

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

Direktor:

Prof. Dr. med. Dr. med. dent. R. Schmelzle

Retrospektive Untersuchung über die klinische Indikation intraoperativer 3D-Röntgendiagnostik mit dem ARCADIS Orbic^{3D} C-Bogen bei operativer Versorgung von Frakturen des Kieferwinkels und seiner Region

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
im Fachbereich Medizin der Universität Hamburg

vorgelegt von:

Sven Marx

aus Hamburg

Hamburg 2010

**Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 13.05.2011**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: PD Dr. Dr. P. Pohlenz

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. G. Adam

Prüfungsausschuss, dritte/r Gutachter/in: Prof. Dr. Dr. R. Schmelzle

„Optimismus ist nur ein Mangel an Information.“
*(Heiner Müller 1929-1995, Dramatiker, Schriftsteller und
Intendant)*

Für meine Söhne Jeremy und Maximilian

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Vorwort und Zielsetzung.....	6
1.2	Definition der Kieferwinkelfraktur.....	8
1.3	Besondere Merkmale der Kieferwinkelregion.....	10
1.4	Diagnostik von Kieferwinkelfrakturen.....	12
1.4.1	Klinische Symptome.....	12
1.4.2	Röntgenuntersuchung.....	13
1.5	Versorgung von Kieferwinkelfrakturen.....	16
1.5.1	Operative Frakturversorgung.....	16
1.6	Entwicklung des isozentrischen C-Bogen-Systems ARCADIS Orbic ^{3D} (Siemens AG, Erlangen) und Digitale Volumentomographie.....	19
2	Material und Methode	24
2.1	Isozentrisches C-Bogen-System ARCADIS Orbic ^{3D} (Siemens AG, Erlangen) ..	24
2.2	Patientengut und Datenerhebung.....	27
2.3	Operationsablauf und intraoperative Diagnostik mit dem ARCADIS Orbic ^{3D}	29
3	Ergebnisse	34
3.1	Allgemeine Ergebnisse und Befunde.....	34
3.2	Spezielle Kieferwinkelfraktur bezogene Befunde.....	38
3.3	Intraoperative Revisionen von Kieferwinkelfrakturen aufgrund ARCADIS Orbic ^{3D} -Diagnostik.....	45
3.5	Intraoperative Abbildungen der therapierten und revidierten Kieferwinkelfrakturen.....	48
4	Diskussion	54
4.1	Unterkieferfrakturen allgemein.....	54
4.2	Unterkieferwinkelfrakturen speziell.....	55
4.3	ARCADIS Orbic ^{3D}	58
5	Zusammenfassung	66
6	Abkürzungsverzeichnis	67
7	Literaturverzeichnis	69

8 Danksagung	81
9 Anhang.....	82
9.1 Abbildungsverzeichnis	82
9.2 Diagrammverzeichnis	83
10 Eidesstattliche Erklärung	85

1 Einleitung

1.1 Vorwort und Zielsetzung

Die erfolgreiche Behandlung von Unterkieferwinkelfrakturen durch innovative chirurgische Verfahren und Osteosynthesysteme, steht in einem engen Verhältnis zu der Weiterentwicklung der radiologischen diagnostischen Möglichkeiten. Für die Therapieplanung sowie die intra- und postoperative Behandlungskontrolle im Bereich der Zahn-, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (ZMKG-Chirurgie) lieferte die moderne Bildgebung den erforderlichen Informationsgewinn bisher im Hinblick auf die konventionellen radiologischen Verfahren.

Die Computertomographie (CT) ist seit ihrer Einführung ein unverzichtbarer und integrierter Bestandteil der traumatologischen Diagnostik, Therapie und auch Nachsorge geworden. Mit der digitalen Volumentomographie (DVT) wurde 1998 erstmals ein neues Untersuchungsverfahren in die zahnärztlich-chirurgische Röntgendiagnostik eingeführt, das in Konkurrenz mit dem herkömmlichen CT trat. Diese modifizierte Form der CT ermöglicht Rekonstruktionen in verschiedenen Ebenen mit dem Ziel, die komplizierten anatomischen Bereiche des Gesichtschädels umfassend und überlagerungsfrei darzustellen. In der ZMKG-Chirurgie ist aufgrund der vielseitigen diagnostischen Fragestellung diese Technologie mit besonderem Interesse beobachtet worden. Das DVT-Verfahren, das auf der Cone-Beam-Technik basiert, ist im Vergleich mit der CT mit einer deutlich geringeren Strahlenexposition und den erheblich reduzierten Metallartefakten verbunden (*Schulze et al. 2004, Heiland et al. 2004, Holberg et al. 2005*).

Die Erfahrungen mit der Kombination aus 3D-Volumen-Tomographen (Cone Beam Computed Tomography-CBCT) und mobilem C-Bogen (SIREMOBIL Iso-C^{3D}) seit dem Jahr 2001, verdeutlichten den Nutzen einer intraoperativen Diagnostik. Inwieweit diese Vorteile auch bei der Versorgung von Kieferwinkelfrakturen und kieferwinkelnahen Frakturen erkennbar sind, soll die vorliegende Arbeit klären.

Die Weiterentwicklung des mobilen C-Bogens (ARCADIS Orbic^{3D}) für den Einsatz am Gesichtsschädel wurde erstmals weltweit Anfang 2005 in der Klinik und Poliklinik für ZMKG-Chirurgie der Nordwestdeutschen Kieferklinik (NWDDK) Hamburg-Eppendorf mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Betrieb genommen.

Die Evaluierung, der seit der Einführung des Nachfolgemodells gesammelten dreidimensionalen Datensätze, erlaubt eine Übersicht über das Anwendungsspektrum in der knöchernen Gesichtsregion. Diese Studie konzentriert sich vor allem auf die Auswertung der im Gesichtsschädel therapierten und intraoperativ kontrollierten Frakturen des Kieferwinkels und der kieferwinkelnahen Brüche.

Eine der wesentlichen Indikationen zur Anwendung der intraoperativen 3D-Bildgebung ist die Möglichkeit, die Fragmentstellung so zu beurteilen, dass Korrekturen direkt im Anschluss an die an die Röntgendiagnostik, also ebenfalls intraoperativ und in der Regel noch in Narkose erfolgen können.

Es lassen sich drei Ziele dieser Dissertation erkennen. Einmal sollen die aufgrund der 3D-Datensätze der neuen mobilen C-Bogengeneration erfolgten chirurgischen Revisionen im Kieferwinkel und solche Frakturen, die keine Revision nach C-Bogen-Diagnostik erfordern, anhand des umfangreichen Patientenkollektivs erfasst werden. Weiterhin soll durch die Bewertung der im Kieferwinkel durchgeführten Revisionen der Nutzen des isozentischen C-Bogen ARCADIS Orbic^{3D} für den Patienten und den Operateur diskutiert werden. Durch die Beurteilung des Informationsgewinns, anhand des Vergleiches mit herkömmlichen radiologischen Verfahren, können die möglicherweise erwarteten diagnostischen Möglichkeiten bewertet werden.

1.2 Definition der Kieferwinkelfraktur

Anatomie des knöchernen Unterkiefers

Das Untergesicht des Gesichtsschädels (*Viscerocranium*) wird vom Unterkiefer (UK) gebildet. Die *Mandibula* besteht aus einem starken Körper, *Corpus mandibulae*, der an den Kieferwinkeln, *Anguli mandibulae*, in die aufsteigenden paarigen Unterkieferäste, *Rami mandibulae*, übergeht. Das *Collum mandibulae* ist ein grazil ausgeprägter Knochenabschnitt des Gelenkfortsatzes, *Processus condylaris*, des Unterkiefers. Der *Processus* verbindet das Gelenkköpfchen, *Capitulum mandibulae*, des Kiefergelenks mit dem Rest des Unterkieferastes. Der zahntragende Teil des Unterkiefers, *Pars alveolaris*, steht mit den Zähnen des Oberkiefers in Okklusion. Die frei bewegliche parabelförmige Knochenspanne ist über das Kiefergelenk mit dem Schläfenbein verbunden. Neben der physiognomischen Bedeutung dieses Gesichtsknochens, ist er funktionell an allen Mundbewegungen beteiligt. Wie die anderen Schädelknochen zeigt die *Mandibula* eine periostgedeckte Außen- und Innenkortikalis mit dazwischen liegender Spongiosa. Der Kieferwinkel des Neugeborenen von etwa 140° ändert während des Wachstums seine Größe. Im Erwachsenenalter ist er auf ca. 120° verkleinert, da sich so die Widerstandskraft des Unterkiefers gegen Biegung erhöht (*Schumacher 1997*). Beim männlichen Schädel ist der Unterkiefer massiver als beim weiblichen und der Kieferwinkel tritt deutlicher hervor. Auf der Innen- und Außenseite des Kieferwinkels sind die Knochenrauigkeiten, *Tuberositas masseterica* und *Tuberositas pterygoidea*, erkennbar. Diese entsprechen dem Ansatz der Kaumuskeln.

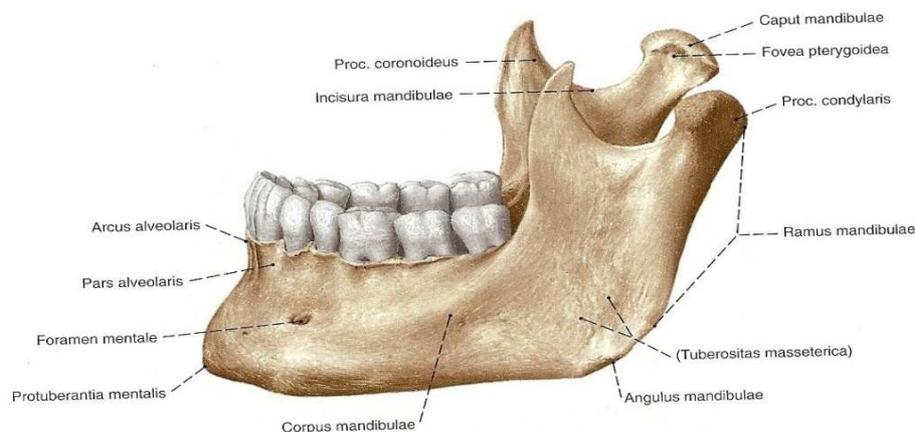


Abb. 1: Unterkiefer, Mandibula

Aus: *Sobotta: R. Putz und R. Pabst (1993), Atlas der Anatomie des Menschen*

Aufgrund der exponierten Position der Mandibula ist dieser Knochen häufiger als andere im Gesichtsschädel von Frakturen betroffen. Die Frakturen entstehen hauptsächlich an typischen physiologischen Prädeliktionsstellen.

In der Region des Unterkieferwinkels soll die Knochenstabilität vor allem im Bereich von retinierten Weisheitszähnen beeinträchtigt sein. Eine Schwächung des Knochens ist, um nur einige Beispiele zu nennen, auch durch die Atrophie des Knochens, Zysten und Entzündungen denkbar.

Nachfolgend soll der Versuch einer Definition der kieferwinkelnahen Frakturen, bezogen besonders auf die Befunde der für die vorliegende Arbeit ausgewerteten Röntgenbilder, vorgenommen werden.

Definition der Frakturen der Kieferwinkelregionen.

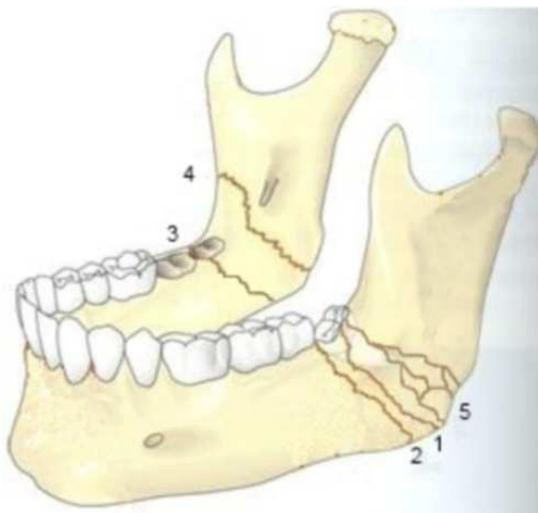


Abb. 2: Typische Lokalisationen von Kieferwinkelfrakturen

1. Kieferwinkel als Übergang von Unterkieferkörper zu Unterkieferast (corpus / ramus mandibulae)
2. retromolare Frakturen des Unterkieferkörpers
3. kieferwinkelnahe Frakturen bei unbezahnem / teilbezahnem Unterkiefer
4. kieferwinkelnahe Frakturen des Unterkieferastes
5. Trümmerfraktur im Kieferwinkel

Es gibt unterschiedliche Aspekte, um eine Klassifikation der Frakturen im Bereich des Kieferwinkels zu ermöglichen. Im Wesentlichen kann man hier drei Hauptgruppen unterscheiden, die sich auf den Gebisszustand beziehen und sich an dem Behandlungskonzept orientieren.

Klassifikation der Frakturen der Kieferwinkelregion

- Frakturen innerhalb der Zahnreihe (zwischen zweiten u. dritten Molaren)
- Frakturen außerhalb der Zahnreihe (durch oder hinter der Alveole des letzten Zahnes)
- Frakturen des unbezahnem oder unterbezahnem Unterkiefers

Die Kieferwinkelfrakturen können isoliert in einer Unterkieferhälfte oder häufig auch beiderseitig auftreten. Weiterhin sind Mehrfachbrüche mit Kieferwinkelbeteiligung möglich. Es handelt sich dabei meistens um Kombinationen von direkten und indirekten Biegebrüchen, wie z.B. die Kieferwinkelfraktur und paramedian Fraktur der Gegenseite.

1.3 Besondere Merkmale der Kieferwinkelregion

Als Kieferwinkel bezeichnet man den Übergang des Unterkieferkörper (Corpus mandibulae) in den aufsteigenden Ast des Unterkiefers (Ramus mandibulae). Um die Verhältnisse im Kieferwinkel zu verstehen, muss man sich den Aufbau des Unterkiefers verdeutlichen. Betrachtet man die Knochenarchitektur des Unterkiefers, so erkennt man, dass verstärkte Regionen mit Vorsprüngen und Leisten den dünneren und somit bei Gewalteinwirkung schwächeren Knochenanteilen gegenüber stehen.

Die Bauweise erklärt sich durch die physiologische Belastung des Unterkiefers. Die Muskulatur und der erzeugte Kaudruck führen in bestimmten Bereichen zu graphisch darstellbaren Spannungslinien, sogenannten Trajektorien. Entlang dieser Hauptbelastungszonen von Zug- und Druckkräften erhöht sich die Festigkeit des Knochens. Durch eine ausreichend starke Biegebelastung kommt es meistens zu einem Bruch senkrecht zu diesen Spannungslinien (*Spiessl & Schroll 1972*).

Eine Prädeliktionsstelle für Frakturen der Mandibula soll der Kieferwinkel sein (*Haug et al. 1990, Depprich et al. 2007*). Obwohl das Trajectorium marginale den Kieferwinkel verstärkt und dieser dazu eine netzartige Spongiosastruktur aufweist, zeigt sich, dass der Angulus mandibulae zu den mit Frakturen sehr häufig bzw. am häufigsten betroffenen Regionen im Unterkiefer zählt. Der Anteil beträgt je nach Studie zwischen 20-43% von allen isolierten Frakturen des Unterkiefers (*Depprich et al. 2007, Bormann et al. 2009, Schwenger & Ehrenfeld 2002, Halazonetis 1968*).

