einer schnellen, genauen und einfach durchzuführenden Abschätzung der Frakturfläche von Orbitabodenfrakturen und Frakturen der medialen Orbitawand.

5.2 Häufige Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand nach der AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene

Die neue Version der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ beruht auf der Auswertung von multiplanaren Bildgebungsdaten in Feinschicht-Inkrementen (CT, CBCT/ DVT).

In der vorliegenden Studie wurden alle in der CT- Untersuchungsreihe von Mittelgesichts-traumen festgestellten Frakturmuster als - hier sogenannte - „Brutto“-Codes nach der AO-Klassifikation verschlüsselt.

Das häufigste „Brutto“-Frakturmuster waren isolierte Orbitabodenfrakturen mit dem Code „Midface92 Oi.m O [bzw. m.Oi O] (**right/ left**)W1(i)2(i)“ (n=41) und Frakturen des Orbitabodens assoziiert mit der lateralen Orbitawand im Rahmen von Jochbeinfrakturen mit dem Code „Midface92 Z.1/0i.Oli.m (ZEB.m) O (**right/ left**)R(li).W1(li)2(i)“ (n=12).

Isolierte Orbitabodenfrakturen (n=41) mit dem „Brutto“-Code „Midface92 Oi.m O [bzw. m.Oi O] (**right/ left**)W1(i)2(i)“ hatten einen Mittelwert mit Standardabweichung von **3,08 +/- 0,89 cm²** (Range: 0,73 - 4,94 cm²) (siehe 8. Anhang, Tabelle 10).

Der Flächen-Mittelwert mit Standardabweichung dieser allein auf den Orbitaboden bezogenen Frakturen ist größer als die durchschnittliche Frakturfläche aller n=145 Orbitabodenfrakturen dieser Studie (**2,86 +/- 1,19 cm²**). Auch n=99 Orbitabodenfrakturen mit weiteren in der Zirkumferenz der Orbita aufgetretenen Mittelgesichtsfrakturen hatten durchschnittlich geringere Frakturausdehnungen (**2,83 +/- 1,28 cm²**).

Beim zweithäufigsten Frakturmuster des Orbitabodens in Assoziation mit Jochbeinfrakturen bzw. Frakturen der lateralen Orbitawand „Midface92 Z.1/0i.Oli.m (ZEB.m) O (**left/right**) R(li).W1(li)2(i)“ (n=12) ließ sich eine mittlere Frakturfläche im Orbitaboden von **2,09 +/- 0,91 cm²** (Range: 0,59 - 4,1 cm²) aus Tabelle 10 (siehe Anhang) errechnen. Diese ist im Vergleich zum Durchschnittswert von 2,86 +/- 1,19 cm² in der gesamten Untersuchungsreihe kleiner. Das kann als Indiz dafür verstanden werden, dass Jochbeinfrakturen (Zygoma en bloc = „ZEB.m“) oftmals nach postero-medial disloziert sind und sich auf den lateralen Anteil des Orbitabodens konzentrieren (vgl. Czerwinski et al.⁴³).

Die Subregion „W1(i)“ (n=19) hatte mit **2,31 +/- 1,10 cm²** (Range: 0,21 – 5,04 cm²) im Vergleich zu „W2(i)“ (n=6) mit **1,87 +/- 0,95 cm²** (Range: 0,91 – 3,74 cm²) eine größere gemessene durchschnittliche Frakturfläche. Ursache ist die Dreiecksform des Orbitabodens, schon die Fläche von „W2(i)“ in der Midorbita ist kleiner als die von „W1(i)“ in der anterioren Orbita. Auch Ploder et al.'s Analysen lieferten eine Flächenabnahme für das anteriore im Vergleich zu mittlerem und posteriorem Drittel: In antero-posteriorer Richtung war das anteriore Drittel des Orbitabodens mit einer Frakturfläche von **0,43 +/- 0,44 cm²** an n=28 der Frakturen, das mittlere Drittel mit **1,64 +/- 0,69 cm²** an n=36 Frakturen und das posteriore Drittel mit einer Größe von **0,62 +/- 0,43 cm²** an n=33 Frakturen beteiligt.

Der durchschnittliche Prozentsatz der Frakturen am Orbitaboden lag für das anteriore Drittel bei 14,4 +/- 10,8%, für das mittlere Drittel bei 62,7 +/- 12,1% und für das posteriore Drittel bei 22,9 +/- 13,3%.^{158, 161}

In der medialen Orbitawand ist das Verhältnis der direkt vermessenen Frakturflächen in den Subregionen „W1(m)“ (n=14) mit **1,35 +/- 0,75 cm²** (Range: 0,29 – 2,91 cm²) zu „W2(m)“ (n=1) mit **1,65 cm²** ziemlich ausgeglichen.

Bei Frakturmustern vom Typ „W1(im)2(im)“ (n=14+1), die sämtliche Subregionen im Orbitaboden und der medialen Orbitawand betreffen, fanden sich dieser Maximalausprägung gemäß die größten mittleren Frakturflächen. Der Orbitaboden wies dabei im Mittel eine Frakturfläche von **3,97 +/- 1,14 cm²** (Range: 1,09 – 6,09 cm²), die mediale Orbitawand von **3,19 +/- 1,41 cm²** (Range: 0,57 – 5,43 cm²) auf.

Die in der gesamten Untersuchungsreihe überhaupt gemessene, zusammenhängende maximale Frakturfläche war - wie zu erwarten - bei Beteiligung sämtlicher Subregionen „W1(im)2(im)“ zu verzeichnen und betrug 9,23 cm² (Orbitaboden: 3,80 cm² plus mediale Orbitawand: 5,43 cm²; gekennzeichnet als Ausreisser Nr. 18). Ein zweites Frakturmuster mit gleicher Formel nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ hatte eine Gesamtfrakturfläche von 8,58 cm² (Orbitaboden: 6,09 cm² plus mediale Orbitawand: 2,49 cm²; gekennzeichnet als Ausreisser Nr. 43).

Bei diesen häufigsten Frakturmustern nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ in dieser Studie finden sich mehrmals Frakturtypen, die noch weiterer Modifikation bzw. Ausführungen und Kommentaren im Code bedürfen. Gründe für eine Diversifizierung von ähnlichen Frakturmustern sind vielfältig. Bereits bei OP-Planung können Informationen zu stabilen Auflagemöglichkeiten (z.B. „posterior ledge“, Medialrand der „IOF“) Nutzen bringen. Entsprechende Materialien für die Rekonstruktion des Orbitawand-Defekts können ausgewählt werden. Aber auch Behandlungsfälle mit einem sehr unterschiedlichen „outcome“, beispielsweise durch Einbeziehung des Canalis infraorbitalis in den Frakturverlauf, können bereits mittels Codierung identifiziert werden.

Die Frakturflächen-Spannweite ist bei manchen (nach Code identischen) Frakturen sehr groß. Eine Ergänzung des Frakturcodes um die tatsächlich vermessene Frakturflächengröße kann für Planungszwecke hilfreich sein. Gleiches gilt für den Frakturmechanismus: Ein „impact“ des Jochbeins kann möglicherweise Erwähnung im Code finden. Letztlich ist dies ein Hinweis, dass sich die gemessene Orbitaboden-Frakturfläche bei Reposition vergrößern kann (Ziehharmonika-Effekt)⁴³.

5.3 Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene für Frakturen in Orbitaboden und medialer Orbitawand

Die Ergebnisse der Flächenvermessung und der Einteilung der Frakturen in Orbitaboden und der medialer Orbitawand nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ waren der Beleg dafür, dass bestimmte topographische Subregionen vornehmlich frakturieren und einige der anatomischen Landmarken regelmäßig in die Frakturmuster involviert werden. Diese Vorinformationen waren die Grundlage für den Modifikationsvorschlag zur weiteren Diversifikation der Subregionen.

5.3.1 Topographische Subregionen

Der Modifikationsvorschlag gestattet eine detailliertere Darstellung der Topographie des Orbitabodens als die originäre „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“.

Der Orbitaboden wird in der Verlaufsrichtung des Sulcus bzw. Canalis infraorbitalis längsgeteilt, sodass sich aus den zwei Subregionen des AO CMF Trauma-Codes „W1(i)2(i)“, die vier Subregionen („aIM“, „aL“, „pIM“ und die area innominata) ergeben. Im postero-medialen Orbitaboden wurde zudem die „posterior ledge“ („PLE“) abgegrenzt.

Die exakte Grenze für die Längsteilung des Orbitabodens bildet die Verbindungslinie zwischen der - in hochauflösenden CTs darstellbaren - posterioren Öffnung des Sulcus bzw. Canalis infraorbitalis am Vorderrand der Fissura orbitalis inferior („F“) und dem auf den Orbitaboden bzw. Infraorbitalrand projizierten Foramen infraorbitale. Die mediale Orbitawand selbst wird im Modifikationsvorschlag nicht drei- sondern zweigeteilt („aM“ und „pM“). Die mediale Orbitawand des Apex orbitae wird - anders als in der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ - nicht separat betrachtet. Zudem findet die Involvierung von anatomischen Landmarken in das Frakturmuster mit den entsprechenden Buchstaben-Kürzeln („IOB“, „C“, „F“, „NLC“) in der Codierung des Modifikationsvorschlags Erwähnung.

In der Hauptsache betreffen die Frakturmuster den medialen Anteil des Orbitabodens, wie es in der Häufigkeit der Beteiligung der topographischen Subregionen „aIM“ (n=126) und „pIM“ (n=120) klar zum Ausdruck kommt (vgl. **Diagramm 13**). Beide Subregionen zugleich („aIM“ und „pIM“) waren in n=105 von n=145 Fällen in das Frakturmuster einbezogen.

Der laterale Anteil des Orbitabodens bzw. die topographische Subregion „aL“ war insgesamt an n=76 Frakturmustern beteiligt.

Im anterioren Orbitaboden waren Frakturen in „aIM“ in 53% bzw. n=66 von n=126 mit Frakturen in „aL“ kombiniert.

In n=8 Frakturmuster-Varianten lag eine Beteiligung von „aL“ - ohne „aIM“ - zusammen mit den Subregionen im Midorbita bzw. posterioren Anteil des Orbitabodens „pIM“ (n=5) , „pIM PLE aM pM“ (n=1) und n=2-mal in Kombination mit „aM pM“ vor.

In nur n=2 Fällen war „aL“ exklusiv als einzige Subregion (d.h. ohne „aIM“, „pIM“, „PLE“ sowie „aM“ und „pM“) im Rahmen einer Orbitabodenfraktur betroffen, dann aber in Verbindung mit dem Infraorbitalkanal, d.h. der Codierungsformel „aL C“ und mit dem Infraorbitalkanal sowie dem Nasolacrimalkanal in Form von „aL C NLC“. Diese seltene Konstellation des singulär aufgetretenen Frakturmodells „aL“ im Orbitaboden ist bereits von Lauer et al.¹¹⁹ beschrieben worden.

Die Durchsicht der CT-Daten ließ außerdem erkennen, dass speziell die Frakturkanten oftmals durch anatomische Strukturen wie die „internal orbital buttress“, die Fissura orbitalis inferior oder den Canalis infraorbitalis gebildet wurden (siehe nächster Abschnitt „anatomische Landmarken“).

Erstreckten sich Orbitabodenfrakturen in antero-posteriore Richtung bis in die Midorbita Subregion „pIM“ (n=120), war in 33 % bzw. n=39 dieser Fälle auch die dorsal gelegene Subregion „PLE“ (posterior ledge) frakturiert, die allgemein als essentielle Auflagefläche für Rekonstruktionen der internen Orbitawände mit Titan-Implantaten eingeschätzt wird.^{9,36,37,38,39,137,138,147,208,209}

Die Subregionen in den medialen Orbitawänden wiesen in n=34 der n=145 untersuchten Frakturen eine Mitbeteiligung auf. Isolierte Frakturen der medialen Orbitawand waren auch nach den Kriterien des Modifikationsvorschlags in der vorliegenden Untersuchungsreihe nicht zu beobachten. Die Subregion „aM“ war in n=14, die Subregion „pM“ in n=1 und beide genannten Subregionen in Kombination „aM pM“ in n=19 Fällen betroffen.

Zusammenfassend lauteten die vier häufigsten Fraktur-Codierungen des Modifikationsvorschlags (in der Summe $\Sigma_n=46$):

- „aIM pIM aL C F“ (n=14) mit einer mittleren Frakturfläche von **3,03 +/- 1,03 cm²** (Range: 1,01 – 4,83 cm²).
- „aIM pIM C“ (n=13) mit einer mittleren Frakturfläche von **2,28 +/- 1,04 cm²** (Range: 0,59 – 3,7 cm²).
- „aIM pIM PLE aL C F“ (n=11) mit einer mittleren Frakturfläche von **3,72 +/- 0,47 cm²** (Range: 3,12 – 4,88 cm²).
- „aIM pIM C F“ (n=8) mit einer mittleren Frakturfläche von **2,71 +/- 1,13 cm²** (Range: 1,34 – 4,44 cm²).

Zusammenfassend scheinen Frakturen in der Subregion „aL“ mit wenigen Ausnahmen stets in Kombination mit Frakturen des medialen Orbitabodens vorzuliegen. Der Sulcus bzw. Canalis infraorbitalis ist dann in 97% der Fälle (n=64 von n=66) in die Fraktur mit einbezogen.

Bei Orbitabodenfrakturen mit „PLE“-Beteiligung muss die mediale Orbitawand auf Frakturen geprüft werden. Denn in 32% (n=11) der posterioren medialen Orbitawandfrakturen (Subregion „pM“) war auch „PLE“ als frakturiert eingestuft worden.

Die in der vorliegenden Studie und in der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ vorgenommene topographische Unterteilung des Orbitabodens und der medialen Orbitawand ist nicht der erste Versuch einer Unterteilung dieser Orbitawände: bereits Ploder et al.^{158, 161} (2002, 2002b) nahmen eine schlichte metrische Drittelung des Orbitabodens von anterior nach posterior vor. Lee et al.¹²² versuchten eine Einteilung der Frakturen der medialen Orbitawand in 7 Areale (A-G; A = frontal bone; B = lacrimal bone; C = anterior maxilla bone; D = upper anterior ethmoidal bone; E = lower anterior ethmoidal bone; F = posterior maxilla bone; G = posterior ethmoidal bone) vor. Jaquiéry et al.^{94, 95} legten das „Trifoil“-Schema (Kleeblattartige Orbitawandunterteilung in inferior, medial und lateral/superior mit darüber projizierter, zielscheibenartiger Ringeinteilung in 3 Zonen) zugrunde, wodurch Orbitaboden und mediale Orbitawand (sowie laterale und superiore Orbitawand) eine Unterteilung in sagittale ausgerichtete Subregionen finden.

Ploders Drittelung ist unabhängig von anatomischen Landmarken, die nicht in jedem CT ausreichend abgebildet waren. Für eine entsprechende OP-Planung sind diese intraoperativen Orientierungspunkte jedoch unabdingbar (Referenzierung).

Einen neuen Weg in Bezug auf die postero-anteriore Unterteilung versuchten Jaquiéry et al. zu beschreiten, indem eine konkrete Dreiteilung der Orbitawände anhand des Foramen ethmoidale anterius (FEA) und Foramen ethmoidale posterius (FEP) festgelegt wurde und wichtige Landmarken wie „infraorbital fissure“, „nasolacrimal duct“, „supraorbital fissure“ oder „optic nerve“ in ihrem „Trifoil“-Schema Benennung fanden. Nachteilig ist mit Sicherheit, dass nur hochauflösende CT's diese Referenzpunkte für die Dreiteilung (FEA, FEP) sichtbar machen können.

Wir griffen in unserer Studie diese Idee der Referenzierung auf, indem im CT klar identifizierbare „Eckpunkte“ („infraorbital fissure“ (IOF), Canalis infraorbitalis (C), „internal orbital buttress“ (IOB), Canalis nasolacrimalis (NLC)) für die topographische Unterteilung gewählt wurden. Die anterior-posteriore Einteilung erfolgte anhand vom „anterior loop“ der IOF (siehe „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“, **Abb. 24A**). Der Orbitaboden konnte in medio-lateraler Richtung durch den Canalis infraorbitalis aufgeteilt werden. Dieser diente zugleich als Referenz für die Abgrenzung der „posterior ledge“ (PLE). Auch der Zustand bzw. eine Involvierung der knöchernen Landmarken (intakt/frakturiert) wurde dokumentiert (siehe folgender Abschnitt).

5.3.2 Anatomische Landmarken

Die „internal orbital buttress“ („IOB“) gilt als stabile Strebe mit posterior-anteriorem Verlauf zwischen der inferioren und medialen Orbitawand (Transitionszone). Bei Rekonstruktionen der Orbitawände stellt die intakte „IOB“ eine wichtige Leitstruktur bei der Platzierung von Orbita-Implantaten dar (vgl. 2.3.5.5.2, **Abb. 17 A-D**).

In insgesamt n=33 von n=145 CT-Untersuchungen konnte die „IOB“ als frakturiert eingestuft werden. Bei 70% bzw. n=23 dieser n=33 Frakturen mit „IOB“-Involvierung lagen kombinierte Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand vor.

In der Midorbita konnte eine Involvierung der „IOB“ insgesamt n=14-mal in Form einer Frakturkombination in den Subregionen „pIM pM IOB“ festgestellt werden. In der anterioren Orbita zeigte sich in Form von „aIM aM IOB“ bei n=20 Frakturen eine Beteiligung an n=34 medialen Orbitawandfrakturen. Im Bereich der „posterior ledge“ konnte in n=10 Fällen eine Frakturkombination „pM pIM PLE IOB“ festgestellt werden (29% der n=34 medialen Orbitawandfrakturen).

Der Canalis infraorbitalis „C“ war mit n=131 die am häufigsten involvierte Landmarke in der vorliegenden Untersuchung von n=145 Orbitafrakturen. Dabei betrafen die Frakturen den anterioren Orbitaboden (z.B. „C“ in Kombination mit der Subregion „aIM“ in n=114 von n=145 Fällen) und die inferiore Midorbita (z.B. „C“ in Kombination mit den Subregionen „aIM pIM“ in n=96 von n=145 Fällen). In n=51 Fällen (53 %) wurde bei „aIM pIM C“-Involvierung (n=96) die Grenzlinie, die der Canalis infraorbitalis „C“ vorgibt, nach lateral überschritten. Dann war folglich „aIL“ involviert und es resultierte die Frakturkombination „aIM pIM aIL C“.

Im anterioren Teil des Orbitabodens „aIM“, waren in 53% Frakturen in der Subregion „aIM“ (n=66 von n=126) mit Frakturen der Subregion „aIL“ kombiniert. In dieser Kombination war dann n=64-mal (97 % von „aIM aIL“ mit n=66) zusätzlich der Canalis infraorbitalis („C“) in den Frakturverlauf einbezogen.

Der Kanal war oftmals zusammen mit dem Orbitaboden-Fragment in Richtung Kieferhöhle disloziert oder von Frakturlinien durchzogen (vgl. **Abb. 10**, **Abb. 53**: von Frakturlinien durchzogener Canalis infraorbitalis). In wie weit aus den ossären Verletzungen letztlich eine Nervenläsion (z.B. verschiedene Läsionsgrade nach Sunderland) resultiert, entzieht sich der computertomographischen Diagnostik.

Eine weitere wichtige anatomische Landmarke ist die Fissura orbitalis inferior („F“, n=74). Sie war häufig in Verbindung mit „C“ frakturiert (n=71; dritthäufigste Frakturkombination (vgl. Abschnitt 4.3.4)). Frakturkombinationen im Sinne von „aIM aIL pIM C F“ kamen n=38-mal vor (26% von n=145).

Nur n=3 Frakturmuster wiesen eine „F“-Involvierung ohne Beteiligung des Canalis infraorbitalis („C“) auf. Dies waren „aIM aIL F“ (betraf nur den „anterior loop“ der IOF), „aIM pIM PLE aM pM IOB F NLC“ und „aIM pIM F“ (knöchernen Infraorbital-Kanalstrukturen intakt und nicht verlagert). Die „aIM pIM PLE aM pM IOB F NLC“-Fraktur lag medial des Canalis

infraorbitalis, zeigte Frakturen im Bereich des dorsalen Anteils des Medialrands der Fissura orbitalis inferior und zeigte eine frakturierte „internal orbital buttress“ bis weit nach anterior in den Canalis nasolacrimalis mündend. Als therapeutische Konsequenz bei Wiederherstellungsoperationen des Orbitabodens ist zu bedenken, dass bei „F“-Involvierung die Auflage für ein Titangitter-Implantat am Medialrand der IOF instabil sein oder fehlen kann.