Die Studie von Shubert et al. (1997) zeigt, dass der Kieferwinkelbereich einen in allen Dimensionen und Ebenen dünneren Querschnitt als der Rest des Unterkiefers aufweist (*Schubert et al. 1997*).

Dieses in Verbindung mit den biomechanischen Kräften, die aufgrund des Wechsels vom horizontalen Corpus zum vertikalen Ramus in dieser Region wirken, erklärt nach Ellis (1999) zwar die Häufigkeit der Fraktur bei lateraler Kraftapplikation, ist aber nicht der alleinige Grund.

Zusätzlich von Bedeutung ist nämlich die Kaumuskulatur. Es ist sehr wahrscheinlich, dass zum Zeitpunkt der Verletzung die Zähne in Okklusion sind und die Kaumuskulatur angespannt ist. Der Ramus und der Condylus werden so durch die Muskulatur fixiert und geschützt. Gleichzeitig wird die Molarenregion durch die Okklusion stabilisiert. Man müsste daher das Auftreten der Fraktur zwischen den zwei fixierten Bereichen, also der Kieferwinkelregion erwarten (Halazonetis 1968).

Bei Frakturen vor der Muskelschlinge oder nach Zerreißen der Muskulatur ist eine Dislokation des kleinen Fragments durch den Zug der Kieferschließer nach kranial und außen möglich (Ernst et al. 2004).

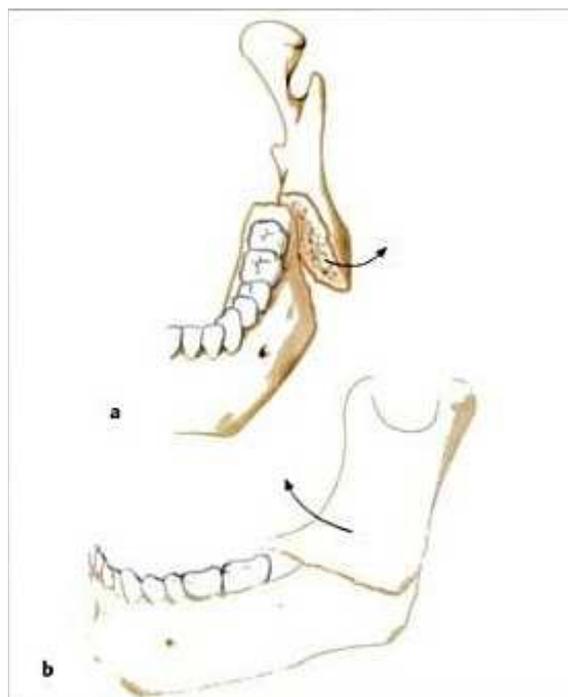


Abb. 3: Fragmentdislokation bei Kieferwinkelfrakturen

Dislokation des kleinen Fragments nach lateral (a) bzw. nach kranial (b)

Aus: *Traumatologie des Kopf-Hals-Bereichs*: A. Ernst, R. O. Seidel, M. Herzog (2004)

Letztlich erhöhen zumindest in einzelnen Situationen retinierte und impaktierte Weisheitszähne sowie auch der durchgetretene dritte Molare die Gefahr von Unterkieferfrakturen (Lee & Dodson 2000, Fuselier et al. 2002, Thangavelu et al. 2010, Subhashraj et al. 2009).

Die Gefahr von UK-Winkelbrüchen soll sich bei der Anwesenheit von Weisheitszähnen um das 2,8 -fache erhöhen (*Halmos et al. 2004*).

Die Ursachen für Kieferwinkelfrakturen sind nach Halazonetis (1968) hauptsächlich durch Rohheitsdelikte (21%) und durch Sportunfälle (20%), mit einer deutlichen Dominanz des männlichen Geschlechts (84%) im Alter zwischen 20 und 30 Jahren, zu erklären. Die neuere in Sao Paulo, Brasilien, durchgeführte Studie von Paza et al. (2008) zeigt ein Durchschnittsalter der Patienten mit Kieferwinkelfrakturen von 27 Jahren. Der Hauptgrund ist auch hier mit 39% die tätliche Auseinandersetzung, gefolgt von PKW-Verkehrsunfällen mit 27%. Dieses bestätigt die Aussage von einigen Untersuchungen, dass Körperverletzung ein häufiger Grund von Kieferwinkelfrakturen ist (*Bormann et al. 2009*) Dabei sind weiterhin das Alter, ethnische Zugehörigkeit und das soziale Umfeld der Betroffenen zu beachten. In den städtischen Gebieten zählt oftmals auch der Verkehrsunfall zu den Ursachen (*Dongas & Hall 2002, Tan et al. 1999*).

1.4 Diagnostik von Kieferwinkelfrakturen

1.4.1 Klinische Symptome

Die gründliche klinische Untersuchung mit ihrer intra- und extraoralen Befunderhebung gehört neben der Anamnese zu den wichtigen diagnostischen Möglichkeiten. Die Unterbrechung der Knochenkontinuität im Bereich des Unterkiefers, als Folge von direkter Krafteinwirkung wie Stoß und Schlag sowie bei indirekten Frakturen als Ursache der fortgeleiteten Kraft in Form von Biege-, Stauch- oder Scherbrüchen, zeigt eine Reihe von *sicheren* und *unsicheren* Frakturzeichen.

Ein deutliches Frakturzeichen als Beweis eines gebrochenen UK ist die Dislokation, die als Stufe, Diastase (Knochenlücke) oder Konturabknickung häufig am Unterkieferrand getastet werden kann. Visuell zeigt sich eine offene Fraktur intraoral häufig durch das Einreißen der dünnen, straff aufliegenden Gingiva in der retromolaren Region. Bei kieferwinkelnahen Frakturen ist dies eher selten der Fall, es sei denn, ein Zahn befindet sich im Bruchspalt. Durch das Ausweichen der Weichteile beim Auseinandertreten der Fragmente, ist die Fraktur nach außen meistens gedeckt.

Bei kompletter Kontinuitätstrennung des Knochens ist eine abnorme Beweglichkeit der Fragmente bzw. eine Stufenbildung erkennbar. Als ein weiteres Bruchsymptom gilt die Krepitation (tastbares Knochenreiben), die jedoch aufgrund der Schmerzhaftigkeit bei manchen Patienten nicht provoziert wird, sowie Okklusionsstörungen.

Unsichere Frakturzeichen kieferwinkelnahe Brüche weisen besonders dann auf einen möglichen Bruch hin, wenn Sensibilitätsstörungen, Blutungen aus dem Bruchspalt oder Stauchungsschmerzen in der Kieferwinkelregion bei Druck auf das Kinn vorliegen.

1.4.2 Röntgenuntersuchung

Im Anschluss an die klinische Untersuchung muss - wenn keine Gründe dagegen sprechen - durch entsprechende bildgebende Verfahren versucht werden, die Diagnostik zu ermöglichen. Die Standard-Röntgenuntersuchungen in mindestens zwei möglichst senkrecht zueinander stehenden Ebenen ermöglichen nicht immer das Erkennen von Frakturlinien und Fragmentstellungen. Immer häufiger kommen deshalb heute auch CT- und DVT-Aufnahmen mit 3D-Rekonstruktion zum Einsatz, ohne dass immer letzte Klarheit bezüglich der Frakturdiagnostik möglich ist. Bei speziellen Fragestellungen können sogar die Magnetresonanztomographie oder andere Sonographie hilfreich sein (*Schneider et al. 2007, Volkenstein et al. 1996, Blessmann et al. 2007*).

Letztendlich ist die Frakturdiagnostik eine Kombination aus klinischer und radiologischer Untersuchung (*Moos 2002*).

Konventionelle Röntgenaufnahmen

Die Röntgenstrahlung wurde zum ersten Mal von Wilhelm Conrad Röntgen Ende 1895 beobachtet. Die Bedeutung der in der Kathodenstrahlröhre erzeugten Röntgenstrahlung wurde von ihm früh erkannt und wissenschaftlich dokumentiert. Schon kurze Zeit später (Februar 1896) nutzte der Physiker W. König eine Fokusröhre zur Anfertigung von Aufnahmen der Frontregion des Ober- und Unterkiefers.

Um Röntgenstrahlen zu erzeugen, sind eine Röntgenröhre und ein Röntgengenerator unabkömmlich. Der Generator ist für die notwendige Energie verantwortlich, wobei die Röhre die Komponenten zur Erzeugung von Röntgenstrahlen bereitstellt. Die ionisierende Strahlung erzeugt auf der Röntgenfilm-Folien-Kombination, durch die unterschiedliche Strahlenabsorptionsrate der darzustellenden Strukturen, ein Negativbild.

Es gibt eine Reihe von konventionellen Röntgenaufnahmen des Gesichtsschädels, die als Basisuntersuchung zur Diagnose von Kieferwinkelfrakturen in der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf herangezogen werden.

Wichtig für die Frakturdiagnostik im Bereich des Unterkieferwinkels ist die *Panoramaschichtaufnahme (PSA)*. Sie ermöglicht einen Überblick mit sehr hohem Informationsgehalt über den gesamten Unterkiefer. Dabei können ebenfalls die im UK häufig vorkommenden Mehrfachfrakturen dargestellt werden (*Hodgkinson et al. 1994*).

Um den Anspruch einer zweiten Ebene gerecht zu werden, bietet sich in Ergänzung zur PSA eine Schädelaufnahme nach *Clementschitsch (Schädel posterior-anterior 15°)* an.

Zu den in zahnärztlichen Praxen möglichen Abbildungen des Kiefers, die einen hohen Stellenwert als zweite Ebene besitzen, gehört die *Okklusalaufnahme*. Das verwendete Filmformat steht jedoch den engen intraoralen Verhältnissen gegenüber, so dass eine einwandfreie Aufnahme der Kieferwinkelregion schwierig ist.

Computertomographie (CT)

Zur Diagnose von begleitenden Weichteilverletzungen bei kieferwinkelnahen Frakturen sollte auf eine weiterführende Diagnostik, wie etwa die CT zurückgegriffen werden (*Austermann 2002, Tanaka et al. 2003*). Die CT eignet sich zur überlagerungsfreien Darstellung der Fragmente, wie z.B. bei Trümmerfrakturen im Kieferwinkelbereich und erleichtert die präoperative Planung. Ist ein konventionelles Röntgen des Kieferwinkels von polytraumatisierten Unfallpatienten unmöglich bietet die CT einen hohen Informationsgehalt zur differenzierten Diagnostik.

Nachteil der CT ist die erhebliche Strahlenbelastung des Patienten.

Die wichtigen Elemente der CT sind die Röntgenröhre, der Kollimator und das Detektorensystem. Im Gegensatz zum Röntgen wird die Strahlung nicht von einer stationären Röntgenröhre abgegeben, sondern sie rotiert um den liegenden Patienten. Die Bewegung um den Körper ermöglicht durch das fächerförmige Strahlenbündel die Erfassung aller Strukturen des Querschnitts. Die Strahlung wird von einer Detektorenreihe aufgefangen, in digitale Daten umgewandelt und als Monitorbild dargestellt. Aus dem Absorptionsverhalten der unterschiedlichen Körperstrukturen resultieren Schwächungswerte, denen dann die so genannten Hounsfieldwerte (typische Dichtewerte) zugewiesen werden (*Burkhardt et al. 2003*).

Diese stellen sich auf dem Monitor in Grauwerten dar und sind als axiales Aufsichtsbild mit geringer Überlagerung und hoher Auflösung zu verstehen.

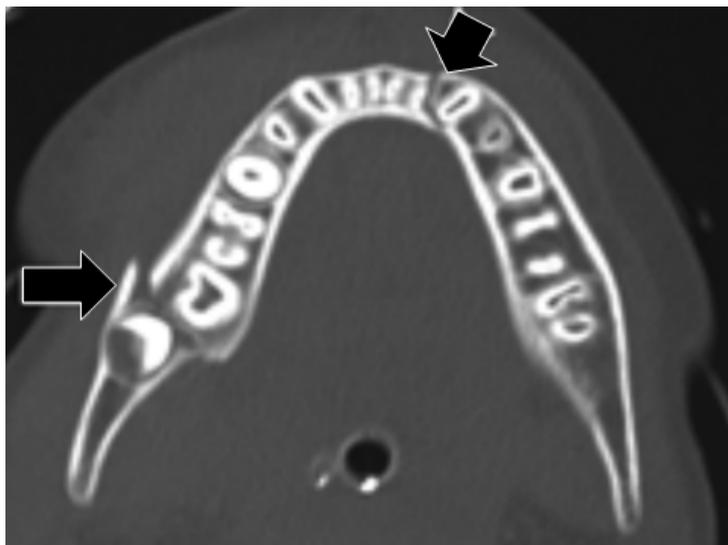


Abb. 4: Axiale CT-Aufnahme einer doppelten Unterkieferfraktur (paramedian und Kieferwinkel)

(ZMKG-Chirurgie, Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf)

Die sekundäre 3D-Rekonstruktion ist vor allem für den Frakturverlauf in der Körperlängsachse von Bedeutung, da dieser am axialen Schnittbild nur im Querschnitt dargestellt wird.

Dabei werden die ermittelten Daten im Computer zu einem Volumendatensatz zusammengefügt, aus dem sich beliebige Schnittbilder und 3D-Ansichten rekonstruieren lassen.

1.5 Versorgung von Kieferwinkelfrakturen

Die Wiederherstellung der Unterkieferfunktion und des äußeren Erscheinungsbildes müssen durch die Wahl der Therapie gewährleistet werden. Dabei ist auch zu beachten, dass die Kieferwinkelfraktur die höchste postchirurgische Komplikationsrate aufweist (*Iizuka et al. 1991, Schmelzeisen et al. 1992, Chuong et al. 1983*). Die häufigsten Komplikationen, wie z.B. Infektionen und Okklusionsstörungen bei ungenügender Reposition, stehen wiederum in einem engen Verhältnis zu der Schwere der Fraktur, der Compliance des Patienten und der angewendeten Versorgung. (*Choi et al. 2005, Razukevicius et al. 2005, Barry & Kearns 2007, Fox & Kellman 2003, Ellis 1999, Feller et al. 2003, Moreno et al. 2000*). Um eine knöcherne Durchbauung des Frakturspalts zu erlangen (primäre Frakturheilung), sind eine exakte Reposition und die ungestörte Knochenheilung mit ausreichend langer Ruhigstellung der Fragmente notwendig (*Augat et al. 2005, Joos et al. 2001*). Damit sollte ebenfalls eine natürliche Okklusion eingestellt werden. Die definitive Frakturtherapie ist so früh wie möglich der primären Notfallversorgung bzw. temporären Ruhigstellung anzuschließen. Sie erfolgt in der Regel innerhalb von 72 Stunden bis zu einer Woche, um der Gefahr von Bruchspaltosteomyelitis und Pseudoarthrosen vorzubeugen (*Uglesić et al. 1993, Maloney et al. 1991*).

Die Therapie ist abhängig von der Konstitution und dem Gebisszustand des Patienten, den Begleitverletzungen sowie dem Frakturtyp und der Lokalisation des Bruches.

Das Erreichen der Therapieziele kann durch die konservative (indirekte) sowie die operative (direkte) Versorgung ermöglicht werden (*Horch & Herzog 1997, Austerman 2002*).