Die anatomische Landmarke zur Charakterisierung von Frakturen im antero-medialen Orbitaboden und der anterioren medialen Orbitawand ist der „NLC“, d.h. der „nasolacrimal canal“ (Canalis nasolacrimalis). Bei insgesamt n=20 Frakturmustern lag eine Beteiligung des Canalis nasolacrimalis („NLC“) vor (entspricht 13,8% der n=145 untersuchten Orbitafrakturen). Darunter waren n=3 NOE-Frakturgeschehen und n=1 Le Fort III-Fraktur. Frakturen mit einer „NLC“-Beteiligung waren n=17-mal kombiniert mit einer „aIM“-Fraktur. Ein gleichzeitiges Auftreten von Frakturen in der Subregion „aIM“, „aM“ und „NLC“ war n=10-mal anzutreffen. Darunter fanden sich n=8-mal „aIM aM IOB NLC“ Frakturmuster-Kombinationen. In einer Studie zu Frakturen des nasolacrimalen Systems (NLS) von Garg et al. (2015)⁶⁵ konnten vergleichsweise unter n=1980 Gesichtsfrakturen n=104 Beteiligungen des NLS (nasolacrimales System) nachgewiesen werden.

Sind die inferio-antero-medialen Subregionen der internen Orbita frakturiert, muss folglich die Diagnostik „NLC“-Verletzungen ausschließen, damit sich Obstruktionen später nicht unbemerkt manifestieren.¹¹³ Frakturen mit Beteiligung des „NLC“ haben ein 10 %iges Risiko, klinische Symptome wie Epiphora oder Dacryocystitis nach sich zu ziehen.⁶⁵ Signifikant erhöht ($P < 0,05$) ist das Risiko dieser klinischen Symptome bei Frakturen der „nasomaxillary buttress“ (vertikale Verbindungsstrebe von Os nasale und Maxilla, Sutura nasomaxillaris).⁶⁵

5.4 Zusammenhänge zwischen Topographie bzw. Ausdehnung der Frakturmuster und Frakturflächengröße

5.4.1 Regressionsanalyse zur Vorhersage der Frakturflächen in den Subregionen nach der AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene

Die multiple lineare Regressionsanalyse erlaubte es, die Größenordnung der Frakturflächen in den topographischen Subregionen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand in der vorliegenden CT-Serie abzuschätzen und damit Vorhersagen der Frakturflächen auf der Grundlage des, über den AO CMF Trauma-Code angegebenen Frakturmusters, zu treffen.

Ist nur die Subregion „W1(i)“ in die Fraktur involviert, dann ist eine mittlere Frakturfläche von 2,25 cm² zu erwarten (Estimate-Wert der Regressionsanalyse zu „W1(i)“). Frakturen des Orbitabodens im Midorbita-Bereich „W2(i)“ lassen mittlere Frakturflächen von 1,64 cm² erwarten. Bei Fraktur in beiden Subregionen „W1(i)2(i)“ ist eine Frakturfläche von 3,10 cm² vorauszusagen. Auch in der Regressionsanalyse spiegelt sich demnach die Annahme wieder, dass „W1(i)“ – vermutlich aufgrund der Pyramidenform der Orbita und damit der Dreiecksform des Orbitabodens – größere Frakturflächen als „W2(i)“ aufweist.

Die AO CMF Subregionen der medialen Orbitawand „W1(m)“ und „W2(m)“ sind nahezu identisch mit den topographischen Subregionen nach dem Modifikationsvorschlag „aM“ und „pM“. Beim einzigen Fall in der Serie, in dem der mediale Orbita-Apex involviert war („W1(im)2(im).A(m)“), betrug die gemessene Frakturfläche in der medialen Orbitawand 4,465 cm². „pM“ schließt den Apex „A(m)“ mit ein, „W2(m)“ nicht. Nach Einteilung anhand des Modifikationsvorschlages ergab sich der Code „pIM PLE aL aM pM IOB C“. Im Orbitaboden wurde eine Frakturfläche von 1,09 cm² gemessen.

Näherungsweise kann daher zur Abschätzung von Frakturflächen in der medialen Orbitawand („W1(m)“ und „W2(m)“) die Regressionsanalyse von „aM“ und „pM“ übernommen werden. Um das Regressionsmodell für die mediale Orbitawand weiter zu verbessern, werden größere Fallzahlen (n>34) benötigt.

5.4.2 Regressionsanalyse zur Vorhersage der Frakturflächen in den Subregionen nach dem Modifikationsvorschlag

5.4.2.1 Orbitaboden

Das Regressionsmodell für den Orbitaboden berücksichtigt die topographischen Subregionen „aIM“, „pIM“, „PLE“ und „aL“. Die Involvierung anatomischer Landmarken und deren Benennung in der Fraktur-Codierung bleiben in diesem Modell unbeachtet.

Liegt eine Fraktur im Orbitaboden vor, wird einer Konstante „Estimate (Intercept)“ der entsprechende „Estimate“-Wert der frakturierten topographischen Subregion hinzu addiert (vgl. 4.5.1.2).

Daraus ergibt sich für die Frakturfläche der einzeln betrachteten topographischen Subregion „aIM“ bei Involvierung eine durchschnittliche Erhöhung der Frakturfläche um 1,15 cm². Liegen singular Frakturen im Bereich von „pIM“ vor, erhöht sich die zu erwartende Gesamt-Frakturfläche ausgehend vom „Estimate“-Wert um 0,68 cm² auf 1,49 cm². Entsprechend verhält es sich bei „aL“ (Erhöhung um 0,59 cm² auf 1,40 cm²) und „PLE“ (Addition von 0,64 cm², womit sich 1,45 cm² ergeben).

Vergleichsweise sind mit dem Regressionsmodell für die „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ nur weniger genaue Vorhersagen möglich. Grund dafür ist, eine geringere Anzahl von Subregionen.

„aIM“ ist die am häufigsten frakturierte topographische Subregion nach dem Modifikationsvorschlag (n=126) in der vorliegenden Untersuchungsserie, woraus sich das sehr hohe Signifikanzniveau für die Vorhersage der zugehörigen Frakturfläche mit dem Modell erklärt („Pr(>|t|)“ = 1,03e⁻⁵). Infolge der weniger häufigen Beteiligung aller anderen topographischen Subregionen des Orbitabodens an den Frakturmustern, ist die Vorhersage der Frakturflächen in geringerem Maße signifikant (vgl. **Tabelle 7**).

Zur Einschätzung der Güte des Regressionsmodells sei dessen Vorhersagewert für die durchschnittliche Frakturfläche mit den tatsächlichen Vermessungswerten nach dem „defect-body“-Verfahren am häufigsten n=14 Frakturmuster „aIM pIM aL C F“ des Modifikationsvorschlags verglichen.

Die Vorhersage mit dem implementierten Modell ergibt eine **erwarteten Mittelwert mit Standardabweichung der Frakturfläche** von:

Estimate(Intercept) + Estimate(aIM) + Estimate(pIM) + Estimate(aL) =

$$0.8124 \text{ cm}^2 + 1.1532 \text{ cm}^2 + 0.6821 \text{ cm}^2 + 0,5859 \text{ cm}^2 = \mathbf{3,23 \text{ +/- } 0,25 \text{ cm}^2}$$

Die tatsächliche **Vermessung der mittleren Frakturfläche** für dieses Frakturmuster ergab **3,03 cm² +/- 1,03 cm²** (Range: 1,01 - 4,825 cm²).

Mit dem Regressionsmodell scheinen demnach sehr gute Näherungen mit einem großen 95% Konfidenzintervall möglich. Wie das Minimum von 1,01 cm² und das Maximum von

4,825 cm² allerdings verdeutlichen, ist mit erheblichen Diskrepanzen bei den Extrema zu rechnen. Weit vom erwarteten Mittelwert abweichende Einzelfälle in den Regressionsmodellen wurden in der Ergebnisdarstellung (vgl. 4.5.1.2) und im Anhang als Ausreisser gekennzeichnet.

5.4.2.2 Mediale Orbitawand

Der „Estimate“-Wert (Intercept) bei der Regressionsanalyse der medialen Orbitawand und ihren topographischen Subregionen „aM“ und „pM“ ist mit 0,03 cm² relativ klein.

Für Frakturen in der Subregion „aM“, die identisch mit der Subregion „W1(m)“ ist, errechnet sich ein Estimate-Wert von 1,33 cm², so dass eine Flächenausdehnung von **1,36 cm²** für auf diese Regionen begrenzte Frakturen erwartet werden kann.

Die Subregion „pM“, welche die Subregionen „W2(m)“ und „A(m)“ zusammenfasst, hat einen Estimate-Wert von 1,62 cm². Die Vorhersage für die Flächenausdehnung von Frakturen beträgt demnach **1,65 cm²**.

Die Regression für „aM“ weist jedoch einen sehr großen P-Wert („Pr(>|t|)“=0,29) auf und ist nicht signifikant. Das Ergebnis für „pM“ ist hingegen als hoch signifikant („Pr(>|t|)“=0,00056) einzuschätzen.

Für kombinierte Frakturen von „aM“ und „pM“ ist eine mittlere Gesamt-Frakturfläche zu erwarten von:

$$\text{Frakturfläche(aM + pM)} = \text{Estimate(Intercept)} + \text{Estimate(aM)} + \text{Estimate(pM)} =$$

$$0,03 \text{ cm}^2 + 1,33 \text{ cm}^2 + 1,62 \text{ cm}^2 = \mathbf{2,95 \text{ +/- } 0,97 \text{ cm}^2}$$

Zusammenfassend bieten die Ergebnisse der Regressionsmodelle eine erste Orientierung bei der Differentialindikation zum operativen Vorgehen bei infero-medialen Orbitawandfrakturen.

Anhand der frakturierten Subregionen kann die zu erwartende Frakturfläche in aller Regel brauchbar vorhergesagt werden, ohne eine Vermessung am individuellen CT durchführen zu müssen. Im Zusammenspiel mit der klinischen Symptomausprägung (wie beispielsweise Enophthalmus^{122, 130}) wird so die Entscheidung pro oder contra eines operativen Eingriffs als auch die Auswahl von Material und Größe eines Implantats zur Rekonstruktion der internen Orbita im originären anatomischen Oberflächenrelief möglich.

5.5 Frakturflächen in den infero-medialen Orbitawänden in Assoziation mit lateralen Mittelgesichtsfrakturen

In Abhängigkeit von der Richtung des Impacts bei Jochbeinfrakturen und dessen Energie (Kraftvektor) bei Traumatisierungen im Bereich des lateralen Mittelgesichts können weit variierende Dislokationen und Fragmentationen der Jochbein-Fortsätze resultieren mit ganz unterschiedlichen und diametralen Auswirkungen auf die Frakturflächen im Orbitaboden und ggf. auch der medialen Orbitawand.

Die Dislokationsformen lassen sich im 3-dimensionalen Koordinatensystem analysieren und in Translations- und Rotationsbewegungen entlang bzw. um eine vertikale („y“), transversale („x“) und sagittale („z“) Achse differenzieren (Toriumi et al. 2014¹⁹⁰). In einer Untersuchung von Toriumi et al.¹⁹⁰ an Feinschicht CTs mit 0,5 mm Schichtdicke von n=50 Patienten nach Jochbeinfrakturen wurden die „clockwise“ Rotation um die y-Achse (n=36) und Translationsbewegungen entlang der x-Achse (n=25) und der z-Achse (n=25) als die häufigsten Dislokationsformen identifiziert, bedauerlicherweise ohne dass die Schnittmengen dabei angegeben sind. Im Falle einer ausreichend großen „clockwise“-Rotation um die y-Achse mit oder ohne Translationsbewegungen auf der x-Achse und z-Achse ist mit Kompressionen des Orbitabodens zu rechnen, die mit Zunahme der Energie („high- energy Impact“) von den lateralen Subregionen über die medial des Infraorbitalkanals lokalisierten Subregionen bis in die mediale Orbitawand hinein reichen können.

In der vorliegenden Studie finden sich - im Vergleich zur mittleren Frakturfläche aller n=145 Orbitabodenfrakturen mit 2,86 +/- 1,19 cm² - Vermessungswerte für das kombinierte Frakturmuster „Orbitaboden assoziiert mit Jochbeinfrakturen“ (n=33) von nur 2,46 +/- 1,19 cm² (**Tabelle 9**).

Vermutlich wird das Jochbein-Jochbogen-Ensemble nach medial imprimiert und der Jochbeinkörper nach innen rotiert^{190, 43}, sodass die Fragmentation nicht wesentlich über den Lateralbereich des Orbitabodens nach medial hinausgeht. Übereinstimmend damit konnten in n=11 CTs der Orbitabodenfrakturen mit assoziierter Jochbeinfraktur (n=33) nur lineare oder lamelläre Fragmentationen mit geringer Dislokationen und auf den Lateralbereich des Orbitabodens beschränkter Ausdehnung festgestellt werden.

Bei der Auswertung der Häufigkeitsverteilung nach dem Modifikationsvorschlags zur AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene zeigten sich analog dazu Frakturkombinationen in der topographischen Subregion „aL“ bei über 63% der mit Jochbeinfrakturen assoziierten Orbitabodenfrakturen (n=21 von n=33) in Form der Frakturmuster „...aIM aL C...“ n=15, „...aL C...“ n=4 und „...aIM aL...“ n=1. Die restlichen n=12 Frakturen waren außerdem zusätzlich medial des Canalis infraorbitalis lokalisiert (**Abb. 53**).

Wie erwähnt untersuchten auch Czerwinski et al.⁴³ in ihrer Arbeit aus dem Jahre 2008 (vgl. 5.1.1) die Auswirkungen von Jochbeinfrakturen auf den Orbitaboden. Sie gingen – dem

typischen Kraftvektor bei der Traumatisierung des Jochbeins folgend - von einer Imprimierung (antralen Eintauchung) und Innenrotation des Jochbeins aus (**Abb. 53**). Durch die Imprimierung wird der Orbitaboden nach Art einer Ziehharmonika aufgefaltet. Die Fragmente überlappen sich und es resultieren zunächst kleinere Frakturflächen (**Abb. 53**). Die mittleren Frakturflächen bewegten sich bei Czerwinski et al. um $0,3 \text{ cm}^2$ [Range: $0 - 0,74 \text{ cm}^2$]. Eine Reposition des Jochbeins vergrößerte logischerweise die Frakturfläche im lateralen Orbitaboden nicht signifikant auf $0,55 \text{ cm}^2$ [Range: $0 - 2,50 \text{ cm}^2$]. Bestätigend für diese Effekte des Frakturmechanismus können die Ergebnisse von Tahernia et al.¹⁸⁷ herangezogen werden: Sie fanden heraus, dass bei isolierten Orbitabodenfrakturen das Orbitavolumen zunimmt, hingegen bei Jochbeinfrakturen eine Abnahme des Orbitavolumens vorliegt.

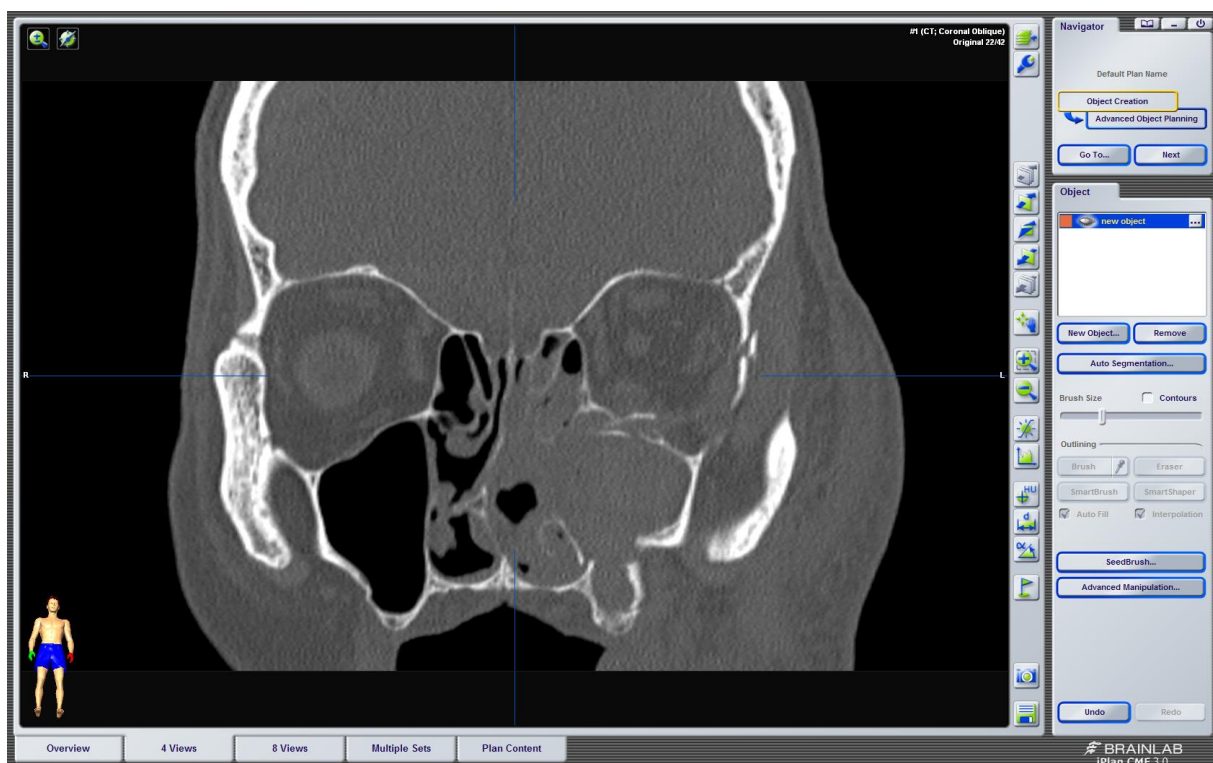


Abb. 53: Koronale CT-Schicht in der anterioren Orbita nach einer Jochbeinfraktur mit antraler Eintauchung links. Lamelläre Fragmentation und Dislokation des Orbitabodens bei Jochbeinfraktur links. Das Jochbein ist im Sinne einer Translationsbewegung entlang der x-Achse nach medial verschoben (hier im Einzelbild nur andeutungsweise dargestellt: Rotation „clockwise“ um z-Achse).

Bei lateralen Orbitawandfrakturen in Verbindung mit Jochbeinfrakturen und Frakturen der infero-medialen Orbitawände ($n=11$) betrug die mittlere Frakturfläche in der medialen Orbitawand $2,19 \pm 1,59 \text{ cm}^2$ und im Orbitaboden $3,42 \pm 0,86 \text{ cm}^2$. Im Vergleich dazu fand sich bei alleinigen Frakturen der infero-medialen Orbitawände ohne Jochbeinbeteiligung ($n=23$) mit $2,31 \pm 1,28 \text{ cm}^2$ eine größere mittlere Frakturflächenausdehnung in der medialen Orbitawand als im Orbitaboden ($3,04 \pm 1,53 \text{ cm}^2$).

Die fehlende direkte anatomische Lagebeziehung der lateralen Orbitawand und der umgebenden Jochbeinstrukturen mit ihren massiven Rändern zur medialen Orbitawand scheint als Begründung für die kleineren Frakturausdehnungen in der medialen Orbitawand plausibel. Für die erhöhten Frakturflächen im Orbitaboden bei Vorliegen von Jochbeinfrakturen und medialen Orbitawandfrakturen (**3,42 +/- 0,86 cm²**) gegenüber alleinigen infero-medialen Orbitawandfrakturen (**3,04 +/- 1,53 cm²**) fehlt eine schlüssige Erklärung.

NOE-Frakturen waren an insgesamt n=4 von n=145 einzelnen Orbitae (n=1-mal bei einer bilateralen Fraktur) festzustellen und wiesen keine erhöhten Frakturflächen für Orbitaboden (**2,53 +/- 0,93 cm²**) und die mediale Orbitawand (**1,61 +/- 0,76 cm²**) auf; im Gegenteil, diese waren eher gering.