1.5.1 Operative Frakturversorgung

Die operative Versorgung mit einer direkten, rigiden Fragmentverbindung zur schnellen und funktionellen Frakturheilung bezeichnet man als Osteosynthese (Albin Lambotte 1910). Frakturen im Kieferwinkel lassen sich aufgrund der beschriebenen biomechanisch ungünstigen Situationen mit indirekten Methoden nur bedingt ruhig stellen.

Die Studie von Heibel et al. (2001) zeigt, dass die schwer zu erreichende stabile Fixierung des Kieferwinkels auch auf das sehr geringe Kompaktaangebot der basalen Region zurückzuführen ist (Heibel et al. 2001).

Die hohe Anforderung der postoperativen Stabilität muss durch die eingebrachte Osteosynthese gewährleistet sein. Dabei sollte eine postchirurgische maxillo-mandibuläre Fixation (MMF) mit ihren Nachteilen nach Möglichkeit entfallen oder sich auf die Wundheilungsphase begrenzen. Das bedeutet, dass Reposition, Retention und Fixierung einzzeitig oder als Kombination aus konservativer und operativer Behandlung erfolgen können (Horch & Herzog 1997, Austermann 2002). Bei Kieferwinkelfrakturen oder Trümmerbrüchen ist eine MMF von Vorteil und sollte sich auf einen Zeitraum von zwei Wochen begrenzen (Bolourian et al. 2002, Mehra et al. 2008, Cawood 1985). Danach kann die intermaxilläre Verdrahtung durch Gummizüge zur Okklusionseinstellung und Teilmobilisierung ersetzt werden (Bell & Wilson 2008).

Der Zugang zur Fraktur kann von intra- und/oder extraoral erfolgen. Er ist neben den von der Fraktur bestimmenden Faktoren wie der Einseh- und Darstellbarkeit auch von dem verwendeten Osteosynthesystem abhängig (Sugar et al. 2009). Ein intraoraler Zugang ist jedoch wegen der Ästhetik und möglicher Nervenschädigung vorzuziehen (Mehra & Murad 2008).

Seit 1973 wurde durch die Arbeiten von Michelet et al. sowie 1975 und 1978 von Champy et al. die Prinzipien der Miniplattenosteosynthese in Europa publiziert und verbreitet (Luhr 2000).

Im Gegensatz zum statischen Kompressionsprinzip von Luhr, das durch Platten mit exzentrischen Löchern und die Verwendung von Schrauben mit konischen Köpfen auf der Druckseite verwirklicht wird, positioniert man die Miniplatten unter Berücksichtigung der Zugspannungslinien (Zugseite) (Luhr 1968).

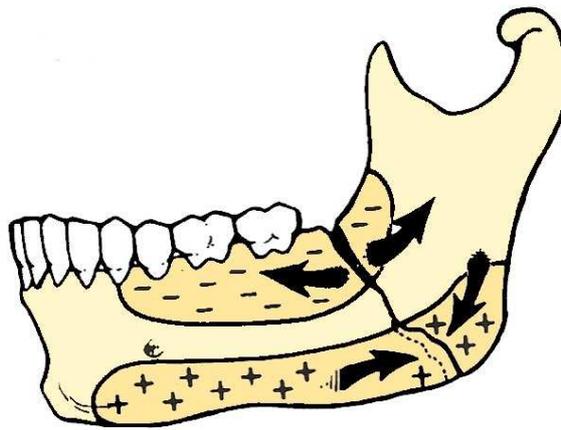


Abb. 5: Kieferwinkelfraktur mit (-) Zug- und (+) Druckzonen im Unterkiefer

(Gear et al. 2005)

Es handelt sich hierbei um eine grazile übungstabile Adaptationsplatte, die das Auseinanderklaffen der Frakturrenden in der Zugzone verhindern soll.

Durch die monokortikalen Schrauben wird die Gefahr der Schädigung von Zahnwurzeln oder des Nervus alveolaris inferior minimiert (Michelet et al. 1973, Champy et al. 1975).

Bei isolierten Kieferwinkelfrakturen hat sich im Allgemeinen der Einsatz einer Miniplatte entlang der oberen Begrenzung der Mandibula, der Linea obliqua mandibularis bewährt (Siddiqui et al. 2007, Gerlach & Pape 1980, Barry & Kearns 2007, Ellis & Walker 1996, Pape et al. 1996).

Die Meta-Analyse von 24 Studien von Regev et al. (2010) unterstützt den Trend zu einer einzigen, superior fixierten monokortikalen Miniplatte zur Stabilisierung der Kieferwinkelfraktur und Verringerung der Komplikationsrate.

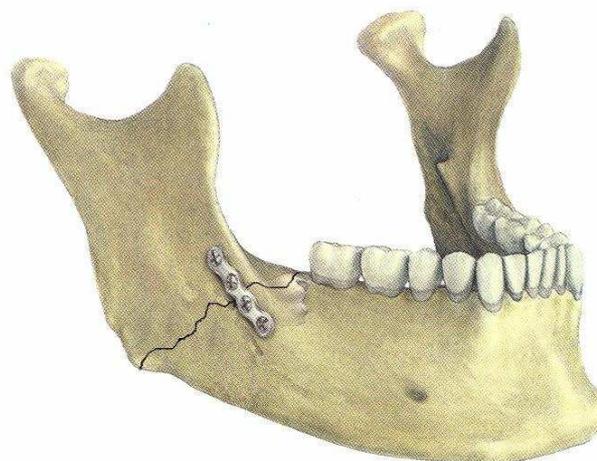


Abb. 6: Versorgung von Unterkieferwinkelfrakturen mit einer Miniplatte

Nur bei Trümmer- und Defektfrakturen, infizierten Frakturen oder mangelnder Patientenkooperation ist ein anderes rigides Stabilisationsverfahren in Betracht zu ziehen (*Feller et al. 2003, Austermann 2002*).

Andere Studien wie die von Levy et al. (1991) und Fox & Kellmann (2003) sehen Vorteile in einer zweiten Miniplatte im unteren Bereich des Kieferwinkels.

Die Miniplatte mit ihrem minimalen Implantatvolumen bietet durch den atraumatischen intraoralen Zugang, der ausreichenden Stabilität, OP-Zeitverkürzung durch selbstschneidende Schrauben und leichtes Anbringen, eine Reihe von Vorteilen bei Kieferwinkelfrakturen (*Austermann 2002*).

Als mögliche Komplikationen können Knocheninfektionen, Durchblutungsstörungen des Knochens und Materiallockerung bzw. Plattenbruch auftreten.

Die häufigste Ursache für Misserfolge ist auch hier eine unzureichende Technik des Operateurs, denn die Fragmente müssen zur eigentlichen Stabilisierung exakt reponiert werden. Eine Anpassung der Platten ist aufgrund der dazukommenden dritten Ebene in diesem Bereich noch schwieriger.

1.6 Entwicklung des isozentrischen C-Bogen-Systems ARCADIS Orbic^{3D} (Siemens AG, Erlangen) und Digitale Volumentomographie

Das SIREMOBIL Iso-C^{3D} von Siemens AG, Medical Solutions (September 2001), rekonstruierte erstmals, auf Basis von einzelnen, während des operativen Eingriffs erstellten isozentrischen Fluoroskopieaufnahmen, sofort einen 3D-Datensatz. Dieses Gerät steht am Ende des Entwicklungsweges der Siremobil-Serie.

Den Anfang der Gerätereihe stellte Mitte 1950 die Siemens-Bildverstärker-Durchleuchtungseinheit dar. Im Vordergrund der Entwicklung standen schon damals die Mobilität, die Betrachtungsoptik und die Verwendung eines Bildverstärkers. Der Verstärker findet auch heute noch in ähnlicher Bauweise Anwendung. Röntgenröhre und Bildverstärker sind an einem fahrbaren Stativ über einen C-Bogen fest aufeinander zentriert.

Die Betrachtungsoptik wurde später von der Einheit getrennt und durch einen mobilen Wagen mit Monitor ersetzt.

Der allgemeine technische Fortschritt und gezielte Entwicklungen führten zu einer schrittweisen Verbesserung der Nachfolgemodelle. Vor allem die Bereiche der Bildqualität, Bilddarstellung, sowie der Speicher- und Röntgentechnik konnten optimiert werden. Gegen Ende der Neunziger Jahre erhielt die Siremobil-Reihe den Namenszusatz Iso-C. Das Gerät zeichnet sich besonders durch das isozentrische Konstruktionsprinzip und die vergrößerte Orbitalbewegung aus, was eine zeitsparende, flexible und erleichterte Handhabung zur Folge hat (Pauls 2008).

Bei der isozentrischen Bauweise bleibt der Zentralstrahl immer im Drehmittelpunkt des Bogens (Isozentrum) unabhängig von der Aufnahmeposition. Nachpositionierungen sind nicht erforderlich und die Bildgröße bleibt aufgrund des kontinuierlichen Abstandes zwischen Bildverstärker und Röntgenröhre gleich.

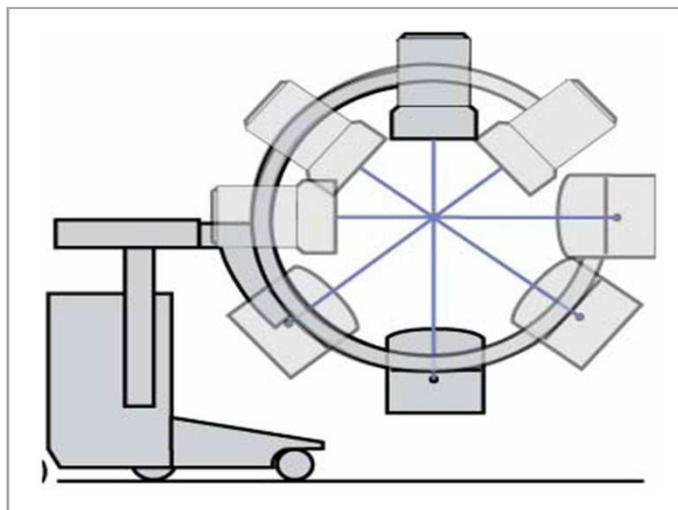


Abb. 7: Isozentrische Bauweise des Iso-C-Bogens mit Zentralstrahlverlauf

Eine Vergrößerung der Orbitalauslenkung auf 190° ($+95^\circ$ – -95°) ermöglicht nahezu jede Projektion ohne vertikale oder horizontale Nachjustierung.

Das Modell beschränkte sich zunächst auf die klassischen Möglichkeiten der kontinuierlichen Durchleuchtung und der digitalen Radiographie zur Erstellung von Einzelbildern.

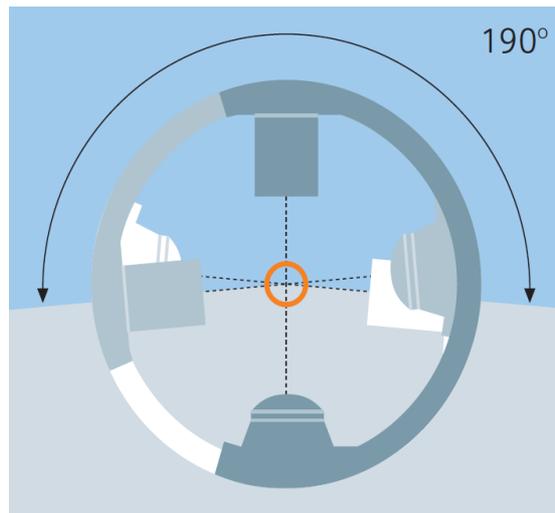


Abb. 8: Zentralstrahlverlauf und Orbitalauslenkung des Iso-C-Bogens

Die Erneuerungen und der Ausbau der Digitalisierung ermöglichten die Konstruktion des mobilen 3D-C-Bogens SIREMOBIL Iso-C^{3D}. Dieses Modell besitzt die baulichen Voraussetzungen mit einer motorisierten und standardisierten Orbitalrotation die 3D-Bildgebung aufgrund der eingesetzten Digitalen Volumetomographie (DVT) zu ermöglichen.

Der erste zugelassene digitale Volumetomograph wurde bereits 1998 in die Zahnheilkunde eingeführt (*Mozzo et al. 1998*).

Der DVT besteht aus folgenden wesentlichen Funktionselementen:

- Röntgenröhre mit Generator
- Bildverstärkerröhre (Image Intensifier)
- CCD-Kamera
- Steuerrechner mit Auswertungssoftware

Im Gegensatz zur CT wird bei der DVT (Cone Beam Computed Tomography - CBCT) die Gesamtheit des darzustellenden Bereiches durch ein kegelförmiges Strahlenbündel in einem Umlauf erfasst. Die drehbar gelagerte Röntgenröhre und der gegenüberstehende zweidimensionale Bildrezeptor bewegen sich in einem Rotationsscan um den Kopf des Patienten (*Ziegler et al. 2002*). Dabei wird nicht kontinuierlich geröntgt, sondern es entstehen viele zweidimensionale Einzelprojektionen. Bei den anschließenden Primärrekonstruktionen werden aus den gewonnenen Rohdaten axiale Schichten errechnet. Diese können als Sekundärrekonstruktion in beliebigen 2D- und 3D-Ansichten dargestellt werden.

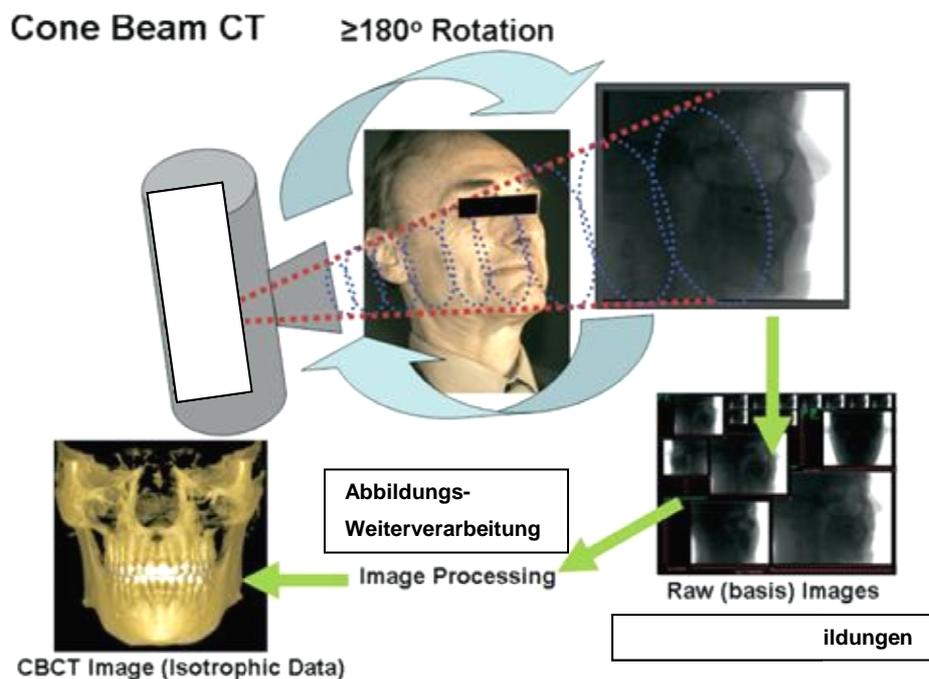


Abb. 9: Schema der Bilderzeugung mit dem DVT-Scanner

(Farman & Scarfe 2009)

Die Hauptvorteile gegenüber der konventionellen CT sind bei fast gleicher Bildqualität, die geringere Strahlenexposition und die Minimierung von Artefakten beim Durchstrahlen von Metallen wie z.B. Implantaten (Heiland et al. 2005, Tsiklakis et al. 2005, Roberts et al. 2009, Loubele et al. 2009). Die DVT konzentriert sich auf die Darstellung von Hartgeweben und deren geometrietreue Abbildung.

Bei dem SIREMOBIL Iso-C^{3D} wird während des langsamen Scanvorgangs von 120s eine Serie von 100 Durchleuchtungsaufnahmen in festen Winkelabständen von einem im Isozentrum positionierten Objekt in 2D-Qualität gespeichert. Aus den gewonnenen Schnittbildern wird im angeschlossenen Rechensystem mit einem modifizierten Feldkamp-Algorithmus (Rekonstruktionsalgorithmus), ähnlich denen der klassischen CT, ein würfelförmiges 3D-Bilddatenvolumen rekonstruiert. Der Datenwürfel hat etwa 12 cm Kantenlänge und besteht aus 256³ isotroper Voxel (Euler et al. 2001).

Die Visualisierung der Bilddaten erfolgt analog der bekannten Darstellungsmöglichkeiten der CT über Schichtbildtechniken (Multi-Planares Reformatieren; MPR).

Die Schichtbilder zeigen eine annähernd gleiche Auflösung von 9 Lp/cm und eine Schichtdicke von 0,46 mm in koronaler, sagittaler und axialer Projektion (*Rock et al. 2001*).

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Oberflächendarstellung (Surface Shaded Display; SSD), bei der spezielle Schattierungseffekte und Betrachtungswinkel frei wählbar sind (*Kotsianos et al. 2001*).

Die Darstellung des Kopf- und Halsbereiches gehörte zunächst nicht zum Indikationsspektrum der zugelassenen Anwendungen (*Heiland 2006*).

Die diagnostischen Möglichkeiten konzentrierten sich vor allem auf den Einsatz in der Unfallchirurgie und der orthopädischen Chirurgie zur Beurteilung komplexer gelenktragender Frakturen und für die intraoperative Kontrolle von eingebrachtem Osteosynthesematerial (*Kotsianos et al. 2001, Rock et al. 2001, Euler et al. 2001, Linsenmaier et al. 2002*). Die NWDKK Hamburg-Eppendorf entschied sich aufgrund einer Reihe von Studien im Bereich CT bzw. CBCT, die deren Nutzen zur Gesichtsschädeldarstellung bestätigte, zur Anwendung des Geräts in der ZMKG-Chirurgie (*Ziegler et al. 2002, Stanley 1999, Hoelzle et al. 2001, Hoffmann et al. 2002*).

Die präklinische Studie von Heiland et al. (2003) zeigte, dass das SIREMOBIL Iso-C^{3D} zur Visualisierung der Gesichtsschädelstrukturen geeignet ist. Weiterhin bewiesen Untersuchungen, dass die Strahlenbelastung eines Scans im langsamen Modus mit der absorbierten Dosis beim Erstellen von vier konventionellen Röntgenbildern im Kopfbereich zu vergleichen ist (*Schulze et al. 2004*).

Alle diese Ergebnisse unterstützten die Entscheidung, das zugelassene Anwendungsspektrum des SIREMOBIL Iso-C^{3D} um die Kopf- und Halsregion zu erweitern. Mit dieser Zulassung wurde die Voraussetzung für die Genehmigung zur Anschaffung des Nachfolgemodells ARCADIS Orbic^{3D} zur intraoperativen Bildgebung des Gesichtsschädels in der Hamburger Universitätsklinik geschaffen.

2 Material und Methode

2.1 Isozentrisches C-Bogen-System ARCADIS Orbic^{3D} (Siemens AG, Erlangen)

Seit Februar 2005 verwendet die Klinik und Poliklinik für ZMKG-Chirurgie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf diese auf dem C-Bogen basierende 3D-Bildgebungskombination zur intra- und postoperativen Untersuchung.

Der ARCADIS Orbic^{3D} besteht in seiner Grundausstattung aus einem isozentrischen C-Bogen mit integrierter Röntgenröhre. Dem Röntgengenerator mit einer Hochspannung von 40 bis 110 kV und einem Röhrenstrom von bis zu 23 mA steht ein 9“ Bildverstärker gegenüber. Angeschlossen ist ein Monitorwagen mit zwei 19“ Bildschirmen. Die Bauweise, bei der eine Orbitalauslenkung von 190° mit 95° Overscan möglich ist, wurde wie bei seinem Vorgänger beibehalten.



Abb. 10: C-Bogen-System ARCADIS Orbic^{3D}
(Siemens AG, Erlangen)

Die Scanzeiten, Bildqualität und Leistung konnten jedoch deutlich verbessert werden. Die voll digitale Bildkette des Systems mit 1024 x 1024 Pixeln (1K²) beginnt direkt bei der Aufnahme mit dem Mu-Metall-geschirmten Bildverstärker, und sie setzt sich verlustfrei über die Bearbeitung, Darstellung und Dokumentation bis hin zur DICOM-Kommunikation (Digital Imaging and Communications in Medicine) fort.

Die DICOM Datensätze ermöglichen die Archivierung und Dokumentation mittels CD, DVD und USB-Stick und können später mit der Viewer-Software dargestellt werden. Mit EASY (Enhanced Acquisition System) analysiert ARCADIS Orbic^{3D} die Aufnahmen während der Belichtung und optimiert Dosis, Helligkeit und Kontrast.

Das Modell benötigt nur 30 Sekunden für einen Standard-Scan mit 50 Bildern oder 60 Sekunden für einen Scan mit 100 Bildern. Die Bilder werden zunächst in 2D-Qualität generiert. Die verwendete CBCT-Technik erzeugt hier ebenfalls ein kegelförmiges Strahlenbündel, welches den darzustellenden Bereich durch Einzelprojektionen erfasst. Zum laufenden Scan wird simultan der 3D-Bilddatensatz, ein Würfel mit einem Volumen (256^3 Voxel) von ca. 12 cm^3 und einer Voxelgröße von 0,47 mm, berechnet und synchron am rechten Monitor dargestellt. Im linken Monitor kann gleichzeitig ein Vergleich von Voraufnahmen stattfinden. Die 3D-Datensätze können in MPR, SSD sowie alternativ in VRT- (Volume Rendering Technique) Qualität visualisiert werden. Die Generierung der sekundären Bildrekonstruktion erfolgt mit Hilfe der syngo®-Software (Siemens Medical Solutions). Die syngo®-Benutzerplattform ermöglicht es darüber hinaus, mit anderen Modalitäten und klinischen Netzwerken verbunden zu werden. Die Kapazität des Bildspeichers beträgt ca. 60.000 2D-Bilder in 1K^2 Matrix bzw. 400 Scans im langsamen Modus als 3D-Datensätze. Vereinfacht wird die Bedienung des Gerätes durch den Fußschalter und die Laservisiere zur Positionierung der Durchleuchtungsregion im Isozentrum (*Pohlenz et al. 2008, Siemens AG, Medical Solutions. Broschüre, ARCADIS Orbic / Orbic^{3D}, 2008 Feb.:1-10*).

Durch die gegebene Isozentrik dieses Systems ist die gesamte C-Bogenmechanik allerdings deutlich größer als die eines Standard C-Bogens. Für die intraoperative Handhabung braucht das OP-Team einige Erfahrung, um den schnellen Einsatz möglich zu machen. Die starre Isozentrik der C-Bogenmechanik muss exakt zum Patienten ausgerichtet werden. Es können keine Ausweichbewegungen ohne Verlust der Isozentrik (z.B. bei möglichen Kollisionen zwischen System und Patient oder Umgebung) ausgeführt werden.

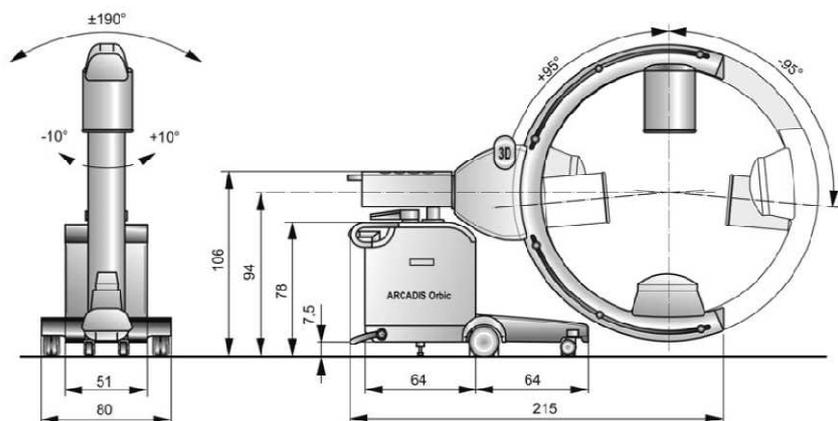


Abb.11: Winkel und Abmessung des ARCADIS Orbic^{3D} in cm

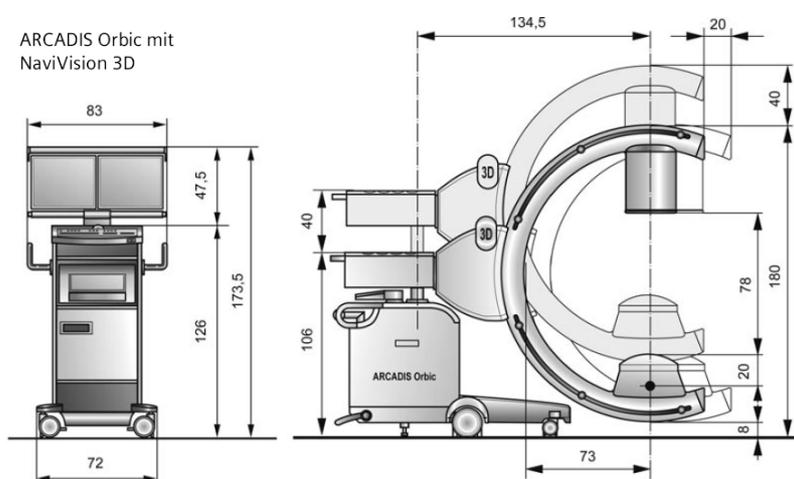


Abb.12: Abmessung des ARCADIS Orbic^{3D} in cm

(Siemens AG, Medical Solutions. Entscheidend mehr Präzision im OP. ARCADIS Orbic / Orbic^{3D} Datenblatt)

Mit einem Kaufpreis von etwa 250.000,- € ist das Modell im Vergleich zur CT günstiger in der Anschaffung. Weitere Vorteile sind ein wesentlich besserer Zugang zum Patienten, weniger Ansprüche an das Raumangebot sowie das erleichterte Arbeiten unter sterilen Bedingungen.

Dieses C-Bogen-System lässt sich vor allem bei folgenden Indikationen zum Informationsgewinn in der ZMKG-Chirurgie einsetzen:

Indikationen zum intraoperativen Einsatz des ARCADIS Orbic^{3D}

- nach chirurgischer Versorgung von Mittelgesichtsfrakturen zur Kontrolle schlecht einsehbarer oder tiefliegender Frakturstellen.
- nach chirurgischer Behandlung von Unterkieferfrakturen, zur Kontrolle des Repositionsergebnisses, Lage des Osteosynthesematerials sowie der möglichen Dehiszenz der lingualen Knochenfläche nach Versorgung.
- bei Intensivpatienten mit komplexer Knochenrekonstruktion, die postoperativ nicht mit konventionellen Verfahren kontrolliert werden können.
- bei Kindern, bei denen ein präoperativer CT-Scan eine Sedierung oder Vollnarkose erfordern würde. Dieser wird durch einen intraoperativen Scan ersetzt.
- bei behinderten oder dementen Patienten mit Behandlungsbedarf unter Vollnarkose, bei denen eine ausreichende präoperative Diagnostik unmöglich ist.

Abb.13: Indikationen zum intraoperativen Einsatz des C-Bogen-Systems in der ZMKG-Chirurgie (Heiland 2006)

2.2 Patientengut und Datenerhebung

Die Studie wurde in der ZMKG-Chirurgie der Klinik und Poliklinik des Universitäts-Krankenhauses Hamburg-Eppendorf durchgeführt.

Zur Analyse wurden die Patienten, die im Zeitraum von Mai 2005 bis Oktober 2008 chirurgisch versorgt und im OP-Saal mit dem ARCADIS Orbic^{3D} kontrolliert wurden, herangezogen. Die Visualisierung der DICOM-Daten in 3D-Ansicht erfolgte durch die Software OsiriX, einem DICOM-Viewer für Mac OS X. Durch den Abgleich archivierter Bilddaten mit dem OrDIS-Stations-Dokumentationssystem (klinisches Arbeitsplatzsystem) der Universitätsklinik konnten die für die vorliegende Arbeit wichtigen Informationen über die Patienten und deren Operation eruiert werden.

In einer Microsoft® Excel XP -Tabelle mit 8 Spalten wurden folgende Daten aus jeder einzelnen Patientenakte dokumentiert:

Dokumentierte Patientendaten

- **Name des Patienten**
- **Geschlecht**
- **Geburtsdatum**
- **Alter des Patienten**
- **gestellte Diagnose**
- **Operationsdatum**
- **durchgeführte Operation**
- **intraoperative Revisionen**

Abb.14: Dokumentierte Informationen aus den Patientenakten

Aus der Summe aller dokumentierten Diagnosen wurden Patienten mit kieferwinkelnahen Frakturen und Frakturen des eigentlichen Kieferwinkels für die Untersuchung herangezogen werden.

Die Anzahl und andere wichtige Fakten der Kieferwinkelfrakturen, die in dem genannten Zeitraum operativ versorgt wurden, wurden ebenfalls ermittelt. Alle Frakturen des Kieferwinkelbereichs, die aufgrund der intraoperativen Therapiekontrolle mit dem ARCADIS Orbic^{3D} revidiert wurden, wurden gleichfalls erfasst. Die entsprechenden 3D-Datensätze wurden mit den OP-Berichten verglichen. Ziel war dabei, besonders die Gesamtzahl der durchgeführten Revisionen, also aller während eines OP-Termins erneut durchgeführten Operationen, zu erfassen, und die Gründe und die Art der aufgrund des Röntgenbefundes notwendigen Revisionsoperationen zusammen zustellen.

2.3 Operationsablauf und intraoperative Diagnostik mit dem ARCADIS Orbic^{3D}

Damit der ARCADIS Orbic^{3D} in der Kieferwinkelregion vorteilhaft eingesetzt wird, muss er in den Arbeitsplan integriert werden.