Lagen Frakturen im Sinne von ausgedehnten Mittelgesichtsfrakturen (Le Fort-, Schädelbasisfrakturen, etc.) vor, waren aufgrund der vermutlich größeren Krafteinwirkung relativ ausgedehnte Frakturflächen zu beobachten:

Eine sehr große Frakturfläche zeigte beispielsweise eine (bilaterale) Le Fort III-Fraktur vom Typ:

- „Ausreisser 18“ mit Frakturcode nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“: „Midface92 Z.I.L.Pt.Olim.U1m.Omil.Pt.L.Z (LF-III.m.LF-III) Skull base93 Os.m.Os Cranial vault94 F1m.m.F1m O (right)R(m).W1(im)2(im) O (left)R(m).W1(im)2(im)“
 - 3,81 bzw. 3,63 cm² (Orbitaboden)
 - 5,43 bzw. 3,71 cm² (mediale Orbitawand)

Außerdem wurden bei zwei unilateralen Schädelbasisfrakturen folgende Werte gemessen:

- „Ausreisser 43“ mit Frakturcode nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“: „Midface92 I1i.Oim.U1 Skull base93 S.Oa.m O (right)R(im).W1(im)2(im)“
 - 6,09 cm² (Orbitaboden)
 - 2,49 cm² (mediale Orbitawand)
- „Ausreisser 15“ mit Frakturcode nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“: „Midface92 U1m.Omil.I1di.Z (m.ZEB) Skull base93 m.Oas.A Cranial vault94 m.F1 O (left)R(slim).W1(slim)2(im).A(s)“
 - 3,56 cm² (Orbitaboden)
 - 5,21 cm² (mediale Orbitawand)

5.6 AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene und Modifikationsvorschlag – ein Vergleich

Die Möglichkeiten die Leistungsfähigkeit der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ durch Gegenüberstellung und Vergleiche mit bisherigen publizierten Klassifikationssystemen zu überprüfen sind a priori begrenzt. Die „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ ist komprehensiv und dazu ausgelegt, Frakturen im Bereich des gesamten Gesichtsschädels in 3 Präzisions-Leveln erfassen zu können.

Le Fort betrachtete das Mittelgesicht bereits 1901^{120,121} als Ganzes: Er unterschied allerdings nur sehr grob 3 Frakturmuster, die heute noch als Le Fort I-/ Le Fort II-/ Le Fort III-Frakturen bekannt sind. Die Anzahl der dokumentierbaren Frakturmuster nach der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ ist hingegen endlos.

Verschiedene Autoren gingen jeweils auf Teilbereiche des Mittelgesichts ein: ein zygomatico-orbitaler Komplex (Knight JS, North JF 1961¹⁰⁴, Larsen OD, Thomsen M 1978¹¹⁸, Zingg et al. 1992²⁰⁵), naso-orbito-ethmoidaler Komplex (Gruss 1985⁷⁸, Manson 1985¹²⁹, Markowitz 1991¹³³) oder fronto-orbitaler Komplex (Luce 1987¹²⁵, Gruss 1989⁷⁶, Burstein 1997²³) wurden beispielsweise konkret detailliert klassifiziert.

Andere Autoren beschäftigten sich direkt und ausschließlich mit den orbitalen Knochenstrukturen (siehe Abschnitt 2.4). Zu nennen sind u.a. Manson et al.¹³⁰, Antonyshyn et al.³, Blotta et al.¹⁷, Nolasco et al.¹⁴⁶, Lauer et al.¹¹⁹ oder Harris et al.⁸². Sie formulierten Einteilungen, die auf die Symptomatik der Orbitafrakturen eingehen oder die anatomischen Gegebenheiten nach Traumen wiedergeben.

Carinci et al.²⁵ verwendeten zur Beschreibung der Lokalisation von Frakturen die Anfangsbuchstaben „F“ für „Frontal“, „N“ für „Nasal“, „M“ für „Maxillary“ und „Z“ für „Zygomatic Bone“. Jaquiéry et al.⁹⁴ beschrieben in einem Trifoil-Schema - als Vorreiter der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ – die verschiedenen Frakturtypen im Bereich der inferomedialen Orbitawände und des Orbitadachs mit Zahlen und Buchstabenkombinationen.

Anlass für den Modifikationsvorschlag zur „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ war u.a. die fehlende Berücksichtigung des Sulcus/Canalis infraorbitalis und der „posterior ledge“ („PLE“) bzw. die Facies orbitalis ossis palatini in der bestehenden „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“. Der anteriore Anteil des Orbitabodens wurde in eine laterale und mediale Subregion aufgeteilt (Unterteilung anhand des Sulcus/Canalis infraorbitalis). Referenzpunkt für die Unterteilung nach dorsal war die Fissura orbitalis inferior („F“) bzw. die Schnittebene im CT (bei Vorgehen von anterior nach posterior), in der die Fissura orbitalis inferior zum ersten Mal auffindbar ist. Frakturen im posterioren Orbitaboden konnten durch das Hinzufügen von z.B. „PLE“, „F“, „C“, „IOB“ zum Frakturcode genauer beschrieben werden. Die mediale Orbitawand wurde beispielsweise dahingehend vereinfacht, dass der Midorbita-Abschnitt und die Apexregion zusammengefasst wurden. Allerdings fehlt noch eine Validierung⁴, um die Wichtigkeit bzw. die Gültigkeit des Vorschlags zur Unterscheidung von „aIM“/„aIL“ mit und ohne Involvierung des Canalis infraorbitalis sicherstellen zu können.

Durch die Unterteilung im anterioren Orbitaboden kann ein Frakturgeschehen genauer charakterisiert werden - mit der Einschränkung kleinerer Häufigkeiten der Einzelkategorien und vieler Codierungs-Unikate.

Dies wird an den Ergebnissen dieser Studie für den anterioren Orbitaboden deutlich:

„W1(i)“ war in der Studie insgesamt n=136-mal frakturiert: korrespondierend dazu konnten Frakturen in „aIM“ insgesamt n=126-mal gezählt werden und in „aL“ n=76-mal. Die Kombination „aIM aL“ war n=66-mal aufzufinden, sodass „aIM“ n=60-mal und „aL“ 10-mal alleinig anzutreffen waren (Summe n=66 + 60 + 10=136).

Der posteriore Orbitaboden „W2(i)“ war insgesamt n=120-mal frakturiert, jedoch nur n=9-mal alleine, das bedeutet ohne Kombination mit Frakturen in „W1(i)“. Es fanden sich folgende Frakturvariationen, wenn „W2(i)“ involviert war: n=120-mal „pIM“, bei n=39-mal eine Beteiligung von „PLE“. Eine Benennung von Frakturen des posterioren Bereichs im Sinne der „posterior ledge“ („PLE“) im Modifikationsvorschlag und eine entsprechende Codierung erscheint unserer Meinung nach unverzichtbar, da die „PLE“ als Auflage für die Rekonstruktion mit Orbitameshes relevant ist.

Eine differenziertere Betrachtungsweise bringt nicht nur mehr klinisch relevante Details, sondern erlaubt auch eine genauere Vorhersagewahrscheinlichkeit für die Größe der Frakturflächen im Orbitaboden. Die Gegenüberstellung der Regressionsanalysen für „W1(i)“/„W2(i)“ und für die Subregionen des Modifikationsvorschlags sind ein Beleg. Für „W1(i)“-Frakturen belaufen sich die Frakturflächen auf einen Erwartungswert von 2,25 cm², beim Modifikationsmodell beträgt die zu erwartende Frakturfläche entweder 1,4 cm² (bei „aL“-Fraktur), 1,97 cm² (bei „aIM“-Fraktur) oder 2,55 cm² (bei „aIM aL“-Fraktur) - je nachdem, welche Subregion als frakturiert eingestuft wurde. Lee et al.¹²², Ploder et al.¹⁶¹, Kunz et al.¹¹⁴, Jin et al.⁹⁶ oder Czerwinski et al.⁴³ nutzten Angaben zur Frakturgröße und deren Lokalisation bereits zur Korrelation mit den Vorkommen von klinischen Symptomen (in den genannten Studien meist Enophthalmus).

Der Modifikationsvorschlag zur Klassifizierung der medialen Orbitawandfrakturen brachte keine Neuigkeiten. Das Regressionsmodell zur Größen-Vorhersage von Frakturflächen in der medialen Orbitawand wurde für die Subregionen des - „W1(m)“/„W2(m)“ - und die Subregionen des Modifikationsvorschlags - „aM“/„pM“ - als identisch betrachtet.

Jank et al.⁹² berichteten, dass Orbitafrakturen mit Involvierung der medialen Orbitawand ein signifikant erhöhtes Risiko (P=0,001) von Diplopie und Exophthalmus nach sich ziehen als Frakturen ohne Beteiligung der medialen Orbitawand. Unter Anwendung der linearen Regression und einer genauen topographischen Analyse der Frakturlokalisierung und -größe mit Hilfe der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ oder des Modifikationsvorschlags können die Risiken für die Entstehung klinischer Symptome in Zukunft gegebenenfalls weiter konkretisiert werden.

Die Benennung von in die Fraktur einbezogenen anatomischen Landmarken im Fraktur-Code durch die Kürzel „IOB“, „C“, „F“ und „NLC“ präzisiert die Frakturmuster des Orbitabodens und der medialen Orbitawand auf einen Blick. Diese Informationen sind in der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ prinzipiell dokumentierbar. Bis auf den Canalis infraorbitalis („C“) sind alle anatomischen Landmarken enthalten. Bisher werden die Informationen aus den „Drop-Down Menues“ nicht in den AO CMF Trauma-Code übernommen (vgl. aktuelle „AO COIAC Version 4.0.0“ (AO Foundation, Dübendorf, Schweiz; Marschelke Messtechnik, Reichenau)).

Die Involvierung von „C“ nach Frakturen des Orbitabodens wird im Modifikationsvorschlag aufgezeichnet und in der Codierungs-Formel registriert. In Zusammenschau mit den angrenzenden Subregionen „aIM“, „pIM“ und „aL“ wird leicht erkennbar, ob das Frakturareal medial und/oder lateral über den Infraorbitalkanal hinausgeht oder der Kanal den Frakturverlauf begrenzt. Dieses Wissen erleichtert die OP-Planung und vorab die Auswahl eines passenden Implantats in Abhängigkeit von der Frakturausdehnung nach lateral/medial. Außerdem ergeben sich Korrelationsmöglichkeiten zur klinischen Symptomatik (Sensibilitätsausfall der ipsilateralen Wange) bei Involvierung des Canalis infraorbitalis und damit ggf. auch prognostische Aussagen über die Restitution der Nervenfunktion.

Auch weitere Unterteilungen des Orbitabodens scheinen möglich. Als Beispiel ist die posterior auf die „aL“-Region folgende Subregion, momentan als „area innominata“ bezeichnet, zu nennen. Die schlichte Bezeichnung als „pIL“ lag nahe. Diese war aber aufgrund unterschiedlicher CT-Qualität schlicht nicht in jedem Datensatz beurteilbar.

Die vorliegende Studie mit ihrem Modifikationsvorschlag will zur weiteren Optimierung der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ anregen. Nach dem 3-Phasenprozess zur Validierung von Frakturklassifikationen von Audigé et al.⁴ befindet sich der Modifikationsvorschlag noch in Phase I. Allerdings flossen dabei die Gesichtspunkte „Therapierelevanz“ und „Weiterentwicklung operativer Behandlungsmethoden“ bereits ein.

5.7 Ausblick

Die AO CMF Trauma-Codes für das Mittelgesicht und die Orbitae^{31,111,112} sind bei weitem nicht so eingängig und intuitiv, wie die Le Fort-Klassifikationen.^{120, 121} Die klinische Etablierung und der Umgang mit der neuen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ bedarf systematischer Instruktionen und einer längerfristigen Eingewöhnungsphase.

Ein Vorteil einer Benennung von frakturierten anatomischen Subregionen und anatomischen Landmarken mit Akronymen - wie im Modifikationsvorschlag - anstelle eines alpha-numerischen Codes wäre die direkte Umsetzbarkeit in den OP-Situs: für die periorbitale Dissektion könnte am Fraktur-Code abgelesen werden, welche intakten Leitstrukturen zur Orientierung noch zur Verfügung stehen.

Die Bezeichnungen und Kürzel des Modifikationsvorschlags sind „mnemotechnisch“ einfacher und einprägsamer – und es bliebe zu überlegen, wie dieser Vorteil sinnvoll im AO CMF Trauma-Code integriert werden kann.

Darüber hinaus können Informationen zu Frakturen und Frakturmustern grundsätzlich weiter ergänzt werden, zum Beispiel in einem Präzisionslevel 4 mit wissenschaftlichem Anspruch. Angaben zu klinischen Symptomen, Behandlungsrelevanz, Behandlungspriorität sind schon heute mit der MySQL-Datenbank, die „AO COIAC 4.0.0“ (AO Foundation, Dübendorf, Schweiz; Marschelke Messtechnik, Reichenau) angeschlossen ist, erfassbar.

Als Ergänzungen kämen eine Dokumentation von Weichgewebsverletzungen oder auch Nervenläsionen in Frage, die naturgemäß jedoch nicht durch radiologische Bildgebungsverfahren diagnostiziert werden können.

In Zukunft könnten vielleicht die Foramina ethmoidales anterior et posterior (FEA und FEP) als im CT darstellbare anatomische Landmarken der medialen Orbitawand in den Modifikationsvorschlag aufgenommen werden (vgl. Jaquiéry et al).⁹⁵

Zukünftige Fortschritte der bildgebenden Verfahren können nach Bedarf in die „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ und damit in die Fraktur-Codes transferiert werden: dies würde beispielsweise NMR- / MRT- Anwendung zur Darstellung der intraorbitalen Weichgewebe sowie der Hirnnerven betreffen.

Mehr Komplexität in einer Klassifikation ist allerdings nur sinnvoll, wenn klinische oder therapeutische Fragstellungen davon profitieren.

Verbesserungsvorschläge und Diskussionen sind bei jeder neu vorgelegten Klassifikation notwendig und wünschenswert. Dementsprechend beabsichtigt die vorliegende Arbeit zu einer alltagstauglichen, patienten- und behandlerfreundlichen Weiterentwicklung der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ beizutragen.

6. Zusammenfassung

Eine multiplanare Feinschicht CT-Bildgebung ist derzeitiger Goldstandard zur detaillierten Diagnostik in der Traumatologie des Mittelgesichts. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Flächenausdehnung nach Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand in 137 CT-Datensätzen (entsprechend 145 Orbitafrakturen) mit einer als „defect-body“-Verfahren bezeichneten Methode vermessen. Die Defekt-ähnlichen Frakturen wurden mit einem Software-Programm („iplan cmf 3.0.3“, Brainlab AG, Feldkirchen, Deutschland) als Volumenkörper dargestellt, woraus sich die Frakturfläche mathematisch abschätzen ließ. Die Orbitabodenfrakturen (n=145) wiesen im Mittel Frakturflächen von **2,83 +/- 1,19 cm²** auf. Unabhängig davon betrachtete Frakturen in der medialen Orbitawand (n=34) hatten im Mittel Frakturflächen von **2,27 cm² +/- 1,39 cm²**.

Neben der Flächengröße beeinflusst die Topographie der Frakturmuster in der internen Orbita die klinischen Folgeerscheinungen, wie sagittale und vertikale Bulbusabweichungen, Diplopie oder neurosensible Ausfallserscheinungen im Versorgungsgebiet des N. infraorbitalis.

Die von Frakturen betroffenen Subregionen in der Orbita und gegebenenfalls im umgebenden Mittelgesichtsskelett wurden daher nach der neuen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ mit dem Software-Programm „AO Comprehensive Injury Automatic Classifier (AO COIAC Version 4.0.0)“ (AO Foundation, Dübendorf, Schweiz; Marschelke Messtechnik, Reichenau) in graphischen Schemata (Icons) erfasst, und zu einem Fraktur-Code verschlüsselt.

Im Bereich des Orbitabodens waren die beiden Subregionen in „W1(i)2(i)“ [1(i) = inferiore anteriore Orbitawand und 2(i) = inferiore Midorbita] zugleich am häufigsten von Frakturen (n=111 von n=145) betroffen bei einer mittleren Frakturfläche von **3,10 +/- 1,11 cm²** (Range: 0,59 – 6,09 cm²). „W1(i)“ war singulär n=25 unter n=145 Orbitafrakturen (mittlere Frakturfläche **2,25 +/- 1,16 cm²**; Range: 0,11 – 5,04 cm²) und „W2(i)“ alleinig n=9-mal (mittlere Frakturfläche **1,64 +/- 0,84 cm²**; Range: 0,96 – 1,94 cm²) betroffen.

Isolierte (ohne assoziierte Mittelgesichtsfrakturen) Orbitabodenfrakturen waren n=46-mal festzustellen. Die mittlere Frakturfläche lag bei **2,94 +/- 0,98 cm²** (Range: 0,73 - 4,94 cm²). Darunter fanden sich n=4 „W1(i)“-Frakturen (mittlere Frakturfläche: **1,85 +/- 0,58 cm²** [Range: 1,25 – 2,79 cm²]) und n=1 „W2(i)“-Frakturen (Frakturfläche: **3,74 cm²**). Außerdem waren n=41 „W1(i)2(i)“-Frakturen vorhanden (mittlere Frakturfläche: **3,02 +/- 0,95 cm²** [Range: 0,73 – 4,94 cm²]).

n=99 Orbitabodenfrakturen zeigten Assoziationen mit weiteren Frakturen im Mittelgesicht (mittlere Frakturfläche **2,83 +/- 1,28 cm²**; Range: 0,11 – 6,09 cm²). Davon waren n=44 Fälle assoziierte Zygoma-Frakturen (mittlere Frakturfläche im Orbitaboden: **2,70 +/- 1,10 cm²**; Range: 0,21 – 5,04 cm²).

In der medialen Orbitawand fanden sich mit n=19 von insgesamt n=34 am häufigsten Frakturen in den beiden Subregionen „W1(m)2(m)“ (mediale anteriore Orbita und mediale Midorbita) zugleich (mittlere Frakturfläche: **2,98 +/- 1,34 cm²** ; Range: 0,57 – 5,43 cm²), in der Subregion „W1(m)“ n=14 (mittlere Frakturfläche **1,36 +/- 0,86 cm²** ; Range: 0,29 – 2,91 cm²) und in „W2(m)“ n=1 (Frakturfläche **1,65 cm²**).

Die „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ wurde in einem Modifikationsvorschlag erweitert, der die topographischen Subregionen im Orbitaboden noch detaillierter unterscheidet und darüber hinaus von Frakturen involvierte anatomische Landmarken in der Codierungs-Formel konkret benennt.

Von diesen topographischen Subregionen waren „aIM“ (antero -inferior orbital wall, medial part) mit n=126 und „pIM“ (postero-inferior orbital wall, medial part) mit n=120 unter den n=145 Orbitabodenfrakturen am häufigsten betroffen. Darauf folgten Frakturen in „PLE“, der posterior ledge mit n=39 und in der Subregion „aIL“ (antero inferior orbital wall, lateral part) mit einer Anzahl von n=76.

In der medialen Orbitawand stimmte die Häufigkeitsverteilung und der Flächenmittelwert der Frakturen in den Subregionen „aM“, d.h. der „anterior medial wall“ und „pM“, d.h. der „posterior medial wall“ (inkl. Mediale Wand des Apex Orbitae) mit den entsprechenden Subregionen der AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene überein.

Die anatomischen Landmarken waren mit folgenden Häufigkeiten in die Frakturmuster involviert: „IOB“ - internal orbital buttress n=33, „C“ - Canalis infraorbitalis n=131, „F“ - Fissura orbitalis inferior n=74 und „NLC“ - Canalis nasolacrimalis n=20.

Das häufigste Frakturmuster nach dem Modifikationsvorschlag war „aIM pIM aIL C F“ (n=14) mit einer mittleren Frakturfläche von **3,03 +/- 1,03 cm²** (Range: 1,01 – 4,83 cm²).

Die Zusammenhänge zwischen der Beteiligung einzelner topographischen Subregionen („AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ versus Modifikationsvorschlag) an den Frakturmustern und der zu erwartenden Flächengröße wurden mittels multipler linearer Regressionsanalyse-Modellen untersucht. Danach waren die Vorhersagemöglichkeiten auf der Grundlage des Modifikationsvorschlags für die Flächenausdehnung von Frakturen im Orbitaboden konsequenterweise detaillierter als mit der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“. Zur Berechnung der Fläche eines Frakturmusters (singulären/kombiniert) waren zu einer Konstante [„Estimate (Intercept)“] von 0,81 cm² folgende mittlere Flächenwerte pro frakturerter Subregion zu addieren: für „aIM“ - 1,15 cm², für „pIM“ - 0,68 cm², für „aIL“ - 0,59 cm² und für „PLE“ - 0,64 cm².