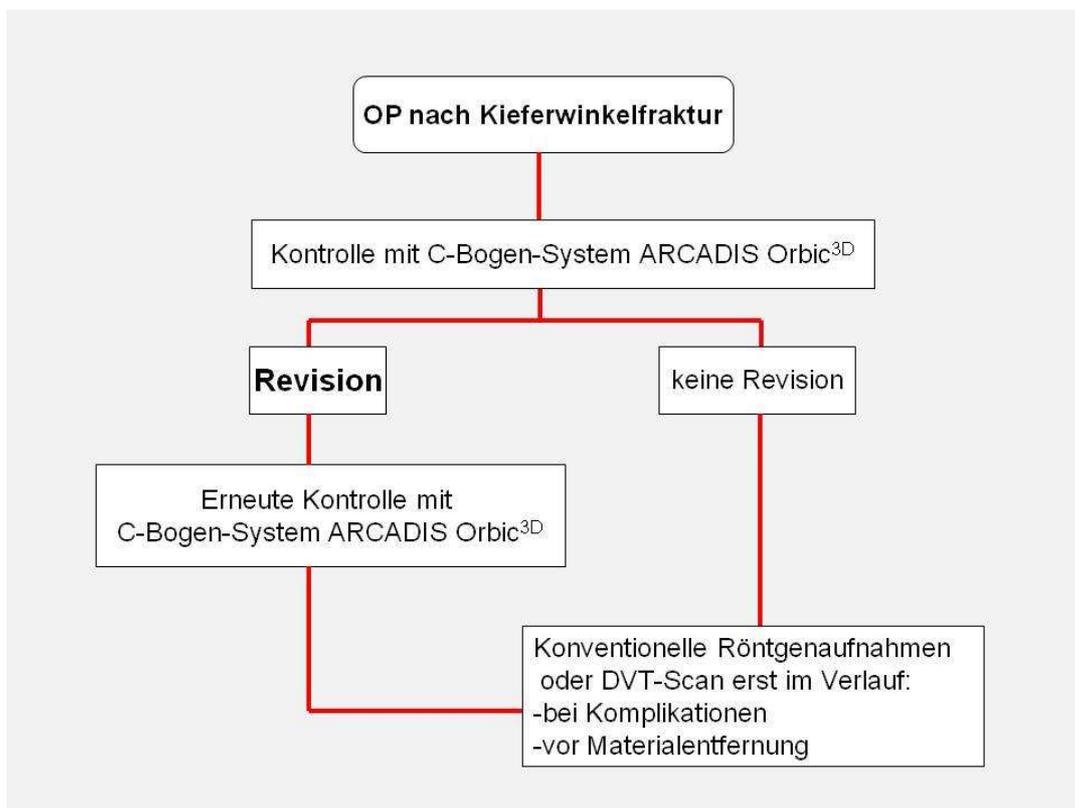


Abb.15: Integration des ARCADIS Orbic^{3D} in den intra- und postoperativen Arbeitsablauf

Die operative Behandlung der Kieferwinkelfrakturen zeigt trotz unterschiedlicher Genese und Ausprägung eine Reihe von Gemeinsamkeiten beim Operationsablauf.

1. OP-Vorbereitung und Lagerung des Patienten

Bei allen Patienten erfolgte die übliche Aufklärung und präoperative Diagnostik mit Hilfe der entsprechenden Bildgebung. Der Patient wird wie gewohnt in den OP eingeschleust. Idealerweise wird bei Unterkieferkorrekturen eine nasotracheal Intubationsnarkose durchgeführt, um dem Chirurgen einen ungehinderten Zugang zur Operationsregion zu ermöglichen. Anschließend wird die Person gelagert, der Operationsbereich gewaschen und abschließend steril abgedeckt.

Um eine optimale Bildqualität zu erhalten, sollte der Patient auf einem röntgenkompatiblen OP-Tisch liegen, da metallene Komponenten des OP-Tisches die Bildqualität, insbesondere bei der 3D-Bildgebung, erheblich verschlechtern können.

2. Positionierung des Systems

Die C-Bogenmechanik sowie der Monitorwagen können zwischen verschiedenen OP-Räumen transportiert werden, da sie mobil konstruiert sind. Die Komponenten zur 3D-Bildgebung sind in den beiden fahrbaren Einheiten integriert. Der Monitorwagen wird im Blickfeld des Chirurgen positioniert. Die C-förmige Bildaufnahmeeinheit, der Bildverstärker und die Röntgenquelle können standardmäßig steril verpackt werden. Beim Einsatz des C-Bogens wird dieser mit der Fahrvorrichtung an den Patiententisch herangefahren. Das ebenfalls sterile 3D-Bedienpult und das Fußpedal zur Auslösung der Bildaufnahme werden für den Operateur leicht bedienbar bereitgestellt.

3. Präparieren des Zugangs und Definition des Isozentrums

Für die offene Reduktion der Kieferwinkelfrakturen können intra- und/oder extraorale Zugänge notwendig sein. Die Einstellung der Okklusion kann prä- oder intraoperativ mit einer Schuchardt-Drahtbogenkunststoffschiene (modifiziert nach Schmelzle) erfolgen. Nach Darstellung des Frakturspaltes im Kieferwinkel erfolgt die Stabilisierung. Dazu wird das an der Klinik übliche Osteosynthesematerial aus Reintitan unterschiedlicher Hersteller, nach den Richtlinien der AO eingesetzt.

Für die Miniplatten verwenden alle Hersteller Titan mit niedrigerem Härtegrad (geringerer Sauerstoffgehalt) als für die Schrauben des jeweiligen Systems. Dabei ist die Verwendung von einer bzw. zwei Miniplatten auf und unterhalb der Linea obliqua mandibularis von der gegebenen Situation und der notwendigen Rigidität abhängig (siehe Einleitung).

Bei der Versorgung nach Maßgabe der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese setzte sich im Kieferwinkel ebenfalls die „Champy-Technik“ durch (*Gear et al. 2005*). Eine Verwendung von AO-Platten (Dynamic Compression Plate, DCP) ist nicht ausgeschlossen und situationsabhängig. Die Kompressionsplatten durchliefen in jüngerer Zeit eine Miniaturisierung.

Es zeichnet sich allerdings ab, die Kompressions-Osteosynthesysteme nur noch für Problemfrakturen einzusetzen (*Horch 2007*). Für die Kieferwinkelregion verwendet man häufig speziell gebogene 6- oder 8-Loch-Rekonstruktionsplatten, bei denen das sphärische Gleitprinzip in beide Richtungen eingearbeitet ist.

Nach erneuter Okklusionskontrolle wird die Wunde mit Nahtmaterial verschlossen.

Die postoperative Röntgenkontrolle der Therapie der Patienten mit dem C-Bogen wird direkt im OP-Saal unter noch sterilen Kautelen durchgeführt. Der Patient verbleibt dabei aufgrund der Konstruktion und Röntgentransparenz (Kohlefaser) des Operationstisches in der Rückenlage. Anschließend wird der ARCADIS Orbic^{3D} C-Bogen in seitlicher Stellung am Patientenkopf in Position gebracht. Bis auf die motorisierte Hubachse können alle Achsen des Geräts per Hand frei ausgerichtet werden. Der Operationssitus wird mit Hilfe des Laserlichtvisieres und der Positionierungsaufnahmen im Isozentrum festgelegt. Die korrekte Ausrichtung der 3D-Darstellung des therapierten Kieferwinkels wird durch ein Projektionsbild bestätigt. Anschließend wird der nun senkrecht stehende Bildverstärker manuell so ausgerichtet, dass sich der Kieferwinkelbereich in der Bildmitte der Röntgenprojektion befindet. Die Positionierungsaufnahme wird wiederum am Touchscreen des isozentrischen Steuerrechners quittiert. Das Isozentrum bildet der Schnittpunkt der Zentralstrahlen beider Kontrollaufnahmen.

Die Bedienung und Einstellung des Gerätes kann durch nur eine Person erfolgen und trägt somit zur Verringerung der Strahlenexposition des übrigen Teams bei, das den OP-Saal verlassen kann.



Abb. 16

**Abb. 17: Intraoperative Handhabung des ARCADIS Orbic^{3D}**

(MKG-Chirurgie, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf)

4. Bildaufnahme mit 3D-Rekonstruktion

Der sich nun isozentrisch bewegende C-Bogen kann an jeder beliebigen Stelle Röntgenbilder aufnehmen und danach die 3D-Rekonstruktion erstellen. Um bei einer automatischen Rotation der C-Achse Kollisionen mit dem Patienten zu verhindern, muss die Bewegung zunächst manuell ausgeführt werden. Solange der Fußschalter des Systems betätigt wird, kann eine zuvor definierte Anzahl von Röntgenbildern bei automatischer Bewegung aufgenommen werden.

Eine Verlängerung der Vollnarkose ist, insbesondere wegen der Dauer der Datenerfassung und des Aufbaus der einzelnen multiplanaren Rekonstruktionen, von insgesamt ca. sechs Minuten erforderlich. Der Vorteil ist die Vermeidung von Bewegungsartefakten.

Anschließend können die Operateure anhand des Bildmaterials den Eingriff beurteilen. Der Untersucher erhält Schnittbilder des abgebildeten Volumens in jeder frei wählbaren Schnittebene. Die 3D-Darstellung kann über einen Spaceball frei rotiert und positioniert werden.

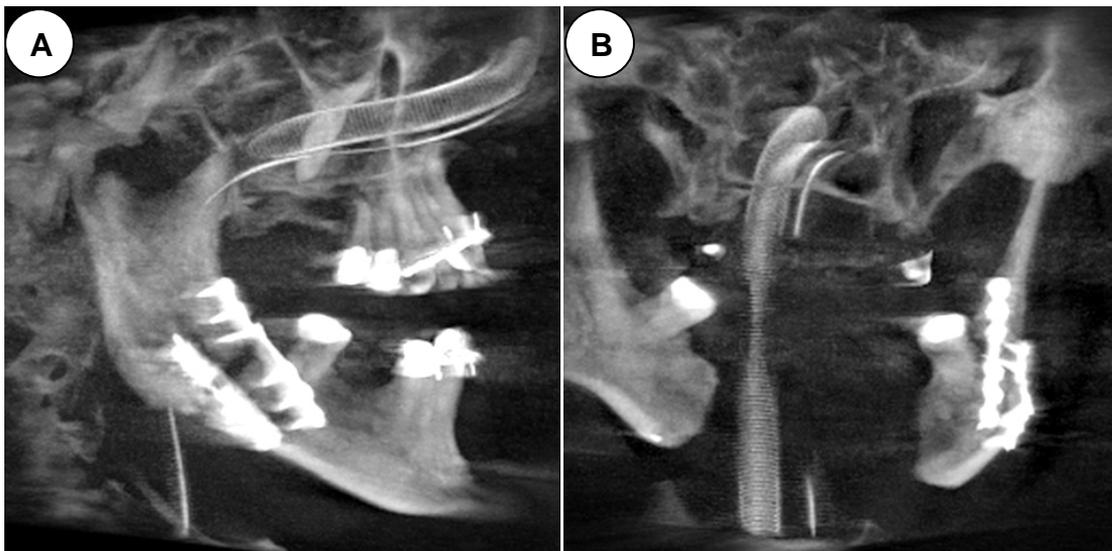


Abb. 18: Rekonstruktion einer Unterkieferwinkelfraktur

A: Sagittale Schicht des UK-Winkels nach Versorgung

B: Koronare Schicht des UK-Winkels nach Versorgung

(MKG-Chirurgie, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf)

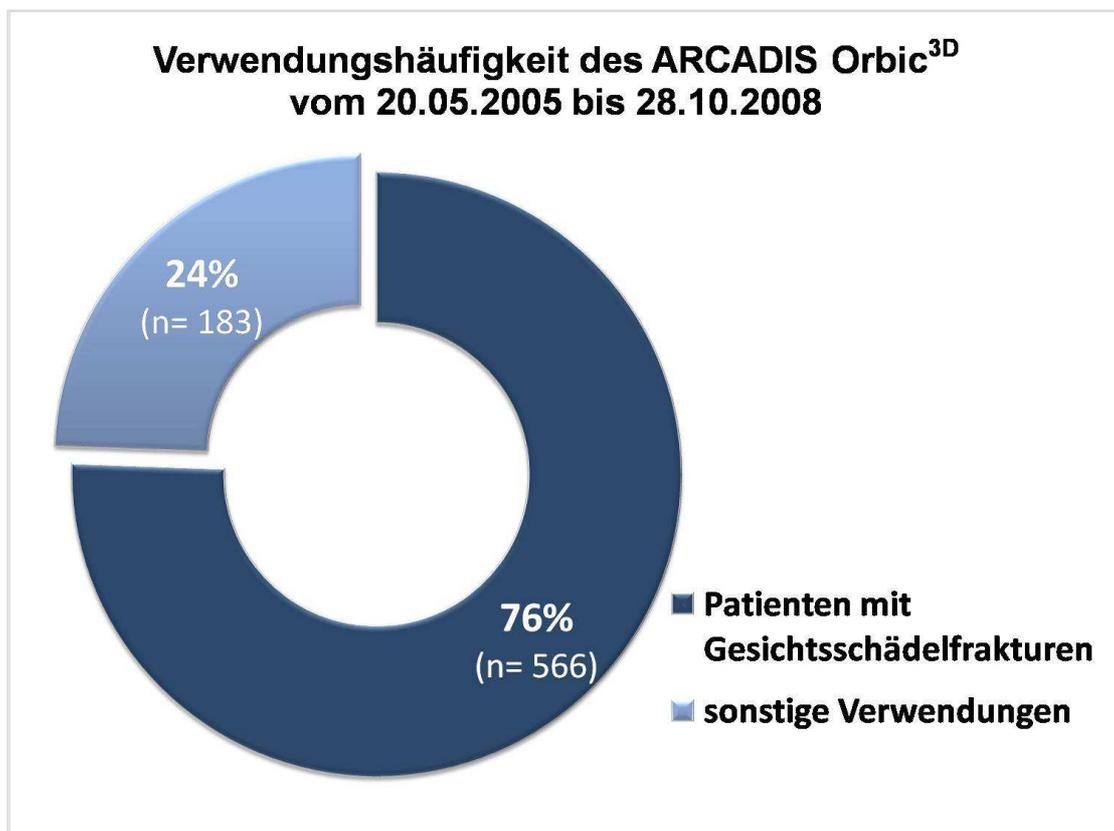
Die Lagekontrolle des Osteosynthesematerials und der Fragmente wird dadurch sehr genau. Eine eventuelle Revision kann dann unverzüglich erfolgen. Wird der C-Bogen beim weiteren chirurgischen Eingriff nicht mehr benötigt, kann er vom OP-Tisch wieder entfernt werden. Anderenfalls verbleibt der ARCADIS Orbic^{3D} in senkrechter Position, um den Blick des Chirurgen auf das Operationsfeld nicht zu behindern.