Wegen der geringen Zahl von Frakturbeteiligungen der medialen Orbitawand (n=34 von n=145 Orbitafrakturen) waren die Vorhersagen mit der Regressionsanalyse weniger zuverlässig. Zu einer Konstante [„Estimate (Intercept)“] von 0,02 cm² war für die Flächenberechnung bei Frakturen in der Subregion „aM“ ein mittlerer Flächenwert von 1,33

cm² und in „pM“ ein mittlerer Wert von 1,62 cm² zu addieren. Die Vorhersage-
wahrscheinlichkeit für „aM“ war dabei im Gegensatz zu „pM“ nicht signifikant.

Im Endergebnis lassen sich Frakturen der internen Orbita mit der „AO CMF Trauma
Klassifikation für Erwachsene“ (Präzisions-Level 3) zufriedenstellend einteilen und
dokumentieren („AO COIAC 4.0.0“). Die hier vorgeschlagenen Modifikationen zu einer
detaillierteren Untergliederung der Subregionen im Orbitaboden mit expliziter Nennung
involvierter anatomischer Landmarken in der Codierungsformel eignen sich, die
diagnostische Aussagekraft und die Prädiktion der Frakturflächenausdehnung sowie in der
Konsequenz die Vorgehensweise bei Rekonstruktionen weiter zu optimieren.

Von Interesse bezüglich der operativen Wiederherstellung nach Orbitabodenfrakturen ist die
hohe Involvierungshäufigkeit des Infraorbitalkanals und folglich des N. infraorbitalis bei
Orbitabodenfrakturen. Nur eine - über alle bisherigen Klassifikation hinausgehende - exakte
Beschreibung der Fragmentierungsvarianten wird es ermöglichen, zukünftig adäquate und
effektive Behandlungsmethoden zur - bisher oft ausbleibenden - neurosensiblen Restitution
zu entwickeln und dadurch eine Verbesserung der posttraumatischen Lebensqualität des
Patienten zu erreichen.

7. Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

1. Ahmad F, Kirkpatrick W, et al.; "Strain gauge biomechanical evaluation of forces in orbital floor fractures"; Br J Plast Surg 56(1):3-9; 2003
2. Anonymus; "Leads from the MMWR. Rapidly progressive dementia in a patient who received a cadaveric dura mater graft"; JAMA 257(8):1036-1037; 1987
3. Antonyshyn O, Gruss JS, Kassel EE; "Blow-in fractures of the orbit"; Plast Reconstr Surg 84(1):10-20; 1989
4. Audigé L, Bhandari M, Hanson B, Kellam J; "A concept for the validation of fracture classifications"; J Orthop Trauma 19(6):401-406; 2005
5. Audigé L, Cornelius C P, Di Ieva A, Prein J; "CMF Classification Group (2013) Introduction to the Comprehensive AO Classification System for fractures of the craniomaxillofacial skeleton: rationale, methodological background, developmental process and objectives"; Craniomaxillofac Trauma Reconstr 7(1):6-14; 2014
6. Audigé L, Cornelius CP, Kunz C, Buitrago-Téllez C, Prein J; "AO COIAC Comprehensive Injury Automatic Classifier, Software for the classification and documentation of injuries, User Manual Version 4.0.0, Craniomaxillofacial Fracture Classification Module" AO COIAC Software 4.0.0-Einleitung; AO Foundation; 2014
7. Audigé L, Cornelius CP, Kunz C, Buitrago-Téllez CH, Prein J; "The Comprehensive AOCMF Classification System: Classification and Documentation within AOCOIAC Software"; Craniomaxillofac Trauma Reconstr 7(1):114-22; 2014
8. Augustin A J, Collins J F; "Augenheilkunde"; Springer-Verlag; 2. Auflage; 2001
9. Augustin J B; "Rekonstruktion der internen Orbita mit Non-Preformed Titanmeshes nach Traumen des Mittelgesichts - klinische und radiologische Ergebnisse einer konsekutiven Patientenserie"; Dissertation; München; 2013
10. Bagheri S, Bell B, Husain K; "Current therapy in oral and maxillofacial surgery - chapter 39 "Orbital fractures""; Elsevier-Saunders; 1. Auflage; 2012; S.304ff
11. Baumann A, Burggasser G, Gauss N, Ewers R; "Orbital floor reconstruction with an alloplastic resorbable polydioxanone sheet"; Int J Oral Maxillofac Surg 31(4):367-73; 2002
12. Bell RB, Markiewicz MR; "Computer-assisted planning, stereolithographic modeling, and intraoperative navigation for complex orbital reconstruction: a descriptive study in a preliminary cohort"; J Oral Maxillofac Surg 67(12):2559-70; 2009
13. Berger AJ, Kahn D; "Growth and development of the orbit"; Oral Maxillofac Surg Clin North Am 24(4):545-555; 2012
14. Bite U, Jackson IT, Forbes GS, Gehring DG; "Orbital volume measurements in enophthalmos using three-dimensional CT imaging"; Plast Reconstr Surg 75(4):502-8; 1985
15. Black E, Nesi F, Gladstone G, Calvano C, Levine M; "Smith and Nesi's ophthalmic plastic and reconstructive surgery"; Springer-Verlag; 3. Auflage; 2012

16. Bloching M, Beck R, Knipping S, et al.; "Orbital space-occupying lesions. Practical aspects of imaging"; HNO 49(1):21-28; 2001
17. Blotta P; "Classificazioni delle fratture orbitarie"; Chirurgia Testa Collo 9:15-20; 1992
18. Böttcher R, Bauwens K, Dähne F, Eisenschenk A; "Diagnose und Therapie der Volkmann-Kontraktur"; Trauma und Berufskrankheit 8(1):49-55; 2006
19. Browning CW; "Alloplast materials in orbital repair"; Am J Ophthalmol 63(5):955-62; 1967
20. Burm JS, Chung CH, Oh SJ; "Pure orbital blowout fracture: new concepts and importance of medial orbital blowout fracture"; Plast Reconstr Surg 103(7):1839-1849; 1999
21. Burnstine MA; "Clinical recommendations for repair of isolated orbital floor fractures: an evidence-based analysis"; Ophthalmology 109(7):1207-1210, discussion 1210-1211, quiz 1212-1213; 2002
22. Burnstine MA; "Clinical recommendations for repair of orbital facial fractures"; Curr Opin Ophthalmol. 14(5):236-240; 2003
23. Burstein F, Cohen S, Hudgins R, Boydston W; "Frontal basilar trauma: classification and treatment"; Plast Reconstr Surg 99(5):1314-21, discussion 1322-3; 1997
24. Buitrago-Tellez CH, Cornelius CP, Prein J, Kunz C, di Leva A, Audigé L; "The Comprehensive AOCMF Classification System: Radiological Issues and Systematic Approach"; Craniomaxillofac Trauma Reconstr 7(1):123-130; 2014
25. Carinci F, Zollino I, Brunelli G, Cenzi R; "Orbital Fractures: A New Classification and Staging of 190 Patients"; J Craniofac Surg 17(6):1040-1044; 2006
26. Chen WJ, Yang YJ, Fang YM, Xu FH, Zhang L, Cao GQ; "Identification and classification in le Fort type fractures by using 2D and 3D computed tomography"; Chin J Traumatol 9(1):59-64; 2006
27. Chi MJ, Ku M, Shin KH, Baek S; "An analysis of 733 surgically treated blowout fractures"; Ophthalmologica 224(3):167-75; 2010
28. Chrcanovic BR, Abreu MH, Custodio AL; "A morphometric analysis of supraorbital and infraorbital foramina relative to surgical landmarks"; Surg Radiol Anat 33(4):329-335; 2011
29. Converse JM, Smith B; "Enophthalmus and Diplopia in fractures of the orbital floor"; Br J Plast Surg 9(4):265-74; 1957
30. Cordewener FW, Bos RR, Rozema FR, Houtman WA; "Poly(L-lactide) implants for repair of human orbital floor defects: clinical and magnetic resonance imaging evaluation of long-term results"; J Oral Maxillofac Surg 54(1):9-13, discussion 13-14; 1996
31. Cornelius C P, Audigé L, Kunz C, Rudderma n R, Buitrago-Téllez C H, Frodel J, Prein J; "The Comprehensive AO Classification System for fractures of the craniomaxillofacial skeleton: Midface fractures - Level 3 Tutorial"; Craniomaxillofac Trauma Reconstr 7(1):68-91; 2014

32. Cornelius C P, Kunz C, Audigé L, Buitrago-Téllez C H, Prein J; "The comprehensive AO classification system for fractures of the craniomaxillofacial skeleton: mandible and midface fractures - case collection"; *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 7(1):131-5; 2014
33. Cornelius CP, Audigé L, Kunz C, Buitrago-Téllez C, Neff A, Rasse M, Prein J; "Die neue AO-CMF-Traumaklassifikation für Erwachsene- Überblick, Präzisions-Level und anatomische Module für Unterkiefer, Kiefergelenkfortsätze, Mittelgesicht und Orbita"; *OP-Journal* 29(2):109-128; 2013
34. Cornelius CP, Audigé L, Kunz C, Prein J; "The Comprehensive AOCMF Classification System: Glossary of Common Terminology"; *Craniomaxillofacial Trauma and Reconstruction* 7(1):136-140; 2014
35. Cornelius CP, Hammer B; "Orbital wall fracture patterns - Defining the limits of conventional repair techniques and necessity for computer assisted support" *J Cranio Maxillo Fac Surg* 34 (1):12; 2006
36. Cornelius CP, Mayer P, Ehrenfeld M, Metzger M C; "The orbits - anatomical features in view of innovative surgical methods"; *Fac Plast Surg* 30(5):487-508; 2014
37. Cornelius CP, Mayer P; "Anatomie der Orbita - Teil 2: Weichgewebeinhalt der Augenhöhle"; Poster und Handout DGMKG Jahreskongress Essen - Bony Anatomy of the midface; 2013
38. Cornelius CP; "Anatomie der Orbita - Teil 1: Osteologie"; Poster und Handout DGMKG Jahreskongress Essen - Bony Anatomy of the midface; 2013
39. Cornelius CP; "Essential Anatomy of the orbit - surgical approaches", AOCMF Advanced Course 'Anatomic Dissection of the Internal Orbit and Fracture Repair', Munich, January 28-29, 2011
40. Couly G; "La statique osseuse de la face. Les piliers osseux ptérygo-sphéno-frontaux équivalents biomécanique de la mandibule"; *Rev De Stomatol Paris*, 76(8):607-619; 1975
41. Couly G; "La statique osseuse de la face"; *Rev De Stomatol Paris* 77(2):420-426; 1976
42. Cunningham LL, Peterson GP, Haug RH; "The relationship between enophthalmos, linear displacement, and volume change in experimentally recreated orbital fractures"; *Journal of oral and maxillofacial surgery* 63(8):1169-73; 2005
43. Czerwinski M, Izadpanah A, Ma S, Chankowsky J, Williams HB; "Quantitative analysis of the orbital floor defect after zygoma fracture repair"; *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 66(9): 1869-1874; 2008
44. De Battista JC, Zimmer LA, Theodosopoulos PV, Froelich SC, Keller JT; "Anatomy of the inferior orbital fissure: implications for endoscopic cranial base surgery"; *J Neurol Surg B Skull Base* 73(2):132-138; 2012
45. Deveci M, Oztürk S, Sengezer M, Pabuşcu Y; "Measurement of orbital volume by a 3-dimensional software program: an experimental study"; *J Oral Maxillofac Surg* 58(6):645-8; 2000

46. Dolynchuk KN, Tadjalli HE, Manson PN; "Orbital volumetric analysis: clinical application in orbitozygomatic complex injuries"; *The Journal of cranio-maxillofacial trauma* 2(2):56-63; 1996
47. Dubois L, Jansen J, Schreurs R, Habets PE, Reinartz SM, Gooris PJ; "How reliable is the visual appraisal of a surgeon for diagnosing orbital fractures?" *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery (official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery)* 44(8):1015-24; 2016
48. Duke-Elder W S; "Textbook of Ophthalmology - Injuries"; Mosby; St. Louis; 6. Auflage; 1954
49. Dutton JJ; "Radiology of the Orbit and visual Pathways"; Saunders Elsevier; 2010
50. Eckert A W, Seidel D, Reich W, Schubert J; "Therapie isolierter Orbitabodenfrakturen - Stellenwert der antralen Balloneinlage"; 16. Jahreskongress der Österreichischen Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie; 2012
51. Ellis E, 3rd, Messo E; "Use of nonresorbable alloplastic implants for internal orbital reconstruction"; *J Oral Maxillofac Surg* 62(7):873-881; 2004
52. Ellis E, 3rd; "Orbital Trauma"; *Oral Maxillofacial Surg Clin N Am* 24(4):629-648; 2012
53. Elshaarawy EA; "Morphological and morphometrical study of the nasal opening of nasolacrimal duct in man"; *Folia Morphol (Warsz)* 73(3):321-30; 2014
54. Eolchiyan SA; "Complex skull defects reconstruction with titanium and polyetheretherketone (PEEK) implants"; *Zh Vopr Neurokhir Im N N Burdenko* 78(4):3-13; 2014
55. Ernst A, Herzog M, Seidl R; "Traumatologie des Kopf-Hals-Bereichs"; Thieme-Verlag; Stuttgart; 2004
56. Fahrmeir L, Kneib T, Lang S, Marx B; "Regression: Models, Methods and Applications"; Springer-Verlag; 2013
57. Fahrmeir L, Kneib T, Lang S; „Regression“; Springer Verlag; 2. Auflage; 2009
58. Fahrmeir L, Künstler R, Pigeot I, Tutz G; „Statistik - Der Weg zur Datenanalyse“; Springer Verlag; 5. Auflage; 2009
59. Fan X, Li J, Zhu J, Li H, Zhang D; "Computer-assisted orbital volume measurement in the surgical correction of late enophthalmos caused by blowout fractures"; *Ophthal Plast Reconstr Surg* 19(3):207-11; 2003
60. Fogaça WC, Fereirra MC, Dellon AL. "Infraorbital nerve injury associated with zygoma fractures: documentation with neurosensory testing." *Plast Reconstr Surg* 113(3):834-8; 2004
61. Forbes G, Gehring DG, Gorman CA, Brennan MD, Jackson IT; "Volume measurements of normal orbital structures by computed tomographic analysis"; *AJR Am J Roentgenol* 145(1):149-54; 1985
62. Freyschmidt J, Vogl Th J; "Handbuch diagnostische Radiologie: Kopf-Hals, Band 2"; Springer-Verlag; 2002; Kapitel 5 „Orbita“
63. Fujino T; "Experimental 'Blow-out' fractures of the orbit"; *Plast Reconstr Surg* 54(1):81-2; 1974

64. Gabrielli M F, Monnazzi M S, Passeri L A, Carvalho W R, Gabrielli M, D.D.S., Hochuli-Vieira E; "Orbital wall reconstruction with titanium mesh: retrospective study of 24 patients"; *Cranio-maxillofac Trauma Reconstr* 4(3):151-156; 2011
65. Garg RK, Hartman MJ, Lucarelli MJ, Levenson G, Afifi AM, Gentry LR; "Nasolacrimal system fractures: A description of radiologic findings and associated outcome"; *Ann Plast Surg* 75(4):407-413; 2015
66. Gassner R, Tuli T, Hachl O, Rudisch A, Ulmer H; "Cranio-maxillofacial trauma: a 10 year review of 9543 cases with 21067 injuries"; *J Cranio-maxillofac Surg* 31(1):51-61; 2003
67. Gear AJ, Lokeh A, Aldridge JH et al; "Safety of titanium mesh for orbital reconstruction"; *Ann Plast Surg* 48(1):1-7, discussion 7-9; 2002
68. Gellrich NC, Zerfowski M, Eufinger H, Reinert S, Eysel UT; "Interdisziplinäre Diagnostik und Therapie der traumatischen Sehnervenschädigung"; *Mund Kiefer Gesichtschir* 2(1):107-12; 1998
69. Gellrich NC; "Kontroversen und aktueller Stand der Therapie von Sehnervschäden in der kraniofazialen Traumatologie und Chirurgie"; *Mund Kiefer Gesichtschir* 3(4):176-194; 1999
70. Gierloff M, Seeck NG, Springer I, Becker S, Kandzia C, Wiltfang J; "Orbital floor reconstruction with resorbable polydioxanone implants"; *J Craniofac Surg* 23(1):161-4; 2012
71. Gilbard SM, Mafee MF, Lagouros PA, Langer BG; "Orbital blowout fractures. The prognostic significance of computed tomography"; *Ophthalmology* 92(11):1523-1528; 1985
72. Gilbard SM; "Management of orbital blowout fractures: the prognostic significance of computed tomography"; *Adv Ophthalmic Plast Reconstr Surg* 6:269-280; 1987
73. Glassman RD, Manson PN, Vanderkolk CA et al; "Rigid fixation of internal orbital fractures"; *Plast Reconstr Surg* 86(6):1103-1109, discussion 1110-1101; 1990
74. Goggin J, Jupiter D, Czerwinski M; "Simple computed tomography-based calculations of orbital floor fracture defect size are not sufficiently accurate for clinical use"; *J Oral Maxillofac Surg* 73(1):112-116; 2015
75. Green RP Jr, Peters DR, Shore JW, Fanton JW, Davis H; "Force necessary to fracture the orbital floor"; *Ophthal Plast Reconstr Surg* 6(3):211-7; 1990
76. Gruss JS, Pollock RA, Phillips JH, Antonyshyn O; "Combined injuries of the cranium and face"; *Br J Plast Surg* 42(4):385-98; 1989
77. Gruss JS, Van Wyck L, Phillips JH; "The importance of the zygomatic arch in complex midfacial fracture repair and correction of posttraumatic orbitozygomatic deformities"; *Plast Reconstr Surg* 85(6):878-90; 1990
78. Gruss JS; "Naso-ethmoid-orbital fractures: classification and role of primary bone grafting"; *Plast Reconstr Surg* 75(3):303-17; 1985
79. Habal MB, Maniscalco JE, Rhoton AL Jr.; "Microsurgical anatomy of the optic canal: correlates to optic nerve exposure"; *J Surg Res* 22(5):527-533; 1977

80. Hammer B; "Orbital fractures – Diagnosis, Treatment, Secondary Corrections"; Hogrefe& Huber Publishers Göttingen, Bern; 1995
81. Hardt N, Kuttenger J; "Craniofacial Trauma - Diagnosis and Management"; Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1. Auflage; 2010
82. Harris GJ, Garcia GH, Logani SC, Murphy ML, Sheth BP, Seth AK; "Orbital blow-out fractures: correlation of preoperative computed tomography and postoperative ocular motility"; Trans Am Ophthalmol Soc 96:329-47, discussion 347-53; 1998
83. Hartstein M E, Roper-Hall G; "Update on orbital floor fractures: indications and timing for repair"; Facial Plast Surg 16(2):95-106; 2000
84. Herzog Ch, Burgener F A, Meyers S, Zaunbauer W; "Differentialdiagnosen in der Computertomographie"; Thieme-Verlag; 2. Auflage; 2012; S.288-289
85. Hölzle F, Swaid S, Schiwy T, Wölfelschneider P, Nolte D, Wolff KD; " Versorgung von Jochbeinfrakturen über einen transkonjunktivalen Zugang mit lateraler Kanthotomie unter Schonung des lateralen Lidbandes"; Mund Kiefer Gesichtschir 8(5):296-301; 2004
86. Horch H; "Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie"; Elsevier-Verlag (Urban&Fischer); 4. Auflage; 2007; Kapitel „1. Diagnostik durch aktuelle bildgebende Verfahren“, Kapitel „3. Neue Technologien in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie“, Kapitel „4. Traumatologie des Gesichtsschädels“
87. Hosal BM, Beatty RL; "Diplopia and enophthalmos after surgical repair of blow-out fracture"; Orbit 21(1):27-33; 2002
88. Hwang K, You SH, Sohn IA; "Analysis of orbital bone fractures: a 12 - year study of 391 patients"; J Craniofac Surg 20(4):1218-1223; 2009
89. Hwang K; "One-point fixation of tripod fractures of zygoma through lateral brow incision"; J Craniofac Surg 21(4):1042-44; 2010
90. Jackson IT; "Classification and treatment of orbito-zygomatic and orbitoethmoid fractures - the place of bone grafting and plate fixation"; Clin Plast Surg 16(1):77-91; 1989
91. Jank S, Emshoff R, Schuchter B, Strobl H, Brandlmaier I, Norer B; " Orbital floor reconstruction with flexible Ethisorb patches: a retrospective long-term follow-up study"; J Oral Maxillofac Surg 95(1):16-22; 2003
92. Jank S, Schuchter B, Emshoff R, Strobl H, Koehler J, Nicasi A; "Clinical signs of orbital wall fractures as a function of anatomic location"; Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics 96(2):149-53; 2003
93. Jansen J, Schreurs R, Dubois L, Maal TJ, Gooris PJ, Becking AG; "Orbital volume analysis: validation of a semi-automatic software segmentation method"; Int J Comput Assist Radiol Surg 11(1):11-8; 2016
94. Jaquiéry C, Aeppli C, Cornelius P, Palmowsky A, Kunz C, Hammer B; "Reconstruction of orbital wall defects: critical review of 72 patients"; J Oral Maxillofac Surg 36(3):193-199; 2007
95. Jaquier C, Cornelius CP, Buitrago-Tellez C, Kunz C, Hammer B; "Trefoil mapping system - a basis to classify orbital defects"; J Cranio-Maxillofac Surg 36(1):89-95; 2008

96. Jin HR, Shin SO, Choo MJ, Choi YS; "Relationship between the extent of fracture and the degree of enophthalmus in isolated blowout-fractures of the medial orbital wall"; *J Oral Maxillofac Surg* 58(6):617-20; 2000
97. Joshi S, Kassira W, Thaller SR; "Overview of pediatric orbital fractures"; *J Craniofac Surg* 22(4):1330-2; 2011
98. Kamer L, Noser H, Schramm A, Hammer B; "Orbital form analysis: problems with design and positioning of precontoured orbital implants: a serial study using post-processed clinical CT data in unaffected orbits"; *International journal of oral and maxillofacial surgery* 39(7):666-72; 2010
99. Kampik A, Grehn F; "Augenärztliche Differenzialdiagnose"; Thieme-Verlag; 2. Auflage; 2008
100. Kanski J, Bowling B; "Klinische Ophthalmologie"; Elsevier Urban und Fischer Verlag; 7. Auflage; 2012
101. Kim JW, Goldberg RA, Shorr N; "The inferomedial orbital strut: an anatomic and radiographic study"; *Ophthal Plast Reconstr Surg* 18(5):355-64; Sep 2002
102. King E F, Samuel E; "Fractures of the orbit"; *Trans Ophthal Soc UK* 64:134-53; 1944
103. Klein H M, Schneider W, Nawrath J, Gernot T, Voy E D, Krasny R; "Stereolithography model construction based on three-dimensional reconstructions according to CAM"; *Fortschr Röntgenstr* 156(5):429-432; 1992
104. Knight JS, North JF; "The classification of malar fractures: an analysis of displacement as a guide to treatment"; *Br J Plast Surg* 13:325-39; 1961
105. Knoop KJ, Dennis WR, Hedges JR; "Ophthalmologic procedures. In: Roberts JR, Hedges JR, eds. *Clinical Procedures in Emergency Medicine*"; 5th ed. Philadelphia, Pa; Saunders Elsevier; 2009; Kapitel 63
106. Kolk A, Pautke C, Schott V, Ventrella E, Wiener E, Ploder O, Horch HH, Neff A; "Secondary post-traumatic enophthalmos: high-resolution magnetic resonance imaging compared with multislice computed tomography in postoperative orbital volume measurement"; *J Oral Maxillofac Surg* 65(10):1926-34; 2007
107. Kolk A, Stimmer H, Klopfer M, Wolff KD, Hohlweg-Majert B, Ploder O, Pautke C; "High resolution magnetic resonance imaging with an orbital coil as an alternative to computed tomography scan as the primary imaging modality of pediatric orbital fractures"; *J Oral Maxillofac Surg* 67(2):348-56; 2009
108. Koornneef L; "Orbital septa: anatomy and function"; *Ophthalmology* 86(5):876-880; 1976
109. Koornneef L; "Spatial aspects of orbital musculofibrous tissue in man: A new anatomical and histological approach"; Amsterdam; Swets en Zeitlinger; 1976
110. Koppel DA, Foy RH, McCaul JA, Logan J, Hadley DM, Ayoub A; "The reliability of "Analyze" software in measuring orbital volume utilizing CT-derived data"; *J Craniomaxillofac Surg Ren* 31(2):88-91; 2003
111. Kunz C, Cornelius CP, Audigé L, Buitrago-Téllez CH, Rudderma R, Prein J; "The Comprehensive AOCMF Classification System: Orbital Fractures - Level 3 Tutorial"; *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 7(1):92-102; 2014

112. Kunz C, Cornelius CP, Prein J, Buitrago-Téllez CH, Frodel J, Rudderman R, Audigé L; "The Comprehensive AO Classification System for fractures of the craniomaxillofacial skeleton: Midface fractures Level 2"; *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 7(1):59-67; 2014
113. Kunz C; "Orbital fractures" in: Ehrenfeld M, Manson PN, Prein J; „Principles of internal fixation of the craniomaxillofacial skeleton – Trauma and orthognathic surgery“; Thieme-Verlag; 2012; S.223-231
114. Kunz C, Sigron GR, Jaquiere C; "Functional outcome after non-surgical management of orbital fractures--the bias of decision-making according to size of defect: critical review of 48 patients"; *The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* 51(6):486-92; 2013
115. Kwon J, Barrera JE, Jung TY, Most SP; "Measurements of orbital volume change using computed tomography in isolated orbital blowout fractures"; *Arch Facial Plast Surg* 11(6):395-8; 2009
116. Kwon J, Barrera JE, Most SP; "Comparative computation of orbital volume from axial and coronal CT using three-dimensional image analysis"; *Ophthal Plast Reconstr Surg* 26(1):26-9; 2010
117. Lagrange F; "Le Fractures le l'Orbite"; Masson an Cie-Verlag; S.22; 1917 (Paris)
118. Larsen OD, Thomsen M; "Zygomatic fracture. I. A simplified classification for practical use"; *Scand J Plast Reconstr Surg* 12(1):55-8; 1978
119. Lauer SA, Snyder B, Rodriguez E, Adamo A; "Classification of orbital floor fractures"; *J Craniomaxillofac Trauma* 2(4):6-11; 1996
120. Le Fort R; "Etude experimentale sur les fractures de la machoire superiure"; *Rev Chir* 23: 208-27, 360-79; parts I and II; 1901 (französisch)
121. Le Fort R; "Etude experimentale sur les fractures de la machoire superiure"; *Rev Chir* 23:479-507; part III; 1901 (französisch)
122. Lee WT, Kim HK, Chung SM; "Relationship between small-size medial orbital wall fracture and late enophthalmus"; *J Craniofac Surg* 20(1):75-80; 2009
123. Lentrodt J, Unsöld R, Bosche J; "Amaurose nach operativer Versorgung von Orbitabodenfrakturen-eine unvorhersehbare Komplikation?"; *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 36:150-151; 1991
124. Lethaus B, Weigl S, Kloss-Brandstätter A, Kloss FR, Kessler P, Hölzle F, Bangard C; "Looking for landmarks in medial orbital trauma surgery"; *Int J Oral Maxillofac Surg* 42(2):209-13; 2013
125. Luce EA; "Frontal sinus fractures: guidelines to management"; *Plast Reconstr Surg* 80(4):500-10; 1987
126. Mackenzie DJ, Arora B, Hansen J; "Orbital floor repair with titanium mesh screen"; *J Craniomaxillofac Trauma* 5(3):9-18; 1999
127. Manolidis S, Weeks BH, Kirby M, Scarlett M, Hollier L; "Classification and surgical management of orbital fractures: experience with 111 orbital reconstructions"; *J Craniofac Surg* 13(6):726-37; 2002

128. Manson PN, Clifford CM, Hill NT, et al; "Mechanism of global support and post traumatic enophthalmos I. The anatomy of the ligament sling and its relationship to intramuscular cone orbital fat"; *Plast Reconstr Surg* 77(2):193-202; 1986
129. Manson PN, Crawley WA, Yaremchuk MJ, Rochman GM, Hoopes JE, French JH Jr; "Midface fractures: advantages of immediate extended open reduction and bone Grafting"; *Plast Reconstr Surg* 76(1):1-12; 1985
130. Manson PN, Grivas A, Rosenbaum A, Vannier M, Zinreich J, Iliff N; "Studies on enophthalmos: II. The measurement of orbital injuries and their treatment by quantitative computed tomography"; *Plast Reconstr Surg* 77(2):203–214; 1986
131. Markiewicz MR, Dierks EJ, Bell RB; "Does intraoperative navigation restore orbital dimensions in traumatic and post-ablative defects?"; *J Craniomaxillofac Surg* 40(2):142-8; 2012
132. Markiewicz MR, Dierks EJ, Potter BE, Bell RB; "Reliability of intraoperative navigation in restoring normal orbital dimensions"; *J Oral Maxillofac Surg* 69(11):2833-40; 2011
133. Markowitz BL, Manson PN, Sargent L, Vander Kolk CA, Yaremchuk M, Glassman D, Crawley WA; "Management of the medial canthal tendon in nasoethmoid orbital fractures: the importance of the central fragment in classification and treatment"; *Plast Reconstr Surg* 87(5):843-53; 1991
134. Mast G, Ehrenfeld M, Cornelius CP; "Maxillofaziale Frakturen: Mittelgesicht und interne Orbita. Teil 1: Klassifikation und Diagnostik"; *Der Unfallchirurg* 114(11):1007-1017; 2011
135. McGurk M, Whitehouse RW, Taylor PM, Swinson B; "Orbital volume measured by a low-dose CT scanning technique"; *Dentomaxillofac Radiol* 21(2):70-2; 1992
136. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schon R, Teschner M, Gellrich NC, Schmelzeisen R, Gutwald R; "Verification of clinical precision after computer-aided reconstruction in craniomaxillofacial surgery"; *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology & Endodontics* 104(4):1-10; 2007
137. Metzger M C, Lagrèze W A, Schön R; "Funktionserhaltende Rekonstruktion nach Orbitatrauma"; *Ophthalmologie* 108(6):540-545; 2011
138. Metzger MC, Schön R, Tetzlaff R, Weyer N, Rafii A, Gellrich NC, Schmelzeisen R; "Topographical CT-data analysis of the human orbital floor"; *Int J Oral Maxillofac Surg* 36(1):45-53; 2007
139. Metzger MC, Schön R, Weyer N; "Anatomical 3-dimensional prebent titanium implant for orbital floor fractures"; *Ophthalmology* 113(10):1863-1868; 2006
140. Meyer D In: Tasman, W, Jaeger E (Hrsg.); "Duane's Ophthalmology"; CD-Rom by Lippincott Williams & Wilkins; 2006; Chapter 48, Orbital Fractures <http://www.oculist.net/downaton502/prof/ebook/duanes/index.html>
141. Milauskas A T, Fueger G F, Schulze R. R.; "Clinical experiences with orbitography in the diagnosis of orbital floor fractures"; *Trans Amer Acad Ophthal Otolaryng* 70:25-39; 1966
142. Milauskas A T, Fueger G F; "Serious ocular complications associated with blowout fractures of the orbit"; *Amer J Ophthal* 62:670-2; 1966

143. Milauskas A T; "Diagnosis and management of blowout fractures of the orbit with clinical, radiological and surgical Aspects"; Charles C Thomas-Verlag (Springfield); 1969
144. Müller H; "Über einen glatten Muskel in der Augenhöhle des Menschen und der Säugetiere"; Zeitschr wissenschaftl Zool 9:541; 1858
145. Müller M, Narzarian S, Koch P, Schatzker J; "The comprehensive classification for fractures of long bones"; Berlin, Heidelberg, New York; Springer-Verlag; 1990
146. Nolasco FP, Mathog RH; "Medial orbital wall fractures: classification and clinical profile"; Otolaryngol Head Neck Surg 112(4):549-556; 1995
147. Noser H, Hammer B, Kamer L; "A method for assessing 3D shape variations of fuzzy regions and its application on human bony orbits"; J Digit Imaging 23(4):422-9; 2010
148. Oh SA, Aum JH, Kang DH, Gu JH; "Change of the orbital volume ratio in pure blow-out fractures depending on fracture location"; J Craniofac Surg 24(4):1083-7; 2013
149. Oppenheimer A J, Monson L A, Buchman S R; "Pediatric orbital fractures"; Craniomaxillofac Trauma Reconstr 6(1):9-20; 2013
150. Osguthorpe JD; "Orbital wall fractures: evaluation and management"; Otolaryngol Head Neck Surg 105(5):702-7; 1991
151. Park MS, Baek S; "Measurement of fracture size using the picture archiving communication system in an outpatient clinic for factors that influence postoperative enophthalmos in adult inferior orbital wall fractures"; J Craniofac Surg 24(5):1692-4; 2013
152. Parsons GS, Mathog RH; "Orbital wall and volume relationships"; Arch Otolaryngol Head Neck Surg 114(7):743-47; 1991
153. Paulsen F, Waschke J; "Sobotta - Atlas der Anatomie des Menschen; Kopf, Hals und Neuroanatomie"; Elsevier Urban und Fischer Verlag; 23. Auflage; 2010
154. Pfeiffer R; "Traumatic enophthalmos"; Arch Ophth 30:718; 1943
155. Phan L T, Piluek W J, McCulley T J; "Orbital trapdoor fractures"; Saudi J Ophthalmol. 26(3):277-282; 2012
156. * Ploder O, Klug C, Backfrieder W, Voracek M, Czerny C, Tschabitscher M; "2D- and 3D-based measurements of orbital floor fractures from CT scans"; J Craniomaxillofac Surg 30(3):153-9; 2002
157. * Ploder O, Klug C, Voracek M, Backfrieder W, Tschabitscher M, Czerny Ch, Baumann A; "A computer-based method for calculation of orbital floor fractures from coronal computed tomography scans"; J Oral Maxillofac Surg 59(12):1437-1442; 2001
158. * Ploder O, Klug C, Voracek M, Burggasser G, Czerny Ch; "Evaluation of computer-based area and volume measurement from coronal computed tomography scans in isolated blowout fractures of the orbital floor"; J Oral Maxillofac Surg 60(11):1267-1272; 2002
159. Ploder O, Oeckher M, Klug C, Voracek M, Burggasser G, Czerny C; "Isolierte Orbitabodenfrakturen. Korrelation von CT-Vermessungsdaten und ophthalmologischen Daten"; Mund Kiefer Gesichtschirurgie 9(2):95-100; 2005

160. Ploder O, Oeckher M, Klug C, Voracek M, Wagner A, Burggasser G, et al.; "Follow-up study of treatment of orbital floor fractures: relation of clinical data and software-based CT-analysis"; *Int J Oral Maxillofac Surg* 32(3):257-62; 2003
161. Ploder O; "Quantitative Vermessung von Frakturen der Orbita"; Habilitationsschrift Universität Wien; 2002 *Bestandteile dieser Arbeit
162. Potgieser PW, Regensburg NI, Wiersinga WM, Mourits MP; "Re: "Computer-aided analysis of orbital volume: a novel technique""; *Ophthal Plast Reconstr Surg* 30(1):72; 2014
163. Potter J K, Ellis E; "Biomaterials for reconstruction of the internal orbit." *J Oral Maxillofac Surg* 62(10):1280-1297; 2004
164. Quan Zhou; "Die Rolle der orbitalen MRT in der Differentialdiagnose von Erkrankungen der Augenmuskeln, des extrakonalen und subperiostalen Kompartimentes"; Dissertation Humboldt-Universität Berlin; 2003
165. Rasse M In: Schwenzer N, Ehrenfeld M (Hrsg.); "ZMK - Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie"; Thieme-Verlag; 4.Auflage; 2011; "Frakturen des Gesichtsschädels"; Kapitel 10; S.281-364, 483
166. Raskin EM, Millman AL, Lubkin V, della Rocca RC, Lisman RD, Maher EA; "Prediction of late enophthalmos by volumetric analysis of orbital fractures"; *Ophthal Plast Reconstr Surg* 14(1):19-26; 1998
167. Roca GB, Foggiatto JA, Ono MC, Ono SE, da Silva Freitas R; "Comparison of orbital volume obtained by tomography and rapid prototyping"; *J Craniofac Surg* 24(6):1877-81; 2013
168. Rohrbach J M, Bartz-Schmidt K U; "Ophthalmologische Traumatologie: Textbuch und Atlas"; Schattauer-Verlag; 2002
169. Roncevic R, Stajcic Z; "Surgical treatment of posttraumatic enophthalmos: a study of 72 patients"; *Ann Plastic Surg* 32(3):288-294; 1994
170. Rootman J; "Diseases of the orbit"; Lippincott Williams & Wilkins; 2. Edition; 2003; S.9-34
171. Rowe N L; "The history of the treatment of maxillo-facial trauma"; *Ann R Coll Surg Engl* 49(5):329-349; 1971
172. Safi AF, Richter MT, Rothamel D, Nickenig HJ, Scheer M, Zoller J, et al; "Influence of the volume of soft tissue herniation on clinical symptoms of patients with orbital floor fractures"; *J Craniomaxillofac Surg.* 2016 (23 Sept. Epub ahead of printing)
173. Schmelzeisen R, Gellrich NC, Schoen R, Gutwald R, Zizelmann C, Schramm A; "Navigation-aided reconstruction of medial orbital wall and floor contour in craniomaxillofacial reconstruction"; *Injury* 35(10):955-962; 2004
174. Schuknecht B, Carls F, Valavanis A, Sailer HF; "CT assessment of orbital volume in late post-traumatic enophthalmos"; *Neuroradiology* 38(5):470-5; 1996
175. Schumann P, Kokemüller H, Tavassol F, Lindhorst D, Lemound J, Essig H, Rucker M, Gellrich NC; "Optic nerve monitoring"; *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 6(2):75-86; 2013

176. Schwenzler N, Ehrenfeld M; "ZMK - Chirurgische Grundlagen"; Thieme-Verlag; 4.Auflage; 2008; "Kapitel 3: bildgebende Verfahren" S.62-163
177. Sherman D, Burkat C and Lemke B, In: Tasman, W, Jaeger E (Hrsg.); "Duane's Ophthalmology"; CD-Rom by Lippincott Williams & Wilkins; 2006; Chapter 21 Orbital Anatomy and Its Clinical Applications;
178. Shrimpton P C, Miller H C, Lewis M A, Dunn M; "National survey of doses from CT in the UK 2003"; Br J Radiol 79(948):968-980; 2006
179. Siddique S A, Mathog R H; "A comparison of parietal and iliac crest bone grafts for orbital reconstruction"; J Oral Maxillofac Surg 60(1):44-52; 2002
180. Smith B, Regan W J; "Blow-out fracture of the orbit; mechanism and correction of internal orbital fracture."; Am J Ophthalmol 44(6):733-739; 1957
181. Song WC, Choi HG, Kim SH; "Topographic anatomy of the zygomatic arch and temporal fossa: A cadaveric study"; J Plast Reconstr Aesthet Surg 62(11):1375-8; 2008
182. Strong EB, Chahal HS; "Reply Re: "Computer-aided analysis of orbital volume: a novel technique""; Ophthal Plast Reconstr Surg 30(1):72-3; 2014
183. Strong EB, Fuller SC, Chahal SH; "Computer-aided analysis of orbital volume: a novel technique"; Ophthal Plast Reconstr Surg 29(1):1-5; 2013
184. Subramanian B, Krishnamurthy S, Suresh Kumar P, Saravanan B, Padhmanabhan M; "Comparison of various approaches for exposure of infraorbital rim fractures of zygoma"; J Maxillofac Oral Surg 8(2):99-102; 2009
185. Suga H, Sugawara Y, Uda H, Kobayashi N; "The transconjunctival approach for orbital bony surgery: in which cases should it be used?"; J Craniofac Surg 15(3):454-7; 2004
186. Sugar AW, Kuriakose M, Walshaw ND; "Titanium mesh in orbital wall reconstruction"; Int J Oral Maxillofac Surg 21(3):140-144; 1992
187. Tahernia A, Erdmann D, Follmar K, Mukundan S, Grimes J, Marcus JR; "Clinical implications of orbital volume change in the management of isolated and zygomaticomaxillary complex-associated orbital floor injuries"; Plast Reconstr Surg 123(3):968-75; 2009
188. Tessier P; "The classic reprint. Experimental study of fractures of the upper jaw. Part III. Rene Le Fort, M.D. Lille, France (Rev. chir. de Paris 23:479-507; 1901)" Plast Reconstr Surg 50(5):600-605; 1972b
189. Tessier P; "The classic reprint. Experimental study of fractures of the upper jaw. Parts I and II. Rene Le Fort, M.D. Lille, France (Rev. chir. de Paris 23:208-227, 360-79; 1901)" Plast Reconstr Surg 50(5):497-506; 1972a
190. Toriumi M, Nagasao T, Itamiya T, Shimizu Y, Yasudo H, Sakamoto Y, Ogata H, Kishi K; "3-D analysis of dislocation in zygoma fractures"; Cran Max Fac Surg 42(5):397-402; 2014
191. Tukey J W; "Exploratory data analysis"; Addison-Wesley; 1977
192. van der Meulen JC, Gruss JS; "Color atlas of ocular plastic surgery"; Oxford, UK: Elsevier LTD; 1995; S.227ff
193. Villarreal P M, Florencio M; "Porous polyethylene implants in orbital floor reconstruction"; J Oral Maxillofac Surg 109(3):877-885; 2002