3 Ergebnisse

3.1 Allgemeine Ergebnisse und Befunde

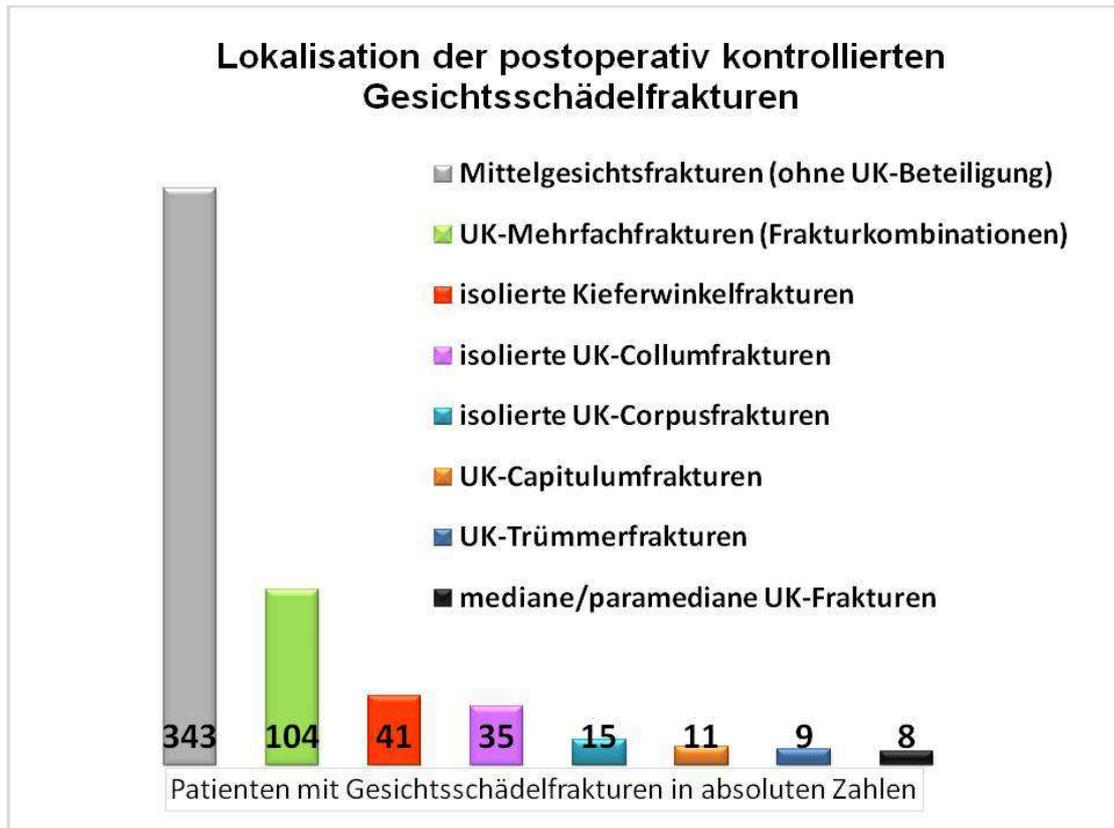
Die intraoperativen Einsatzmöglichkeiten des ARCADIS Orbic^{3D} sind vielfältig. Die Kontrolle des Gesichtsschädels nach operativer Versorgung von Frakturen ist in der ZMKG-Chirurgie eine der Hauptindikationen des Gerätes. Zwischen dem 20.05.2005 und dem 28.10.2008 wurden insgesamt 749 Patienten in der NWDKK Hamburg-Eppendorf postchirurgisch und intraoperativ am Gesichtsschädel mit dem ARCADIS Orbic^{3D} kontrolliert. In diesem Zeitraum wurde von 566 Patienten intraoperativ ein 3D-Datensatz nach Versorgung von Gesichtsschädelfrakturen mit dem ARCADIS Orbic^{3D} angefertigt. Es wird deutlich, dass das Gerät an der Hamburger Universitätsklinik in der ZMKG-Chirurgie mit 76% am häufigsten zur intraoperativen Diagnostik bei Patienten nach Frakturbehandlungen im Gesicht eingesetzt wurde.

Diagramm Nr. 1:



Die Patientengruppe mit Gesichtsschädelfrakturen lässt sich nach der Lokalisation der verschiedenen Frakturtypen unterteilen.

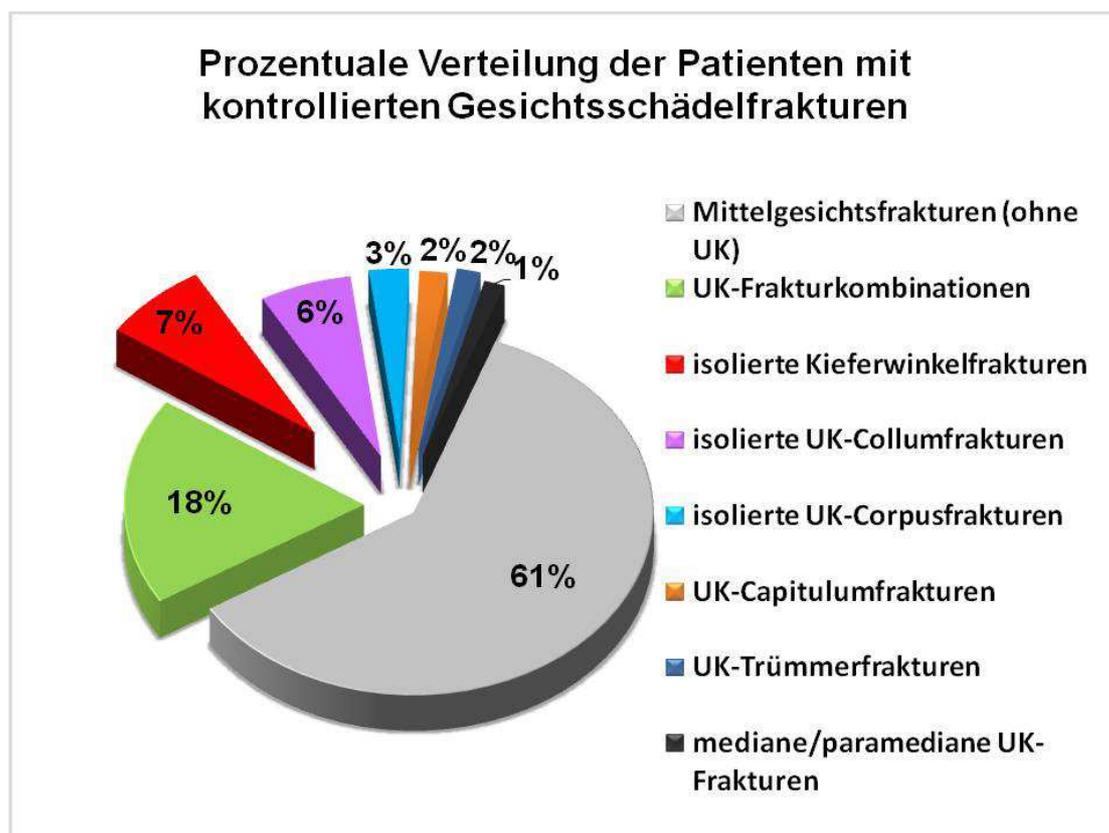
Diagramm Nr. 2:



Die Patienten mit Mittelgesichtsfrakturen (343) wurden am häufigsten intraoperativ kontrolliert. Gefolgt wird diese Gruppe von Patienten mit UK-Frakturkombinationen (104).

Es wird deutlich, dass sich der ARCADIS Orbic^{3D} zur intraoperativen postchirurgischen Diagnostik bei Patienten mit Frakturen im Unterkiefer einsetzen lässt. Bei Betroffenen mit isolierten UK-Frakturen wurde das Gerät besonders häufig zur Diagnostik im Kieferwinkel verwendet. Die isolierten Kieferwinkelfrakturen machen dabei 7% der gesamten Frakturpatienten aus.

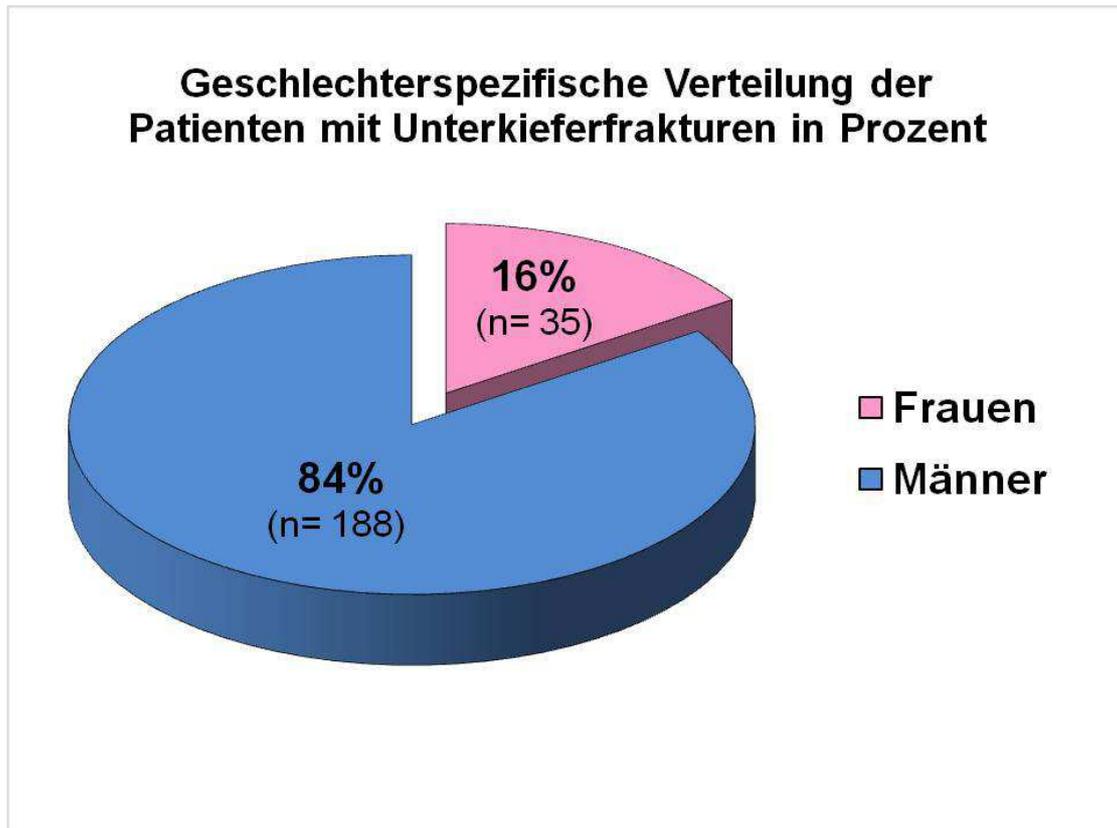
Diagramm Nr. 3:



Es wurden insgesamt 223 Patienten mit Frakturen im Unterkiefer nach der Therapie mit dem ARCADIS Orbic^{3D} kontrolliert. Das heißt, dass die Betroffenen mit Unterkieferfrakturen mehr als 39% des Patientengutes mit Gesichtsschädelfrakturen ausmachen. Die Patienten mit Unterkieferbrüchen waren zum Zeitpunkt der Operation und 3D-Kontrolle 2 bis 88 Jahren alt. Es ergibt sich somit ein Durchschnittsalter von 37,8 Jahren. Die Patientengruppe im Alter von 15 - 24 Jahren ist mit 46% (103) am häufigsten von Unterkieferfrakturen betroffen. Es folgen dann die Altersgruppen der 25 – 34-jährigen mit 27% (60) und der 35 – 44-jährigen mit 19% (42).

Der Hauptanteil mit 188 (84%) Patienten ist männlich und ca. fünf Mal so hoch wie der weibliche Anteil mit 35 (16%) Patienten.

Diagramm Nr. 4:



Unter den Patienten mit isolierten Frakturen im Unterkiefer ist der Kieferwinkel am meisten betroffen, gefolgt von Patienten mit isolierten Collum- und Corpusfrakturen.

Bei der Auszählung aller Patienten mit Kieferwinkelfrakturen, also auch derjenigen, die Kombinationsfrakturen aufweisen, ist zu erwarten, dass die Zahl der Patienten mit diesem Frakturtyp um mehr als das Doppelte ansteigt. Diese Form der Fraktur im UK soll speziell betrachtet werden.

3.2 Spezielle Kieferwinkelfraktur bezogene Befunde

Die Analyse der 104 Patienten mit Unterkiefermehrfachfrakturen ergibt eine Reihe von Kombinationen, bei denen der Unterkieferwinkel beteiligt ist. Bei 42 Patienten sind Frakturkombinationen mit Unterkieferwinkel-Beteiligung postoperativ mit dem CBCT kontrolliert worden. Das entspricht 40,4% der Betroffenen mit untersuchten Frakturkombinationen. 41 Patienten zeigten Doppelfrakturen und bei einem Patient war eine Dreifachfraktur zu erkennen.

Diagramm Nr. 5:

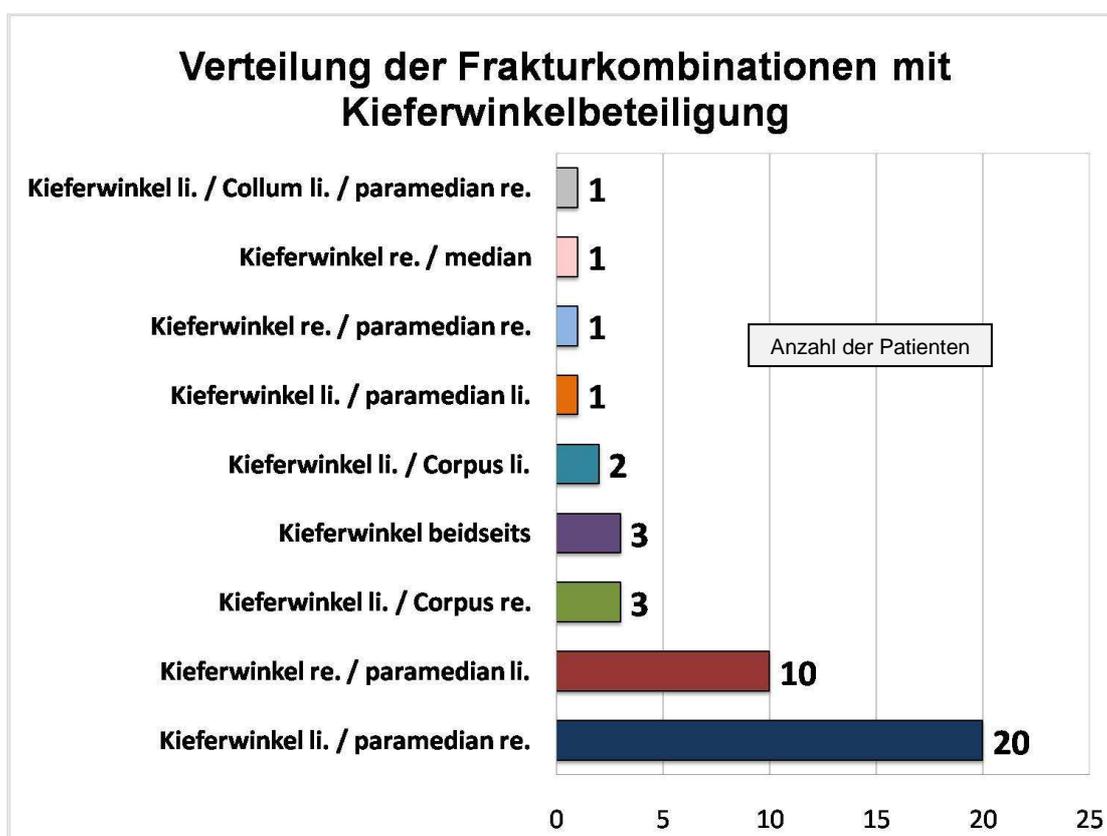
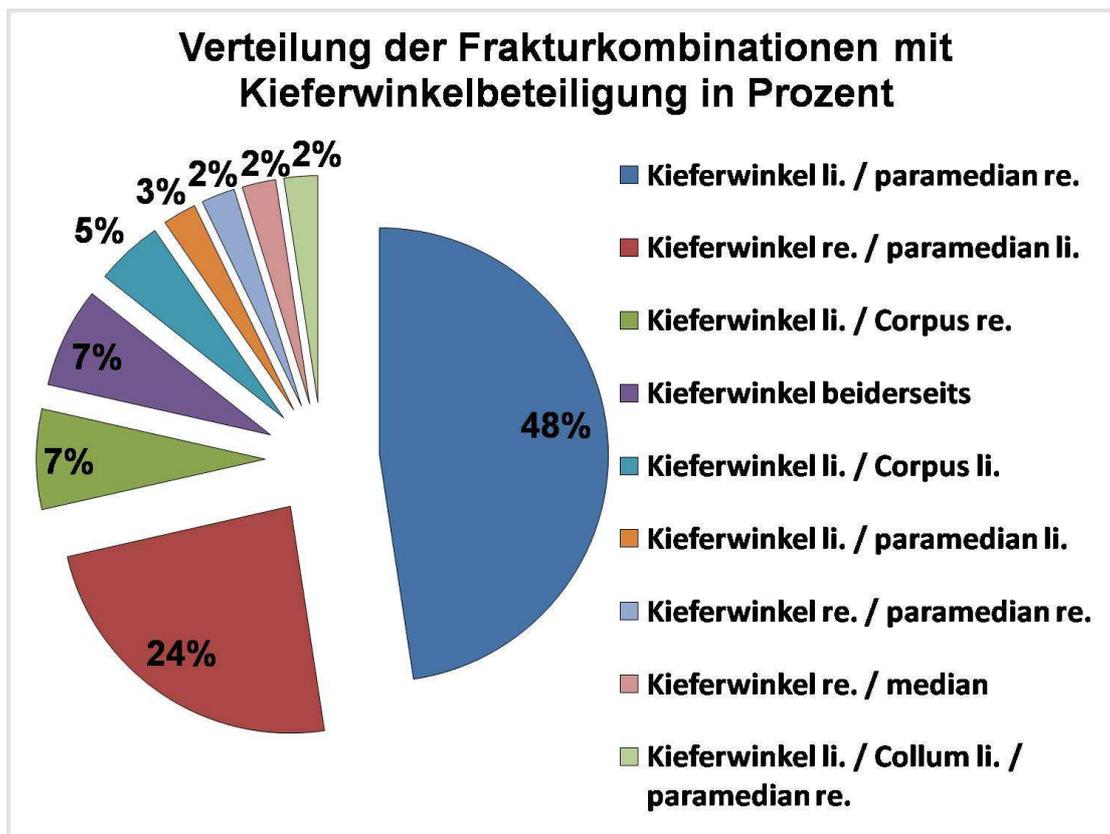