194. Wagner, J.H.; "Gesichtsschädelfrakturen - Epidemiologie, Häufigkeit, Ursachen, Therapie; Eine retrospektive Analyse von 2787 an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie in Tübingen behandelten Frakturen"; Inaugural-Dissertation; Tübingen; 2005
195. Wassmund M; "Frakturen und Luxationen des Gesichtsschädels"; Meusser; Berlin; 1927
196. Waterhouse N, Lyne J, et al.; "An investigation into the mechanism of orbital blowout fractures"; Br J Plast Surg 52(8):607-612; 1999
197. Whitehouse RW, Batterbury M, Jackson A, Noble JL; "Prediction of enophthalmos by computed tomography after 'blow out' orbital fracture"; Br J Ophthalmol 78(8):618-20; 1994
198. Wiener E, Kolk A, Neff A, Settles M, Rummeny E; "Evaluation of reconstructed orbital wall fractures: high-resolution MRI using a microscopy surface coil versus 16-slice MSCT"; Eur Radiol 15(6):1250-5; 2005
199. Wollschläger, D; "Grundlagen der Datenanalyse mit R: eine anwendungsorientierte Einführung"; Springer Spektrum; 3. Auflage; 2014; S.540ff
200. Yano H, Nakano M, Anraku K, Suzuki Y, Ishida H, Murakami R, Hirano A; "A consecutive case review of orbital blowout fractures and recommendations for comprehensive management"; Plast Reconstr Surg 124(2):602-11; 2009
201. Zavattoni E, Rocca F, Benecch R, Gerbino G, Ramieri G; "Orbital trapdoor fracture: can it occur also in adults?"; J Craniofac Surg 26(1):6-8; 2015
202. Zhang Z, Zhang Y, He Y, An J, Zwahlen RA; "Correlation between volume of herniated orbital contents and the amount of enophthalmos in orbital floor and wall fractures"; J Oral Maxillofac Surg 70(1):68-73; 2012
203. Zimmerer RM, Ellis E, 3rd, Aniceto GS, Schramm A, Wagner ME, Grant MP; "A prospective multicenter study to compare the precision of posttraumatic internal orbital reconstruction with standard preformed and individualized orbital implants"; J Cranio-Maxillo-Fac Surg 44(9):1485-1497; 2016
204. Zimmerer R, Rana M, Schumann P, Gellrich NC; "Diagnosis and treatment of optic nerve trauma"; Facial Plast Surg 30(5):518-27; 2014
205. Zingg M, Laedrach K, Chen J, Chowdury K, Vuillemin T, Sutter F, Raveh J; "Classification and treatment of zygomatic fractures: a review of 1025 cases"; J Oral Maxillofac Surg 50 (8):778-790; 1992
206. Zinn IG; "De muscoli bulbi oculi, § III. De ligamento communi unde oriuntur muscoli adducens, deprimens et abducentis caput alterum"; Descriptio anatomica oculi humani, iconibus illustrate; Goettingae: A. Vandenhoeck; S. 148-149; 1780

7.2 Internetquellenverzeichnis

207. Angewandte statistische Regression; https://stat.ethz.ch/education/semesters/WS_2006_07/asr/Stat.pdf; Stand: 20.02.2017
208. AO Foundation - Reference; Cornelius CP, in "Periorbitale Dissection"; www.aofoundation.org; Stand: 20.02.2017
209. AO Foundation; "Midface Orbital floor fracture - Orbital reconstruction"; https://www2.aofoundation.org/wps/portal/surgery?showPage=redfix&bone=CMF&segment=Midface&classification=92-Orbit,%20Orbital%20floor%20fracture&treatment=operative&method=Open%20treatment&implanttype=Orbital%20reconstruction&approach=&redfix_url=; Stand: 20.02.2017
210. AO-Foundation
https://www2.aofoundation.org/wps/portal/!ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hng7BARydDRwN3Q1dDA08XN59Qz8AAQwMDA6B8JJK8haGFgYFngKezn7GTH1DahlBuP4_83FT9gtylcbBttNjy/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfQzBWUUFcmUEwRzFFMTBJREZMVUIRUDEwMDA!/?segment=Midface&bone=CMF&showPage=diagnosis; Stand 20.02.2017
211. Arbeitsgemeinschaft für Röntgenologie (ARö); "S2k-Leitlinie: Dentale digitale Volumetomographie 08/2013"; http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/083-005I_S2k_Dentale_Volumetomographie_2013-10.pdf; Stand: 20.02.2017
212. Boxplots; <https://stat.ethz.ch/R-manual/R.../boxplot.html>; Stand: 20.02.2017
213. Brainlab cmf; <http://www.brainlab.com/product/item/cmf-planning-software>; Stand 20.02.2017
214. Deutsche Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (DGMKG); "007/099-S2e-Leitlinie: Rekonstruktion von Orbitadefekten 07/2013"; http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/007_099I_S2e_Rekonstruktion_Orbita_2013-07.pdf; Stand: 20.02.2017
215. Erklärung eines R-Outputs; <http://www-wiwi.uni-regensburg.de/images/institute/vwl/tschernig/lehre/methoden/routput.pdf>; Stand: 20.02.2017
216. History of the AO - The First 50 Years; <https://www.aofoundation.org/Structure/the-ao-foundation/about/Pages/history.aspx>; Stand: 20.02.2017
217. Leitlinie Laterale Mittelgesichtsfrakturen; <http://www.dog.org/wp-content/uploads/2009/09/Laterale-MGF-24-M%C3%A4rz-2014-S2K-FinaleVersion.pdf>; Stand: 20.02.2017
218. Papouliakos SM, Lachanas VA, Karatzias GT, Koufakis DI, Sandris VG; "Hypoesthesia of the infraorbital nerve as the only symptom of a blowout orbital fracture: report of a case and review of the literature"; The Internet Journal of Otorhinolaryngology Volume 7 Number 1; 2007; <http://www.ispub.com/journal/the-internet-journal-of-otorhinolaryngology>; Stand: 20.02.2017

219. Quartiles and Box and Whiskers Plots; <http://www.regentsprep.org/regents/math/algebra/AD3/boxwhisk.htm>; Stand: 20.02.2017
220. R- Kurs; www.statistik.lmu.de/~bothmann/rkurs_nf.../R_Kurs_NF_Folien03.pdf; Stand: 20.02.2017
221. R- output; <http://www-wiwi.uni-regensburg.de/images/institute/vwl/tschernig/lehre/methoden/routput.pdf>; Stand: 20.02.2017
222. Regression Methods; <https://onlinecourses.science.psu.edu/stat501/node/36>; Stand: 20.02.2017
223. Regressionsdiagnostik; <http://www2.jura.uni-hamburg.de/instkrim/kriminologie/Mitarbeiter/Enzmann/Lehre/StatIKrim/Regressionsdiagnostik.pdf>; Stand: 25.12.2015
224. Residuen-Analyse; <http://stat.ethz.ch/~stahel/courses/regression/reg-resanal.pdf>; Stand: 20.02.2017
225. Roth J; " Didaktik der Geometrie – Der Satz von Cavalieri"; http://www.dms.uni-landau.de/roth/lehre/skripte/did_geometrie/cavalieri_dehn_pyramidenvolumen.pdf; Stand: 20.02.2017
226. Tutorial: Regression Output von R; <http://statmath.wu-wien.ac.at/staff/dekic/LERC2/LERCgross/ZWEI%20METRISCHE%20MERKMALE/Linked Documents/tuthn5-04-v.pdf>; Stand: 20.02.2017

7.3 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Sieben Knochen bilden die Orbita: Os frontale (Frontal B.), Os ethmoidale (Ethmoid B.), Os lacrimale (Lacrimal B.), Os palatinum (Palatine B.), Os sphenoidale (Sphenoid B.), Os zygomaticum (Zygomatic B.) und Maxilla (Maxillary B.); Converse JM, Smith B; "Enophthalmus and Diplopia in fractures of the orbital floor"

Abb. 2: Geometrisches Konzept der Orbita (links): Unterteilung in Orbitarahmenstrukturen (blau) und die interne Orbita (rot) (...); Sammlung Prof. Cornelius.

Abb. 3A-C: Überblick Orbitainhalt – Anatomie. 3 A Konzeption der Orbita als Pyramide mit quadratischer Basis. Die Orbitaränder bilden den äußeren Rahmen (blau), die Orbitawände die Pyramidenseite (rot). 3 B1-3 und C1-3 Übersicht über den Orbitainhalt in 3 Abschnitten: anterior (B1), Midorbita (B2), posterior (B3) und zugehörige Querschnitte (C1-3). (...); Jaquiéry C, Leiggenger Ch, Cornelius C-P, Kunz Ch; "Aktuelle Behandlungsstrategien von knöchernen Verletzungen der Orbitae"

Abb. 4: Mikroskopische Unterteilungen und Strukturen des Orbitainhalts. (...); Koornneef L; "Spatial aspects of orbital musculofibrous tissue in man: A new anatomical and histological approach"; Amsterdam; Swets en Zeitlinger; 1976

Abb. 5: Skizze Orbitaboden – Knöcherner Anatomie. (...); Tasman, W, Jaeger E; "Duane's Ophthalmology"; CD-Rom by Lippincott Williams & Wilkins; 2006
online verfügbar: <http://www.oculist.net/downaton502/prof/ebook/duanes/index.html>

Abb. 6: Skizze Verlauf des N. infraorbitalis im Canalis infraorbitalis. (...); Tasman, W, Jaeger E; "Duane's Ophthalmology"; CD-Rom by Lippincott Williams & Wilkins; 2006
online verfügbar: <http://www.oculist.net/downaton502/prof/ebook/duanes/index.html>

Abb. 7: Skizze Mediale Orbitawand – Knöcherner Anatomie (...); Tasman, W, Jaeger E; "Duane's Ophthalmology"; CD-Rom by Lippincott Williams & Wilkins; 2006
online verfügbar: <http://www.oculist.net/downaton502/prof/ebook/duanes/index.html>

Abb. 8: Skizze Laterale Orbitawand – Knöcherner Anatomie. (...); Tasman, W, Jaeger E; "Duane's Ophthalmology"; CD-Rom by Lippincott Williams & Wilkins; 2006
online verfügbar: <http://www.oculist.net/downaton502/prof/ebook/duanes/index.html>

Abb. 9: Skizze Orbitadach – knöcherner Anatomie. (...); Tasman, W, Jaeger E; "Duane's Ophthalmology"; CD-Rom by Lippincott Williams & Wilkins; 2006
online verfügbar: <http://www.oculist.net/downaton502/prof/ebook/duanes/index.html>

Abb. 10 A-H: CT – Sequenzen nach einer Fraktur der infero-medialen Orbitawände links – prä – (A-D) und postoperativ (E-H) in Multiplanar- und 3D- Darstellung, (...); Quelle: Fallbeispiel, Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie der LMU München, 2015

Abb. 11: Entscheidungsbaum zum operativen Vorgehen bei Orbitawandfrakturen: Metzger M C, Lagrèze W A, Schön R; „Funktionserhaltende Rekonstruktion nach Orbitatrauma“; Ophthalmologie 108: 540–545; 2011 **modifiziert nach** Yano H, Nakano M, Anraku K, Suzuki Y, Ishida H, Murakami R, Hirano A; “A consecutive case review of orbital blowout fractures and recommendations for comprehensive management”; Plast Reconstr Surg. 124(2):602-11; 2009

Abb. 12-13: AO Foundation; „Midface, Orbital floor fracture - Orbital reconstruction“; https://www2.aofoundation.org/wps/portal/surgery?showPage=redfix&bone=CMF&segment=Midface&classification=92-Orbit,%20Orbital%20floor%20fracture&treatment=operative&method=Open%20treatment&implantstype=Orbita%20reconstruction&approach=&redfix_url=; Stand: 25.12.2015

Abb. 14: AO Foundation; „Midface, Orbital floor fracture - Orbital reconstruction“ (siehe Abb. 13,14) und Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der LMU München

Abb. 15: AO Foundation; „Midface, Orbital floor fracture - Orbital reconstruction“; https://www2.aofoundation.org/wps/portal/surgery?showPage=redfix&bone=CMF&segment=Midface&classification=92-Orbit,%20Orbital%20floor%20fracture&treatment=operative&method=Open%20treatment&implantstype=Orbita%20reconstruction&approach=&redfix_url=; Stand: 25.12.2015

Abb. 16 A-D: Anatomisches Präparat - Orbita links nach Exenteration und Anlage eines Defekts im hinteren Anteil des Orbitabodens: Freipräparation der „posterior ledge“. (...); Sammlung Prof. Cornelius

Abb. 17 A-D: Anatomisches Präparat – inferomediale Orbitawände links nach Entfernung von Anteilen des Orbitabodens und der Lamina papyracea. (...); Sammlung Prof. Cornelius

Abb. 18: Klassifikation von Orbitafrakturen nach Carinci et al. unter Berücksichtigung von 4 Variablen (siehe Text); Carinci et al; “Orbital Fractures: A New Classification and Staging of 190 Patients”; J Craniofac Surg 17(6):1040-4; 2006

Abb. 19: Graphisches „Trifol“-Schema der internen Orbita rechts und links (...); Jaquier C, Aeppli C, Cornelius P, Palmowsky A, Kunz C, Hammer B; “Reconstruction of orbital wall defects: critical review of 72 patients”; Int J Oral Maxillofac Surg 36(3):193-9; 2007

Abb. 20: Validierung einer Frakturenklassifikation im 3-Phasenprozess; **entworfen nach** Audigé L, Bhandari M, Hanson B, Kellam J; "A concept for the validation of fracture classifications"; J Orthop Trauma 19(6):401-406; 2005

Abb. 21-25: Cornelius CP et al; „Die neue AO-CMF-Traumaklassifikation für Erwachsene - Überblick, Präzisions-Level und anatomische Module für Unterkiefer, Kiefergelenkfortsätze, Mittelgesicht und Orbita“; OP-Journal 29(2):109-128; 2013

Abb. 26: AO CMF Fraktur – Icon – Midface / Orbitafrakturen – Präzisions-Level 3, (...); screenshot; „AO COIAC 4.0.0“

Abb. 27: AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene – Präzisions Level 3: Schema Icon / Topographische Untereinheiten der Orbita; Kunz C, Cornelius CP, Audigé L, Buitrago-Téllez CH, Rudderman R, Prein J; „The Comprehensive AOCMF Classification System: Orbital Frakturen – Level 3 Tutorial“; Craniomaxillofac Trauma Reconstr 7(1): 92-102; 2014

Abb. 28: „AO COIAC“-Icon - Fraktur des lateralen Mittelgesichts („92“) / Jochbeinfraktur („Z“). (...); screenshot; „AO COIAC 4.0.0“

Abb. 29: Herleitung der Frakturfläche A aus dem Volumen V des „defect bodys“. (...); Skizzen; Eigentum des Autors

Abb. 30-33: CT-Sequenzen; modifizierte screenshots; „iplan cmf 3.0.3“

Abb. 34-35: screenshots; „AO COIAC 4.0.0“

Abb. 36 A-C: CT-Ausschnitt im Software-Programm „iplan CMF 3.0.3“ (...); modifizierter screenshot; „iplan cmf 3.0.3“

Abb. 37: screenshot; „AO COIAC 4.0“

Abb. 38: Inferiomediale Orbita links in supero-fronto-lateraler Ansicht; Eigentum des Autors

Abb. 39: Schema der inferomedialen Orbitawände von kranial mit Modifikationsvorschlägen; modifiziert aus Sammlung Prof. Cornelius/AO Surgical Reference, AO Foundation.

Abb. 40-45: (z.T. modifizierte) screenshots; „iplan CMF 3.0.3“

Abb. 46: Überlagerung der Icons/Schemata zu der Klassifikation von Frakturen der internen Orbita – „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ und Modifikationsvorschlag. (...); modifiziert aus Sammlung Prof. Cornelius/AO Foundation.

Abb. 47: Häufigkeit (Absolutwerte pro Subregion) von Frakturen der internen Orbita (**O** = Orbita n=145) in Assoziation mit Frakturen in den Subregionen des Mittelgesichts und des „Cranial-Vault“ (Präzisions-Level 2). (...); „AO COIAC 4.0.0“; modifiziert aus Sammlung Prof. Cornelius/AO Foundation.

Abb. 48: Häufigkeit (Absolutwert pro Subregion) von Frakturen in den 5 Subregionen der internen Orbita - 4 Orbitawände und Apex orbitae (Präzisions-Level 2). (...); „AO COIAC 4.0.0“

Abb. 49: Häufigstes Orbita-Frakturenmuster - Isolierte Orbitabodenfraktur in anteriorer Orbita und Midorbita links. (Formel: „Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)“). (...); „AO COIAC 4.0.0“

Abb. 50: Zweithäufigstes Orbita-Frakturenmuster – Orbitabodenfraktur in anteriorer Orbita und Midorbita sowie laterale Orbitawandfraktur anterior – im Rahmen einer „Zygoma en Bloc“-Fraktur rechts. (...); „AO COIAC 4.0.0“

Abb. 51: „AO COIAC“-Icon zum AO CMF Trauma Klassifikations-Code für Erwachsene „Midface92 m.Oi O (left) W1(i)2(i)“. (...); modifizierter screenshot; “AO COIAC 4.0.0”

Abb. 52 A1 und A2: 3D-CT mit Segmentierung einer zentral und dorsal im Orbitaboden gelegenen Fraktur mit Einbeziehung des Canalis infraorbitalis und der Fissura orbitalis inferior (**A1**) - Darstellung der eingeschlossenen Subregionen und anatomischen Landmarken im Schema des Modifikationsvorschlag (**A2**). (...); Eigentum des Autors und “AO COIAC 4.0.0”

Abb. 52 B1 und B2: 3D-CT mit Segmentierung einer zentral und medial gelegenen Fraktur im Orbitaboden unter Einbeziehung des Canalis infraorbitalis (**B1**) - Darstellung der eingeschlossenen Subregionen und der Landmarke „C“ im Schema des Modifikationsvorschlags (**B2**). (...); Eigentum des Autors und “AO COIAC 4.0.0”

Abb. 52 C1 und C2: 3D-CT mit Segmentierung einer ausgedehnten zentralen, medialen und lateralen Fraktur im Orbitaboden mit Einbeziehung der „posterior ledge“ („PLE“), des Canalis infraorbitalis und der Fissura orbitalis inferior (**C1**) - Darstellung der 4 eingeschlossenen Subregionen und der beiden Landmarken „C“ und „F“ im Schema des Modifikationsvorschlags (**C2**); Eigentum des Autors und “AO COIAC 4.0.0”

Abb. 53: Koronale CT-Schicht in der anterioren Orbita nach einer Jochbeinfraktur mit antraler Einstauchung links. (...); screenshot; “AO COIAC 4.0.0”

7.4 Verzeichnis der Diagramme und Tabellen

Diagramm 1: Beispiel eines „Box and whiskers plots“. (...)

Diagramm 2: Orbitabodenfrakturen (Gesamtzahl $n=145$). 1-Wand Frakturen (Orbitabodenfrakturen) und Frakturkombinationen als 2-Wand, 3-Wand sowie 4-Wand Frakturen.

Diagramm 3: „Volumina“ der Orbitabodenfrakturen in $[cm^3]$ ($n=145$) - Messung nach dem „defect-body“-Verfahren. (...)

Diagramm 4: Flächen der Orbitabodenfrakturen in $[cm^2]$ ($n=145$) – Berechnung aus den Volumina (Vgl. Diagramm 3). (...)

Diagramm 5: Mittelwerte der Frakturflächen des Orbitabodens ($n=145$) in $[cm^2]$ (...)