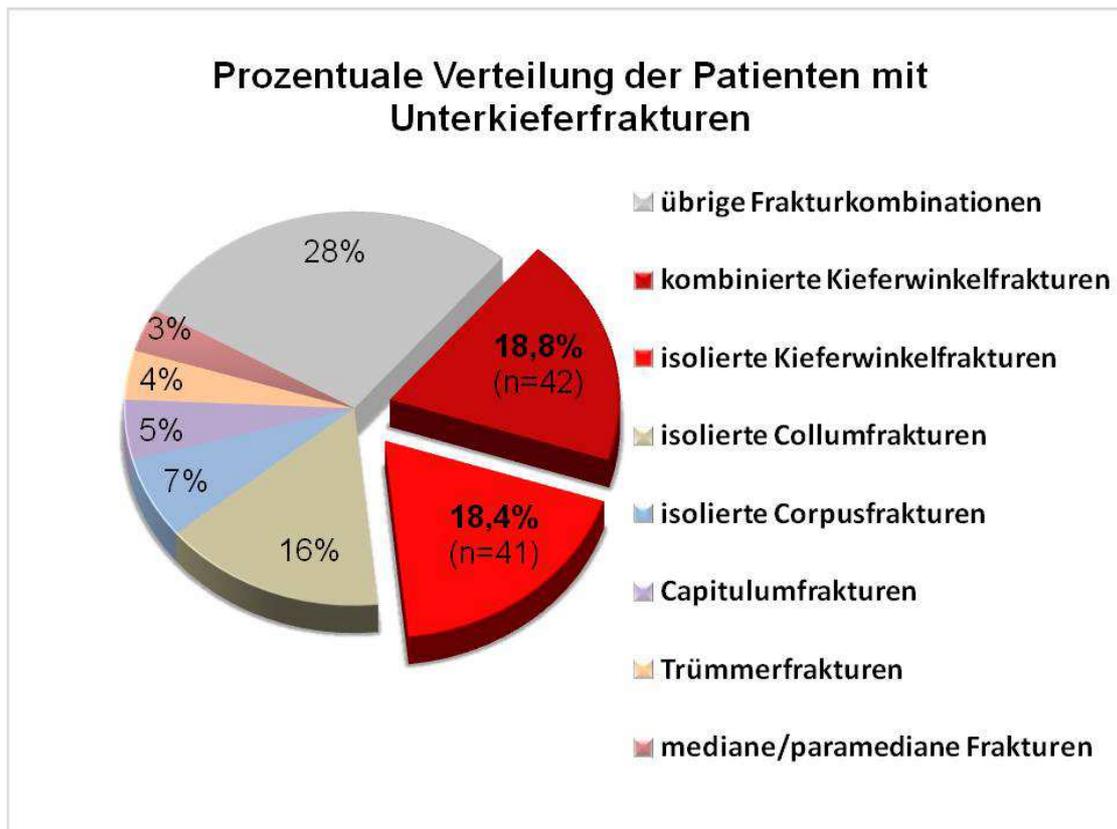
Diagramm Nr. 6:



Es wird deutlich, dass die Patienten mit der Kombination *Kieferwinkel links / paramedian rechts* überwiegend betroffen sind und somit dementsprechend oft postoperativ kontrolliert wurden. Bei allen Untersuchten mit Frakturkombinationen macht diese Variante 48% aus. 24% der Betroffenen zeigten die Kombination *Kieferwinkel rechts / paramedian links*.

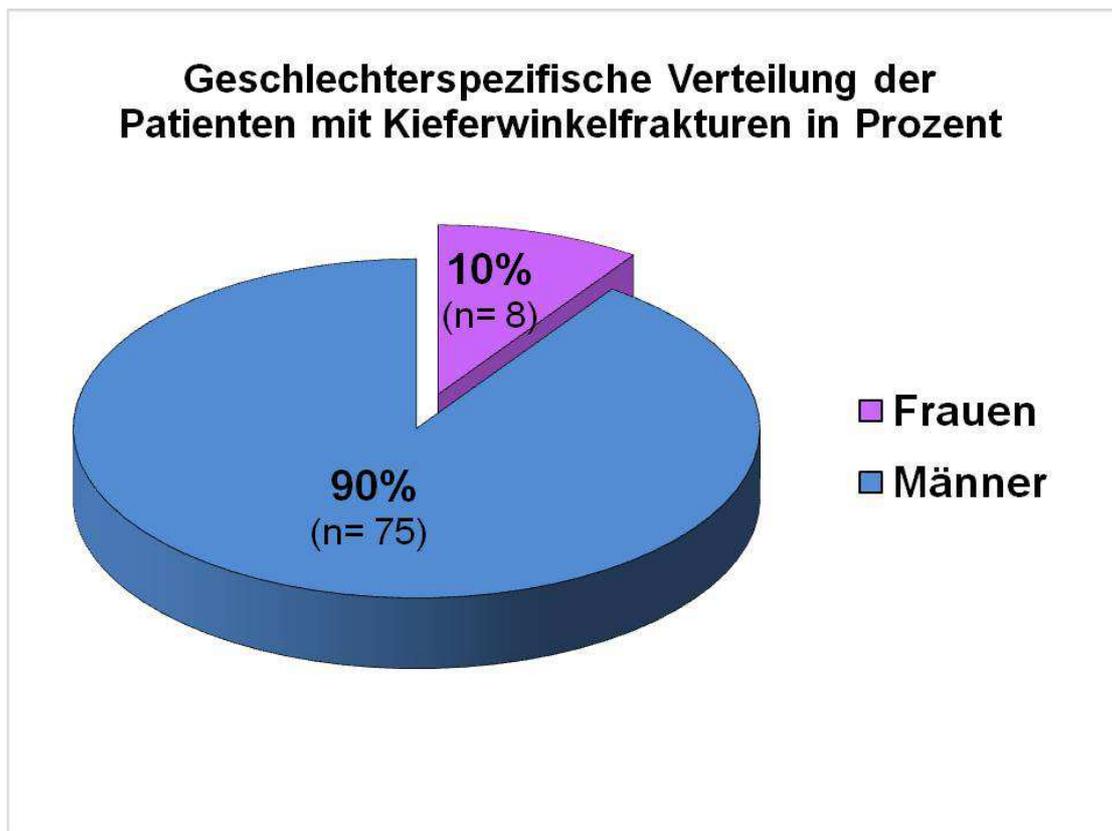
Nach Auswertung der Patientenzahlen ergeben sich insgesamt 83 (37,2%) Patienten, die im Kieferwinkel versorgt und kontrolliert wurden. Diese Zahl setzt sich aus den 41 Patienten mit isolierten Kieferwinkelfrakturen (18,4%) und den 42 Betroffenen, die eine Beteiligung des Kieferwinkels in Frakturkombination (18,6%) zeigen, zusammen.

Diagramm Nr. 7:



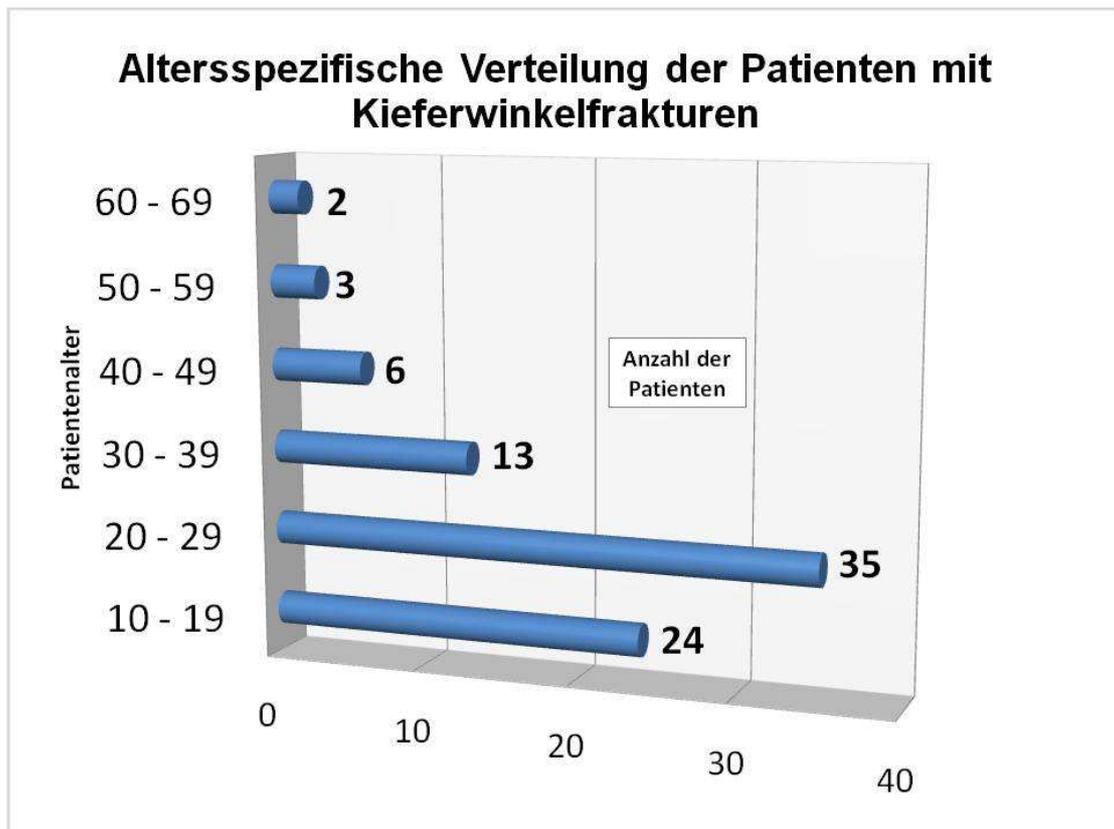
Betrachtet man die geschlechterspezifische Verteilung innerhalb dieser Gruppe, so zeigt sich, dass das männliche Geschlecht am häufigsten (90%) von diesem Frakturtyp betroffen ist. Entsprechend viele Datensätze wurden zur Kontrolle angefertigt.

Diagramm Nr. 8:



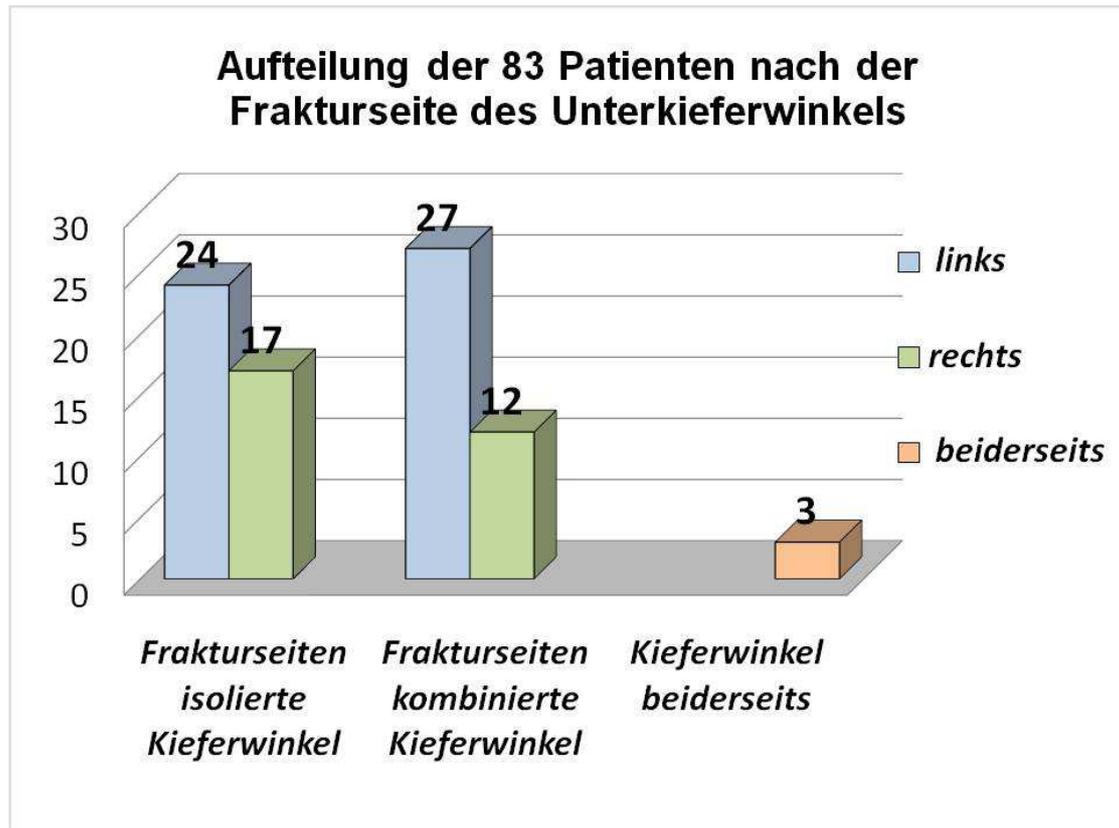
Zum Zeitpunkt der Erstellung der 3D-Datensätze mit dem ARCADIS Orbic^{3D} waren die Patienten im Alter zwischen 11 und 68 Jahren. Das entspricht einem Durchschnittsalter von 26,8 Jahren. Die Gruppe der 20- bis 29-jährigen Patienten ist mit 45,7% die am meisten kontrollierte, gefolgt von den 10- bis 19-jährigen Patienten mit einem Ergebnis von 28,9 %.