Diagramm 6: „Volumina“ bei Frakturen der medialen Orbitawand in $[cm^3]$ ($n=34$) – Messung nach dem „defect-body“-Verfahren. (...)

Diagramm 7: Flächenwerte der medialen Orbitawandfrakturen in $[cm^2]$ ($n=34$) – Berechnung aus den Volumina (vgl. Diagramm 6). (...)

Diagramm 8: Mittelwerte der Frakturflächen der medialen Orbitawand ($n=34$) in $[cm^2]$ (...)

Diagramm 9: Häufigkeit von mehrfach ($n \geq 2$) aufgetretenen „Brutto“- Frakturmustern in „Midface92“ bzw. Orbita ($n=73$) nach der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ bei $n=129$ unilateralen Frakturen – (Präzisions-Level 3). (...)

Diagramm 10: Häufigkeit von mehrfach ($n \geq 3$) aufgetretenen „Netto1“-Frakturmustern ($n=114$) nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ - Orbita bzw. Orbitaränder und Orbitawände inklusive Apex orbitae. (...)

Diagramm 11: Häufigkeit von mehrfach ($n \geq 3$) aufgetretenen „Netto2“-Frakturmustern ($n=133$) nach der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ - Interne Orbita (Orbitawände inklusive Apex orbitae) – Präzisions-Level 3. (...)

Diagramm 12: Häufigkeit von mehrfach ($n \geq 2$) aufgetretenen Frakturmustern ($\sum n=103$) in den CT-Datensätzen in vollständiger Codierung (Topographische Subregionen + anatomische Landmarken = „Brutto-Codes“) des Modifikationsvorschlags.

Diagramm 13: Häufigkeit von Frakturen in den topographischen Subregionen von Orbitaboden und Medialer Orbitawand – Modifizierte Einteilung. (...)

Diagramm 14: Häufigkeit beteiligter anatomischer Landmarken an den Frakturen in Orbitaboden und Medialer Orbitawand – Modifizierte Einteilung. (...)

Diagramm 15: Fraktur-Kombinationen in den Subregionen des Orbitabodens nach topographischen Gesichtspunkten und Involvierung des Infraorbitalkanals „C“ – Modifizierte Einteilung. (...)

Diagramm 16: Fraktur-Kombinationen in den Subregionen im Übergang von anteriorer medialer Orbitawand „aM“ und dem medialen Orbitaboden „aIM“ (= anteriorer Orbitaboden) zu „pIM“ (= inferiore Midorbita) sowie Involvierung von „IOB“ und „NLC“ – Modifizierte Einteilung. (...)

Diagramm 17: Frakturmuster unter Beteiligung der Subregionen und Involvierung der Landmarken im Einzugsbereich der „posterior medial bulge“ - Modifizierte Einteilung. (...)

Diagramm 18: „Normal Q-Q Plot“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen des Orbitabodens nach dem AO CMF Trauma-Code für Erwachsene. (...)

Diagramm 19: „residuals vs. fitted“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen des Orbitabodens nach dem AO CMF Trauma-Code für Erwachsene. (...)

Diagramm 20: „scale location“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen des Orbitabodens nach dem AO CMF Trauma-Code für Erwachsene. (...)

Diagramm 21: Boxplots der Frakturflächengrößen in der anterioren Subregion des Orbitabodens „W1(i)“ (gemäß „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“). (...)

Diagramm 22: Boxplots der Frakturflächengrößen in der posterioren Subregion des Orbitabodens „W2(i)“ (gemäß „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“). (...)

Diagramm 23: „Normal Q-Q Plot“ bei Regressionsanalyse zu Frakturflächen des Orbitabodens anhand des Modifikationsvorschlages. (...)

Diagramm 24: „residuals versus fitted“ bei Regressionsanalyse zu Frakturflächen des Orbitabodens anhand des Modifikationsvorschlages. (...)

Diagramm 25: „scale location“ bei Regressionsanalyse zu Frakturflächen des Orbitabodens anhand des Modifikationsvorschlages. (...)

Diagramm 26: Boxplot der topographischen Subregion „aIM“. (...)

Diagramm 27: Boxplot der topographischen Subregion „pIM“. (...)

Diagramm 28: Boxplot der topographischen Subregion „PLE“. (...)

Diagramm 29: Boxplot der topographischen Subregion „aIL“. (...)

Diagramm 30: „Normal Q-Q Plot“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen in den Subregionen „aM“ und/ oder „pM“ der medialen Orbitawand. (...)

Diagramm 31: „residuals vs fitted plot“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen in den Subregionen „aM“ und/ oder „pM“ der medialen Orbitawand. (...)

Diagramm 32: „scale location“ bei Regressionsanalyse der Frakturflächen in den Subregionen „aM“ und/ oder „pM“ der medialen Orbitawand. (...)

Diagramm 33: Boxplot der Frakturflächengröße in der anterioren Subregion der medialen Orbitawand „aM“ (gemäß Modifikationsvorschlag). (...)

Diagramm 34: Boxplot der Frakturflächengröße in der posterioren Subregion der medialen Orbitawand „pM“ (gemäß Modifikationsvorschlag). (...)

Tabelle 1: Zusammenstellung der topographisch-anatomischen Subregionen der Orbita in den Präzisions-Leveln 3, 1 und 2. (...); Kunz C, Cornelius CP, Audigé L, Buitrago-Télléz CH, Rudderan R, Prein J; „The Comprehensive AOCMF Classification System: Orbital Fractures – Level 3 Tutorial“; Craniomaxillofac Trauma Reconstr 7(1): 92-102; 2014

Tabelle 2.1: Grenzen und Codes der Subregionen des Orbitabodens nach dem Modifikationsvorschlag zur aktuellen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“.

Tabelle 2.2: Grenzen und Codes der Subregionen in der medialen Orbitawand und anatomische Landmarken nach dem Modifikationsvorschlag zur aktuellen „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“.

Tabelle 3: Beispiel eines Outputs nach Analyse der Daten durch das „R“- Statistik-Programm.

Tabelle 4: Häufigkeit der drei AO CMF Trauma-Codes (Netto3) für den Orbitaboden n=111 [„W1(i)2(i)“; „W1(i)“; „W2(i)“] in Korrelation zu den Fraktur-Codierungen des Modifikationsvorschlages. (...)

Tabelle 5: Häufigkeit von insgesamt 7 bzw. 8 unterschiedlichen Fraktur-Codes der „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ („Netto3“) bei Frakturmuster-Kombinationen in Orbitaboden und medialer Orbitawand [W1(im)2(im); W1(im)2(im). A(m); W1(im)2(i); W1(im)2(m); W1(im); W1(m)2(im); W2(im); W1(m)2(i)] in Korrelation zu den Fraktur-Codierungen nach dem Modifikationsvorschlag. (...)

Tabelle 6: R-Output für ein Regressionsmodell der Subregionen „W1(i)“ und „W2(i)“ des Orbitabodens nach der AO CMF Trauma-Codierung. (...)

Tabelle 7: R-Output für ein Regressionsmodell die topographischen Subregionen „aIM“, „pIM“, „PLE“ und „aL“ des Orbitabodens nach dem Modifikationsvorschlag. (...)

Tabelle 8: R-Output für ein Regressionsmodell der topographischen Subregionen „aM“ und „pM“ der medialen Orbitawand gemäß dem Modifikationsvorschlag. (...)

Tabelle 9: Übersicht der Vermessungsdaten – Frakturen isoliert oder Assoziation mit weiteren Mittelgesichtsfrakturen. (...)

Anhang

Tabelle 10: Gesamtübersicht über alle 145 untersuchten Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand. (...)

Tabelle 11: Auflistung von „Brutto“-Fraktur-Varianten (...) (Details siehe Tabelle 10).

Tabelle 12: Auflistung von „Netto-1“-Frakturcode-Varianten nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ (...) (Details siehe Tabelle 10).

Tabelle 13: Auflistung der Fraktur-Varianten nach Modifikationsvorschlag (...) (Details siehe Tabelle 10).

7.5 Abkürzungsverzeichnis

aIL	= anterior inferior orbital wall, lateral part
aIM	= anterior inferior orbital wall, medial part
aM	= anterior medial wall
AO	= Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
bzw.	= beziehungsweise
C	= Canalis infraorbitalis
CMF	= craniomaxillofacial
COIAC	= Comprehensive Injury Automatic Classifier
CT	= Computertomographie, Computertomogramm
d. h.	= das heißt
DICOM	= Digital Imaging and Communications in Medicine
DVT	= digitale Volumetomographie
evtl.	= eventuell
F	= inferior orbital fissure (IOF), Fissura orbitalis inferior
Fx.	= fracture
GE	= General Electric
ggf.	= gegebenenfalls
ICM	= intermediate central midface
IOB	= internal orbital buttress (IOB)
LCM	= lower central midface
LMU	= Ludwig-Maximilians-Universität
MRT	= Magnetresonanztomographie (Kernspintomographie)
NLC	= nasolacrimal canal; Canalis nasolacrimalis
NNH	= Nasennebenhöhlen
NOE	= nasoorbitoethmoidal

Oa	= orbital apex
o. g.	= oben genannt(en)
Oi	= orbital inferior wall
OI	= orbital lateral wall
Om	= orbital medial wall
Os	= orbital superior wall
P	= palate
PACS	= Picture Archiving and Communication System
PDS	= Polydioxanon
pIM	= posterior inferior orbital wall, medial part
PLE	= posterior ledge (PLE)
pM	= posterior medial wall
Pt	= pterygoid
u.a.	= unter anderem
UCM	= upper central midface
z.B.	= zum Beispiel
2D-ROI	= zweidimensionale „region of interest“

8. Anhang

Die folgende Aufstellung zeigt alle vermessenen Orbitafrakturen und ihre Fraktur-Codes nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ („Brutto“-Codes und „Netto1“-/Netto3“-Codes für die Orbita und die inferiore und mediale Orbitawand) sowie Fraktur-Codes eines Modifikationsvorschlags. Die farbliche Hinterlegung dient der Unterscheidung von Frakturkombinationen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand (rot) und nur den Orbitaboden betreffenden Frakturen (blau). Ausreisser der Regressionsanalyse sind zusätzlich grün bzw. gelb markiert.

Frakturflächen [cm²] im Orbitaboden	Frakturflächen [cm²] in der medialen Orbitawand	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für die gesamte Orbita (Netto1-Code)	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für Orbitaboden und mediale Orbita-wand (Netto3-Code)	Kompletter Fraktur-Code (Brutto-Code) nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	Fraktur-Code nach Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für den Orbitaboden und die mediale Orbitawand
Unilaterale Frakturen					
2,71	1,17	O (right)R(li).W1(lim)	W1(im)	Midface92 Z.I0i.Oli.U0 (ZEB.m) O (right)R(li).W1(lim)	aIM aIL aM IOB C F NLC
2,63	1,38	O (right)R(im).W1(im)	W1(im)	Midface92 Z.I1di.Oim.U1.Om (NOE) O (right)R(im).W1(im) O (left)R(m) *	aIM aIL aM IOB C NLC
3,05	0,29	O (right)R(i).W1(im)2(i)	W1(im)2(i)	Midface92 I1i.Oim.U1 O (right)R(i).W1(im)2(i)	aIM pIM aM C PLE
2,81	0,46	O (left)R(li).W1(lim)2(i)	W1(im)2(i)	Midface92 m.Omil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(lim)2(i)	aIM pIM aIL aM C F
3,53	0,51	O (left)R(lim).W1(lim)2(i)	W1(im)2(i)	Midface92 U1m.Omil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(lim).W1(lim)2(i)	aIM pIM aIL aM C F
2,57	0,76	O (left)R(im).W1(im)2(i)	W1(im)2(i)	Midface92 U1m.Omi.I1di O (left)R(im).W1(im)2(i)	aIM pIM aM C NLC
2,22	0,83	O (left)R(lim).W1(lim)2(i)	W1(im)2(i)	Midface92 U1m.Omil.I1di.Z (m.ZEB) O (left)R(lim).W1(lim)2(i)	aIM pIM PLE aM IOB C NLC
4,49	2,81	O (left)R(lim).W1(lim)2(i)	W1(im)2(i)	Midface92 U1m.Oil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(lim).W1(lim)2(i)	aIM pIM PLE aIL aM IOB C F NLC
4,09	2,83	O (right)R(sm).W1(im)2(i)	W1(im)2(i)	Midface92 Oim.U1 Cranial vault94 F1m.m.F1 O (right)R(sm).W1(im)2(i) O (left)R(s)	aIM pIM aIL aM IOB C
3,59	2,91	O (right)R(m).W1(im)2(i)	W1(im)2(i)	Midface92 Oim.U0.Om (NOE) Cranial vault94 F1dm.m.F1dm O (right)R(m).W1(im)2(i) O (left)R(sm) *	aIM pIM aIL aM IOB C F NLC
4,41	0,57 ¹⁰	O (left)W1(im)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 m.Omi O (left)W1(im)2(im)	aIM pIM aIL aM pM IOB C F
4,22	1,42	O (left)R(lim).W1(lim)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 U1m.Omil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(lim).W1(lim)2(im)	aIM pIM PLE aIL aM pM C F
3,87	1,47	O (right)R(li).W1(lim)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 Z.I1i.Olim.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(lim)2(im)	aIM pIM PLE aIL aM pM IOB C

Frakturflächen [cm ²] im Orbitaboden	Frakturflächen [cm ²] in der medialen Orbitawand	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für die gesamte Orbita (Netto1-Code)	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für Orbitaboden und mediale Orbitawand (Netto3-Code)	Kompletter Fraktur-Code (Brutto-Code) nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	Fraktur-Code nach Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für den Orbitaboden und die mediale Orbitawand
4,80	1,67	O (right)R(i).W1(im)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 l1i.Oim.m O (right)R(i).W1(im)2(im)	aIM pIM PLE aM pM IOB C F
6,09 ⁴³	2,49	O (right)R(im).W1(im)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 l1i.Oim.U1 Skull base93 S.Oa.m O (right)R(im).W1(im)2(im)	aIM pIM PLE aL aM pM IOB C F NLC
4,48	2,51	O (right)W1(im)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 Oim.m O (right)W1(im)2(im)	aIM pIM PLE aM pM IOB C F
3,54	3,48	O (right)W1(im)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 Oim.m O (right)W1(im)2(im)	aIM pIM PLE aM pM IOB C
3,49	3,53	O (right)W1(im)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 Oim.m O (right)W1(im)2(im)	aIM pIM PLE aM pM IOB
5,13	3,60	O (left)W1(im)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 m.Omi O (left)W1(im)2(im)	aIM pIM PLE aM pM IOB C F
4,97	3,80	O (left)R(li).W1(lim)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 U1.Omil.l1i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(lim)2(im)	aIM pIM aL aM pM IOB C F
2,39	4,58	O (right)R(lim).W1(lim)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 Z.l1di.Olim.U1d (ZEB.m) O (right)R(lim).W1(lim)2(im)	aIM pIM PLE aM pM IOB F NLC
3,56	5,21 ³¹	O (left)R(slim).W1(slim)2(im).A(s)	W1(im)2(im)	Midface92 U1m.Omil.l1di.Z (m.ZEB) Skull base93 m.Das.A Cranial vault94 m.F1 O (left)R(slim).W1(slim)2(im).A(s)	aIM pIM aL aM pM IOB C F
4,28 ²	1,56	O (right)W1(im)2(m)	W1(im)2(m)	Midface92 Oim.U1 O (right)W1(im)2(m)	aL aM pM C
0,11	2,13	O (left)W1(im)2(m)	W1(im)2(m)	Midface92 m.Omi O (left)W1(im)2(m)	aL aM pM
1,71	2,39	O (left)W1(im)2(m)	W1(im)2(m)	Midface92 m.Omi O (left)W1(im)2(m)	aIM aM pM
0,96	2,54	O (right)W1(m)2(im)	W1(m)2(im)	Midface92 Oim.m O (right)W1(m)2(im)	pIM aM pM
1,33	1,65	O (right)W2(im)	W2(im)	Midface92 Oim.m O (right)W2(im)	pIM pM IOB C
0,21		O (left)R(li).W1(li)	W1(i)	Midface92 m.Oil.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)	aL C
1,87		O (left)R(i).W1(i)	W1(i)	Midface92 l0i.U1.Oi.l1i Cranial vault94 F.P1.m.F1m O (right)R(i) O (left)R(i).W1(i)	aL C NLC
2,79		O (right)W1(i)	W1(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)	aIM aL
1,64		O (left)W1(i)	W1(i)	Midface92 m.Oi.l O (left)W1(i)	aIM aL C

Frakturflächen [cm²] im Orbitaboden	Frakturflächen [cm²] in der medialen Orbitawand	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für die gesamte Orbita (Netto1-Code)	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für Orbitaboden und mediale Orbitawand (Netto3-Code)	Kompletter Fraktur-Code (Brutto-Code) nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	Fraktur-Code nach Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für den Orbitaboden und die mediale Orbitawand
1,92		O (left)R(i).W1(i)	W1(i)	Midface92 m.Oi.I1i O (left)R(i).W1(i)	aIM aIL C
1,66		O (left)R(li).W1(li)	W1(i)	Midface92 m.Oil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)	aIM aIL C
3,30		O (left)R(li).W1(li)	W1(i)	Midface92 m.Oil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)	aIM aIL C
2,69		O (left)R(i).W1(i)	W1(i)	Midface92 U0.Oi.I1i.Z O (left)R(i).W1(i)	aIM aIL C
2,24		O (left)R(i).W1(i)	W1(i)	Midface92 Z0i.m.Oi.I1i Cranial vault94 F1.m.F1d O (right)R(i) O (left)R(i).W1(i)	aIM aIL C
1,99		O (left)R(li).W1(li)	W1(i)	Midface92 m.Oil.I0i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)	aIM aIL C F
2,91		O (right)R(li).W1(li)	W1(i)	Midface92 Z.I0i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)	aIM aIL C F
3,07		O (right)R(li).W1(li)	W1(i)	Midface92 Z.I0i.Oli.U0 (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)	aIM aIL F
4,49		O (left)R(i).W1(i)	W1(i)	Midface92 m.Oi.I1i.Z O (left)R(i).W1(i)	aIM aIL IOB C
5,04 ¹⁹		O (left)R(li).W1(li)	W1(i)	Midface92 U0.Oil.I.Z (m.ZEB) Skull base93 A.Os.m.Oas.M.A Cranial vault94 F0.m.P1.F1 O (right)R(s).W1(s) O (left)R(li).W1(li)2(st).A(s)	aIM aIL IOB C F
1,25		O (left)W1(i)	W1(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)	aIM C
1,68		O (right)R(i).W1(i)	W1(i)	Midface92 I0i.Oi.m O (right)R(i).W1(i)	aIM C
1,53		O (right)W1(i)	W1(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)	aIM C
1,84		O (right)W1(i)	W1(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)	aIM C
1,73		O (right)W1(i)	W1(i)	Midface92 Z.I.Oi.m O (right)W1(i)	aIM C
2,16		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM
2,43		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM
1,60		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 U1.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM
2,39		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM
2,76		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM

Frakturflächen [cm²] im Orbitaboden	Frakturflächen [cm²] in der medialen Orbitawand	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für die gesamte Orbita (Netto1-Code)	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für Orbitaboden und mediale Orbitawand (Netto3-Code)	Kompletter Fraktur-Code (Brutto-Code) nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	Fraktur-Code nach Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für den Orbitaboden und die mediale Orbitawand
1,44		O (left)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oil.l1i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM aL IOB C NLC
2,49		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM aL C
2,51		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM aL C
3,09		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM aL C
2,90		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O(left) W1(i)2(i)	aIM pIM aL C
2,93		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM aL C F
3,21		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM aL C F
3,53		O (left)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oil.l0i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM aL C F
4,83		O (left)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oil.l1di.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM aL C F
2,44		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM aL C F
2,69		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM aL C F
2,96		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM aL C F
4,33		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM aL C F
4,61		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM aL C F
1,01		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.l0i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM aL C F
1,82		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.l0i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM aL C F
1,96		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.l0i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM aL C F
3,49		O (right)R(i).W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.l1i.Oi.m O (right)R(i).W1(i)2(i)	aIM pIM aL C F

Frakturflächen [cm²] im Orbitaboden	Frakturflächen [cm²] in der medialen Orbitawand	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für die gesamte Orbita (Netto1-Code)	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für Orbitaboden und mediale Orbitawand (Netto3-Code)	Kompletter Fraktur-Code (Brutto-Code) nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	Fraktur-Code nach Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für den Orbitaboden und die mediale Orbitawand
2,64		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I1i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM aIL C F
2,75		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM aIL C F NLC
3,14		O (right)R(i).W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I1i.Oim.m O (right)R(i).W1(i)2(i)	aIM pIM aIL C F NLC
3,29		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C F
3,68		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C F
4,88		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C F
3,63		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 U1.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C F
3,44		O (left)R(lim).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I0i.Olim.U.Omil (ZEB.NOE) O (right)R(lim) O (left)R(lim).W1(li)2(i)	aIM pIM PLE aIL C F
4,04		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 I.Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C F
3,12		O (right)R(i).W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 I0i.Oi.m O (right)R(i).W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C F
3,38		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C F
3,52		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C F
3,99		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I.Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C F
4,94		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C
3,12		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O(left) W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C
3,22		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL C
4,33		O (left)R(i).W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi.I1i O (left)R(i).W1(i)2(i)	aIM pIM aIL IOB C
3,00		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE aIL IOB C F
3,44		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM C
1,71		O (left)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oil.I0i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM C
2,53		O (right)R(i).W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 I0i.Oi.m O (right)R(i).W1(i)2(i)	aIM pIM C

Frakturflächen [cm²] im Orbitaboden	Frakturflächen [cm²] in der medialen Orbitawand	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für die gesamte Orbita (Netto1-Code)	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für Orbitaboden und mediale Orbitawand (Netto3-Code)	Kompletter Fraktur-Code (Brutto-Code) nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	Fraktur-Code nach Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für den Orbitaboden und die mediale Orbitawand
0,73		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM C
1,93		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM C
1,98		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM C
2,69		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM C
3,44		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM C
3,66		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM C
1,16		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.U1 O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM C
0,59		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z1.I0i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM C
1,68		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM C F
1,34		O (left)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oil.I0i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM C F
4,44		O (right)R(i).W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 I1i.Oi.U1 O (right)R(i).W1(i)2(i)	aIM pIM C F
3,73		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM C F
2,59		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I1i.L.Pt.Oli.m (ZEB.LF-I.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM C F
1,96		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I1i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM C F
4,10		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I1i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM C F
1,97		O (left)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 I.U.Oil.I0i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM C F NLC
2,33		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE C F
3,19		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE C F
3,01		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi.I O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE C F

Frakturflächen [cm²] im Orbitaboden	Frakturflächen [cm²] in der medialen Orbitawand	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für die gesamte Orbita (Netto1-Code)	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für Orbitaboden und mediale Orbitawand (Netto3-Code)	Kompletter Fraktur-Code (Brutto-Code) nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	Fraktur-Code nach Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für den Orbitaboden und die mediale Orbitawand
2,16		O (left)R(li).W1(li)2(li)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oil.I0i.Z (m.ZEB) Skull base93 m.M O (left)R(li).W1(li)2(li)	aIM pIM PLE C F
2,98		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE C F
1,73		O (left)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oil.I1di.Zli (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM C NLC
3,20		O (right)R(i).W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 I1i.Oi.m O (right)R(i).W1(i)2(i)	aIM pIM C NLC
3,16		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.U0 O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE C
4,53		O (left)R(sli).W1(sli)2(si).A(s)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oil.I1i.Z (m.ZEB) Skull base93 m.Oas.A Cranial vault94 m.P0.F1 O (left)R(sli).W1(sli)2(si).A(s)	aIM pIM F
4,79		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM IOB C
3,10		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE IOB C F
5,70 ¹²⁹		O (right)R(i).W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 I0i.Oi.m O (right)R(i).W1(i)2(i)	aIM pIM IOB C NLC
4,63		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM PLE IOB C
2,43		O (right)R(i).W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 I1i.Oi.m O (right)R(i).W1(i)2(i)	pIM aIL C
1,28		O (left)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oil.I0i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)	pIM aIL C F
2,86		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W1(i)2(i)	pIM aIL C F
2,23		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I1i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	pIM aIL C F
2,33		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I0i.L0.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)	pIM aIL C F NLC
2,14		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 m.Oi O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM C
1,24		O (right)W2(i)	W2(i)	Midface92 Oi.U0 O (right)W2(i)	pIM C
2,20		O (left)W2(i)	W2(i)	Midface92 Z.I0di.Oli.m.Oi (ZEB.m) O (right)R(li).W1(l) O (left)W2(i)	pIM C F

Frakturflächen [cm²] im Orbitaboden	Frakturflächen [cm²] in der medialen Orbitawand	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für die gesamte Orbita (Netto1-Code)	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für Orbitaboden und mediale Orbitawand (Netto3-Code)	Kompletter Fraktur-Code (Brutto-Code) nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	Fraktur-Code nach Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für den Orbitaboden und die mediale Orbitawand
1,17		O (left)W2(i)	W2(i)	Midface92 Z.I0i.Olim.U0.Oi (ZEB.m) Skull base93 A.Os.m Cranial vault94 F1.m O (right)R(sli) O (left)W2(i)	pIM C F
3,74		O (right)W2(i)	W2(i)	Midface92 Oi.m O (right)W2(i)	pIM PLE C F
Bilaterale Orbitabodenfrakturen mit je einem Code der AO CMF Trauma Klassifikation					
1,09	4,47	O (left)W1(im)2(im).A(m)	W1(im)2(im).A(m)	Midface92 Oi.m.Omi Skull base93 m.Oa.S O (right)W1(i)2(i) O (left)W1(im)2(im).A(m)	pIM PLE aL aM pM IOB C
0,79		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Rechts, zu obigem Code gehörend	aIM pIM
4,76		O (left)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 IOi.Oi.U0.Oi O (right)R(i).W1(i)2(i) O (left)W1(i)2(i)	aIM pIM IOB C
3,90		O (right)R(i).W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Rechts, zu obigem Code gehörend	aIM pIM aL C
0,91		O (left)W1(s)2(i)	W2(i)	Midface92 Oi.U1.Oi.I Skull base93 m.Os.A Cranial vault94 F1d.m.F1d O (right)W1(i)2(i) O (left)W1(s)2(i)	pIM C F
3,70		O (right)W1(i)2(i)	W1(i)2(i)	Rechts, zu obigem Code gehörend	aIM pIM C
3,81	5,43	O(right)R(m).W1(im)2(im)	W1(im)2(im)	Midface92 Z.I.L.Pt.Olim.U1m.Omil.Pt.L.Z (LF-III.m.LF-III) Skull base93 Os.m.Os Cranial vault94 F1m.m.F1m O (right)R(m).W1(im)2(im) O (left)R(m).W1(im)2(im)	aIM pIM PLE aL aM pM IOB C F NLC
3,63	3,71	O (left)R(m).W1(im)2(im)	W1(im)2(im)	Links, zu obigem Code gehörend	aIM pIM aM pM C
2,86	1,01	O (left)R(im).W1(im)2(i)	W1(im)2(i)	Midface92 IOi.Oim.U1.Omi.IOi.Z (NOE) O (right)R(im).W1(im) O (left)R(im).W1(im)2(i)	aIM pIM aM IOB C F *
1,03	1,15	O (right)R(im).W1(im)	W1(im)	Rechts, zu obigem Code gehörend	* aIM aL aM C NLC

Frakturflächen [cm ²] im Orbitaboden	Frakturflächen [cm ²] in der medialen Orbitawand	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für die gesamte Orbita (Netto1-Code)	Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für Orbitaboden und mediale Orbitawand (Netto3-Code)	Kompletter Fraktur-Code (Brutto-Code) nach AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene	Fraktur-Code nach Modifikationsvorschlag zur AO CMF Trauma Klassifikation für den Orbitaboden und die mediale Orbitawand
2,86	1,79	O (right)R(li).W1(lim)2(i)	W1(im)2(i)	Midface92 Z.I1i.L.Pt.Olim.U1.Omi.Pt.L.I0i.Z (ZEB.LF-I.m.LF-I) Cranial vault94 F.m.F1d O (right)R(li).W1(lim)2(i) O (left)R(si).W1(m)2(i)	aIM pIM aL aM IOB C
1,28	1,09	O (left)R(si).W1(m)2(i)	W1(m)2(i)	links, zu obigem Code gehörend	pIM PLE aM IOB C F
4,00		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I.Oli.m.Oil.I (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i) O (left)W1(l)2(i)	aIM pIM PLE aL C F
1,94		O (left)W1(l)2(i)	W2(i)	links, zu obigem Code gehörend	pIM C
2,29		O (right)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Midface92 Z.I0i.Oli.m.Oil.I1i.Z (ZEB.m.ZEB) O (right)R(li).W1(li)2(i) O (left)R(li).W1(li)2(i)	aIM pIM C F NLC
1,88		O (left)R(li).W1(li)2(i)	W1(i)2(i)	Links, zu obigem Code gehörend	aIM pIM C F

Tabelle 10: Gesamtübersicht über alle 145 untersuchten Frakturen des Orbitabodens und der medialen Orbitawand. Zweiteilung der Tabelle in „unilaterale“ (n=129) und „bilaterale“ Frakturen (n=8, entsprechend 16 einzelne Frakturen). Angabe der Frakturflächen des Orbitabodens (blau-weiße Bereiche) und der medialen Orbitawand (rot-weiße Bereiche) bestimmt durch das „defect-body“-Verfahren. Aus dem kompletten AO CMF Trauma-Code wurden Teile extrahiert und in den Spalten „Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für die gesamte Orbita (Netto1-Code)“ und „Codierungen der AO CMF Trauma Klassifikation für Orbitaboden und mediale Orbitawand (Netto3-Code)“ dargestellt. Links der Code der entsprechenden Klassifizierung durch einen Modifikationsvorschlag zur „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“. **Gelbe Markierung:** zur Schätzung mit dem Regressionsmodell des Orbitabodens stark abweichende Werte (Ausreisser Nr. 2, 19, 43, 129). **Grüne Markierung:** zur Schätzung mit dem Regressionsmodell der medialen Orbitawand stark abweichende Werte (Ausreisser Nr. 15, 16, 18). Mit * markierte Fraktur-Codes nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“ entsprechen NOE-Frakturmustern und gleichzeitiger, ipsilateraler Fraktur der medialen Orbitawand.

„AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“, Brutto-Codierungen mit je einer Häufigkeit von n=1
Midface92 I.Oi.m O (right)W1(i)2(i)
Midface92 I.U.Oil.I0i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)
Midface92 I0i.Oi.m O (right)R(i).W1(i)
Midface92 I0i.U1.Oi.I1i Cranial vault94 F.P1.m.F1m O (right)R(i) O (left)R(i).W1(i)
Midface92 I1i.Oi.U1 O (right)R(i).W1(i)2(i)
Midface92 I1i.Oim.m O (right)R(i).W1(im)2(im)
Midface92 I1i.Oim.U1 O (right)R(i).W1(im)2(i)
Midface92 I1i.Oim.U1 Skull base93 S.Oa.m O (right)R(im).W1(im)2(im)
Midface92 m.Oi O (left)W1(i)
Midface92 m.Oi.I O (left)W1(i)
Midface92 m.Oi.I O (left)W1(i)2(i)
Midface92 m.Oi.I1i O (left)R(i).W1(i)
Midface92 m.Oi.I1i O (left)R(i).W1(i)2(i)
Midface92 m.Oi.I1i.Z O (left)R(i).W1(i)
Midface92 m.Oil.I0i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)
Midface92 m.Oil.I0i.Z (m.ZEB) Skull base93 m.M O (left)R(li).W1(li)2(li)
Midface92 m.Oil.I1di.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)
Midface92 m.Oil.I1di.Zli (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)2(i)
Midface92 m.Oil.I1i.Z (m.ZEB) Skull base93 m.Oas.A Cranial vault94 m.P0.F1 O (left)R(sli).W1(sli)2(si).A(s)
Midface92 m.Oil.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(li)
Midface92 m.Omil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(lim)2(i)
Midface92 Oi.m O (right)W2(i)
Midface92 Oi.U0 O (right)W1(i)2(i)
Midface92 Oi.U0 O (right)W2(i)
Midface92 Oi.U1 O (right)W1(i)2(i)
Midface92 Oim.m O (right)W1(m)2(im)
Midface92 Oim.m O (right)W2(im)
Midface92 Oim.U0.Om (NOE) Cranial vault94 F1dm.m.F1dm O (right)R(m).W1(im)2(i) O (left)R(sm)
Midface92 Oim.U1 Cranial vault94 F1m.m.F1 O (right)R(sm).W1(im)2(i) O (left)R(s)
Midface92 Oim.U1 O (right)W1(im)2(m)
Midface92 U0.Oi.I1i.Z O (left)R(i).W1(i)
Midface92 U0.Oil.I.Z (m.ZEB) Skull base93 A.Os.m.Oas.M.A Cranial vault94 F0.m.P1.F1 O (right)R(s).W1(s) O (left)R(li).W1(li)2(sl).A(s)
Midface92 U1.Omil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(li).W1(lim)2(im)
Midface92 U1m.Oil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(lim).W1(lim)2(i)
Midface92 U1m.Omi.I1di O (left)R(im).W1(im)2(i)
Midface92 U1m.Omil.I1di.Z (m.ZEB) O (left)R(lim).W1(lim)2(i)
Midface92 U1m.Omil.I1di.Z (m.ZEB) Skull base93 m.Oas.A Cranial vault94 m.F1 O (left)R(slim).W1(slim)2(im).A(s)
Midface92 U1m.Omil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(lim).W1(lim)2(i)
Midface92 U1m.Omil.I1i.Z (m.ZEB) O (left)R(lim).W1(lim)2(im)
Midface92 Z.I.Oi.m O (right)W1(i)
Midface92 Z.I.Oi.m O (right)W1(i)2(i)

Midface92 Z.I.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)
Midface92 Z.I0di.Oli.m.Oi (ZEB.m) O (right)R(li).W1(l) O (left)W2(i)
Midface92 Z.I0i.L0.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)
Midface92 Z.I0i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)
Midface92 Z.I0i.Oli.U0 (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)
Midface92 Z.I0i.Oli.U0 (ZEB.m) O (right)R(li).W1(lim)
Midface92 Z.I0i.Olim.U.Omil (ZEB.NOE) O (right)R(lim) O (left)R(lim).W1(li)2(i)
Midface92 Z.I0i.Olim.U0.Oi (ZEB.m) Skull base93 A.Os.m Cranial vault94 F1.m O (right)R(sli) O (left)W2(i)
Midface92 Z.I1di.Olim.U1d (ZEB.m) O (right)R(lim).W1(lim)2(im)
Midface92 Z.I1di.Om.U1.Om (NOE) O (right)R(im).W1(im) O (left)R(m)
Midface92 Z.I1i.L.Pt.Oli.m (ZEB.LF-I.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)
Midface92 Z.I1i.Oi.m O (right)R(i).W1(i)2(i)
Midface92 Z.I1i.Oim.m O (right)R(i).W1(i)2(i)
Midface92 Z.I1i.Olim.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(lim)2(im)
Midface92 Z0i.m.Oi.I1i Cranial vault94 F1.m.F1d O (right)R(i) O (left)R(i).W1(i)
Midface92 Z1.I0i.Oli.m (ZEB.m) O (right)R(li).W1(li)2(i)

Tabelle 11: Auflistung von „Brutto“-Fraktur-Varianten bei n=129 unilateralen Frakturen nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“, die als Rest mit insgesamt n=56 Frakturen in **Diagramm 9** zusammengefasst wurden (Orbita links n=27, Orbita rechts n=29) und in den Untersuchungen nur einmalig (n=1) auftraten (Details siehe **Tabelle 10**).

„Rest“ der Netto-1-Codierungen mit n≤2 nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“	
<u>Links</u>	<u>Rechts</u>
O (left)R(im).W1(im)2(i)	O (right)R(i).W1(im)2(i)
O (left)R(im).W1(im)2(i)	O (right)R(i).W1(im)2(im)
O (left)R(li).W1(li)2(li)	O (right)R(im).W1(im)
O (left)R(li).W1(lim)2(i)	O (right)R(im).W1(im)
O (left)R(li).W1(lim)2(im)	O (right)R(im).W1(im)2(im)
O (left)R(lim).W1(lim)2(im)	O (right)R(li).W1(lim)
O (left)R(lim).W1(li)2(i)	O (right)R(li).W1(lim)2(im)
O (left)R(m).W1(im)2(im)	O (right)R(lim).W1(lim)2(im)
O (left)R(si).W1(m)2(i)	O (right)R(m).W1(im)2(i)
O (left)R(sli).W1(sli)2(si).A(s)	O (right)R(m).W1(im)2(im)
O (left)R(slim).W1(slim)2(im).A(s)	O (right)R(sm).W1(im)2(i)
O (left)W1(im)2(im).A(m)	O (right)W1(im)2(m)
O (left)W1(im)2(m)	O (right)W1(m)2(im)
O (left)W1(im)2(m)	O (right)W2(im)
O (left)W1(l)2(i)	O (right)R(li).W1(lim)2(i)
O (left)W1(s)2(i)	

Tabelle 12: Auflistung von „Netto-1“-Frakturcode-Varianten nach „AO CMF Trauma Klassifikation für Erwachsene“, die als „Rest“ mit insgesamt n=31 Frakturen in **Diagramm 10** zusammengefasst wurden (Orbita links n=16, Orbita rechts n=15) und mit einer Häufigkeit n≤ 2 auftraten (Details siehe **Tabelle 10**).

„Rest“ der Codes mit n=1 nach Modifikationsvorschlag	
aIL aM pM	aIM pIM PLE aIL IOB C F
aIL aM pM C	aIM pIM aM C NLC
aIL C	aIM pIM aM C PLE
aIL C NLC	aIM pIM aM IOB C F
aIM aIL	aIM pIM PLE aM IOB C NLC
aIM aIL aM C NLC	aIM pIM aM pM C
aIM aIL aM IOB C F NLC	aIM pIM PLE aM pM IOB C
aIM aIL aM IOB C NLC	aIM pIM PLE aM pM IOB F NLC
aIM aIL F	aIM pIM PLE aM pM IOB
aIM aIL IOB C	aIM pIM PLE C
aIM aIL IOB C F	aIM pIM F
aIM pIM aIL aM C F	aIM pIM PLE IOB C F
aIM pIM aIL IOB C NLC	aIM pIM IOB C NLC
aIM aM pM	aIM pIM PLE IOB C
aIM pIM aIL aM C F	pIM PLE aIL aM pM IOB C
aIM pIM aIL aM IOB C F NLC	pIM aIL C
aIM pIM PLE aIL aM IOB C F NLC	pIM aIL C F NLC
aIM pIM aIL aM pM IOB C F	pIM PLE aM IOB C F
aIM pIM PLE aIL aM pM C F	pIM aM pM
aIM pIM PLE aIL aM pM IOB C	pIM PLE C F
aIM pIM aIL IOB C	pIM pM IOB C

Tabelle 13: Auflistung der Fraktur-Varianten nach Modifikationsvorschlag, die als „Rest“ mit insgesamt n=42 Frakturen in **Diagramm 12** zusammengefasst wurden (Orbita links n=28, Orbita rechts n=14) und nur einmal (n=1) auftraten (Details siehe **Tabelle 10**).

9. Danksagung

Ich danke Herrn Professor Dr. Dr. Carl-Peter Cornelius für die Überlassung des Dissertationsthemas. Zudem möchte ich ihm für die ausgezeichnete Betreuung und höchstengagierte Mitarbeit an dieser Arbeit danken.

Ich danke Herrn Peter Mayer für seine Betreuung des praktischen Versuchsteils.

Mein Dank gilt den Mitarbeitern der radiologischen Abteilung der chirurgischen Klinik (Nußbaumstraße) für die Unterstützung bei der Beschaffung meiner Arbeitsmaterialien.

Mein außerordentlicher Dank gilt meiner Frau, die mich während aller Phasen der Arbeit und in jeglicher Hinsicht unterstützt hat.

Meinen Eltern danke ich für ihre Unterstützung und Ermutigung sowohl während des Studiums als auch darüber hinaus.

11. Eidesstattliche Erklärung

Stiebler, Tobias

geboren am 06.11.1988 in Prien am Chiemsee

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass die vorliegende Dissertation mit dem Thema

”

Untersuchungen zu Frakturen der internen Orbita

in der CT-Bildgebung -

Flächengröße, Topographie, Korrelationen von frakturierten Subregionen

”

eigenständig verfasst wurde und außer den angegebenen Hilfsmitteln keine Weiteren verwendet wurden. Aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommene Erkenntnisse habe ich als solche kenntlich gemacht und dementsprechende Fundstellen angegeben.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 27.11.2018

Tobias Stiebler