Diagramm Nr. 9:



Die Frakturseiten der isolierten und kombinierten Kieferwinkelfrakturen lassen sich bei den ermittelten 83 Patienten in *recht* / *links* / *beiderseits* unterteilen.

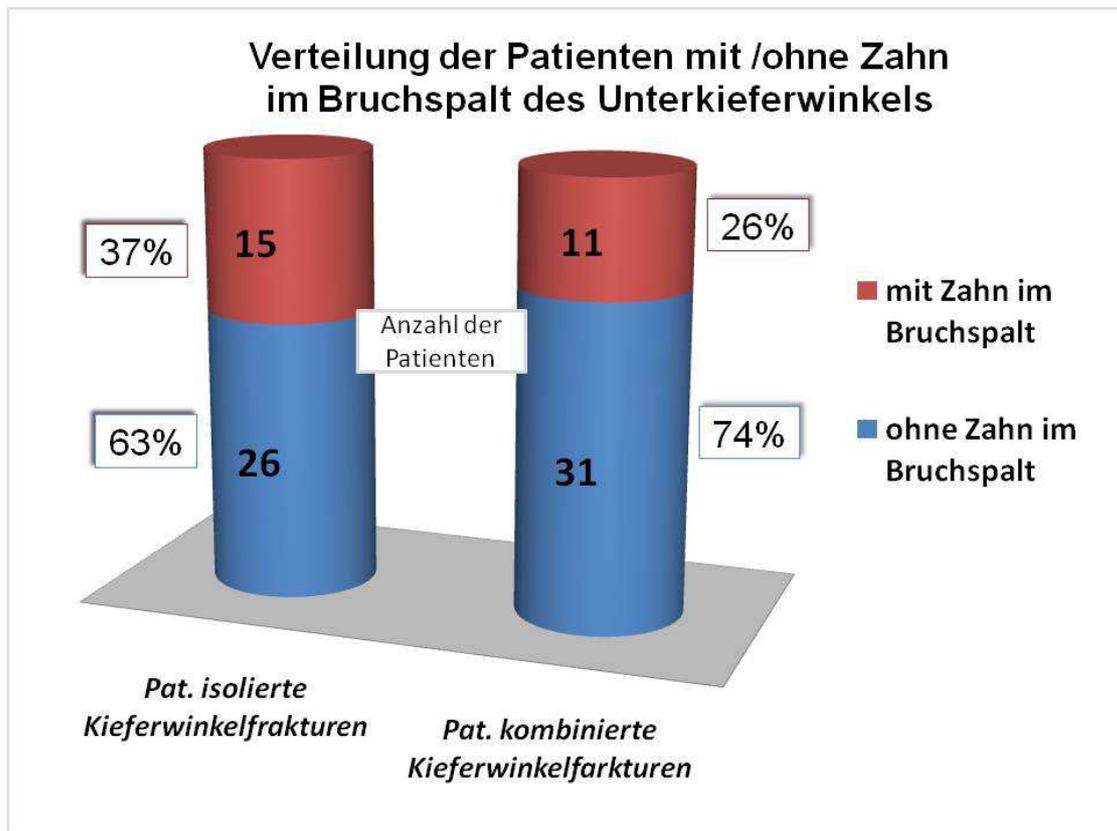
Diagramm Nr. 10:



Diese Auswertung zeigt deutlich, dass eine Verlagerung der Häufigkeit zur linken Unterkieferhälfte besteht. Bei 64% der Patienten mit isolierten- und kombinierten Kieferwinkelbrüchen sind die Frakturen auf der linken Seite zu finden. 4% der Untersuchten zeigten eine beiderseitige Kieferwinkelfraktur. Das bedeutet, dass bei den 83 Patienten insgesamt 86 Kieferwinkelfrakturen zu erkennen waren.

Wenn es zu Kieferwinkelfrakturen kommt, befinden sich oft Zähne im Bruchspalt. Bei 31% der Patienten mit Kieferwinkelfrakturen konnte ein Zahn im Bruchverlauf diagnostiziert werden.

Diagramm Nr. 11:



Der Verbleib oder die Region der Extraktion der Zähne kann mit dem ARCADIS Orbic^{3D} visualisiert und inspiziert werden. Eventuelle Komplikationen können sofort erkannt und behoben (revidiert) werden.

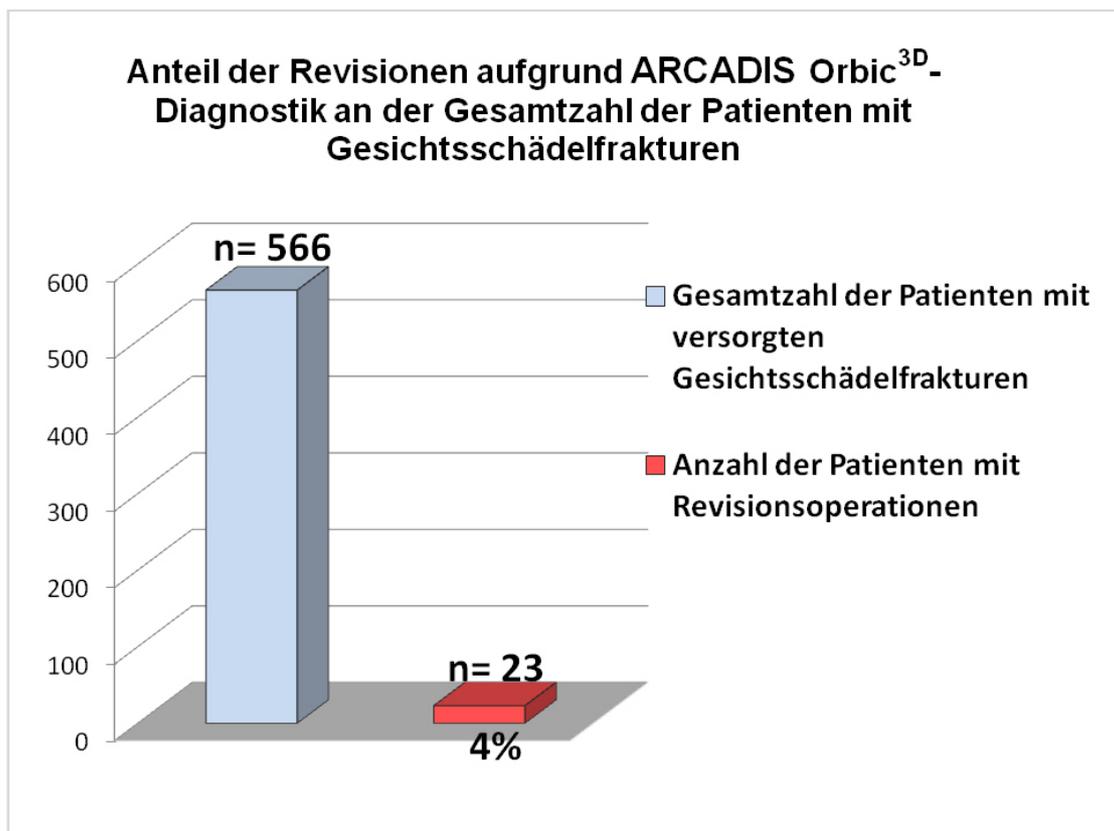
Die Untersuchung mit dem ARCADIS Orbic^{3D} ist nach erfolgter Versorgung für den Verlauf der Genesung des Patienten, insbesondere der Möglichkeit sofortiger Revision bei erkannten Komplikationen, besonders wichtig.

3.3 Intraoperative Revisionen von Kieferwinkelfrakturen aufgrund ARCADIS Orbic^{3D}-Diagnostik

Die Kontrolle der chirurgischen Therapie mit dem ARCADIS Orbic^{3D} ermöglicht bei entsprechender Diagnose eine anschließende intraoperative Revision. Die erstellten Datensätze erleichtern durch die 3D-Visualisierung eine Befundung der betroffenen Region.

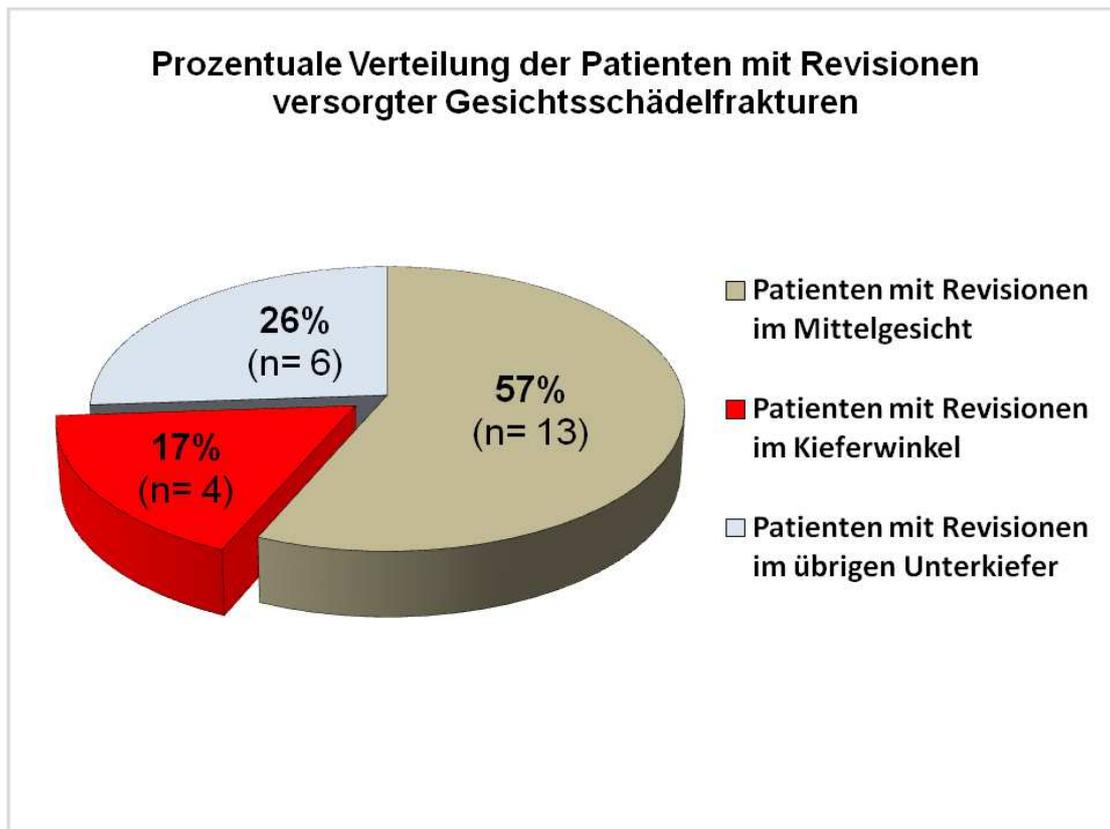
Bei allen 566 in der Gesichtsregion operierten Patienten wurden insgesamt 23 Betroffene aufgrund der erfolgten intraoperativen Diagnostiken revidiert. Das ergibt eine Revisionsquote von 4% der Patienten mit Gesichtsschädelfrakturen.

Diagramm Nr. 12:



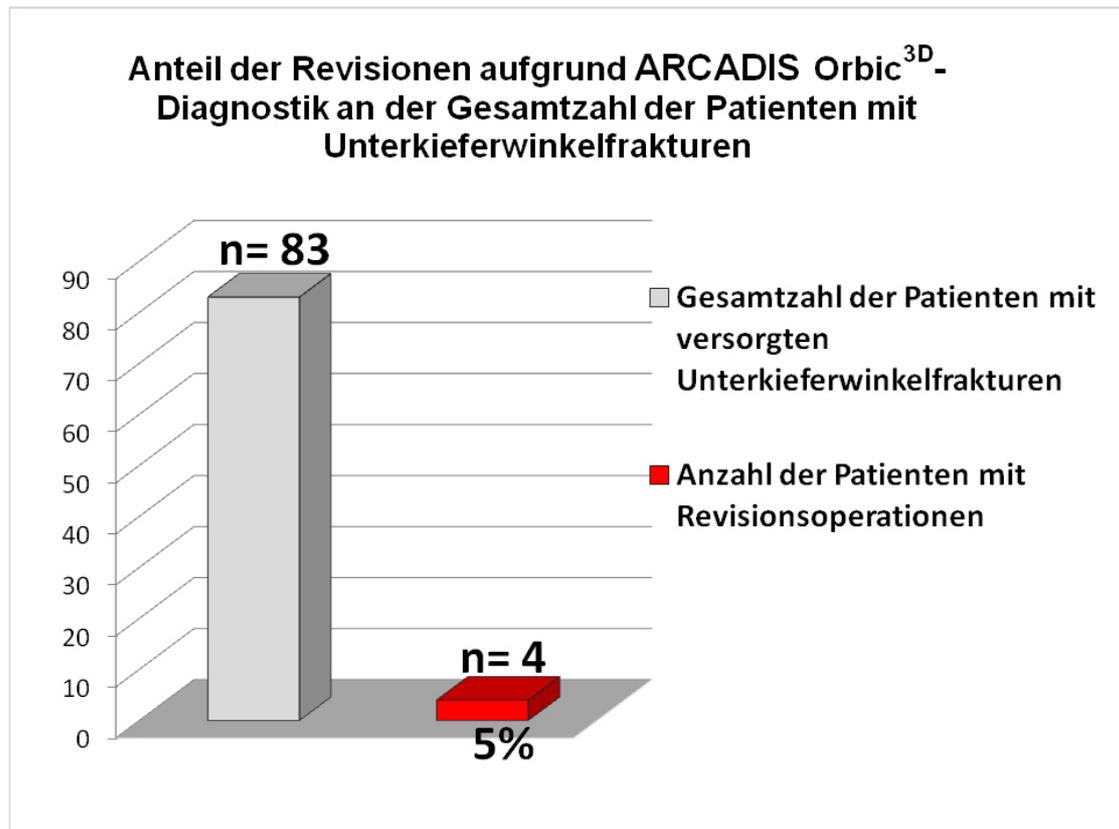
Von den 23 Patienten mit intraoperativen Revisionsoperationen der versorgten Gesichtsschädelfrakturen wurden 13 Patienten mit Mittelgesichtsfrakturen zweitversorgt. Bei vier Patienten waren Revisionen der Frakturen im Kieferwinkelbereich und bei sechs eine Zweitoperation im übrigen Unterkiefer notwendig.

Diagramm Nr. 13:



Bei den 83 Betroffenen mit versorgten Kieferwinkelfrakturen wurden bei drei Patienten eine intraoperative Revision im Jahr 2006 und bei einem Patienten eine sofortige Zweitoperation im Jahr 2007 aufgrund des ARCADIS Orbic^{3D}-Röntgen durchgeführt.

Diagramm Nr. 14:



Somit ergibt sich eine Revisionsrate von 5% der Patienten mit durchgeführten Operationen im Kieferwinkel. Durch den Einsatz des ARCADIS Orbic^{3D} wurde den vier Patienten eine spätere Zweitoperation erspart. Die intraoperativ revidierten Patienten sind alle männlich und waren zum Operationszeitpunkt durchschnittlich 31,3 Jahre (18 – 43 Jahre) alt.

3.5 Intraoperative Abbildungen der therapierten und revidierten Kieferwinkelfrakturen

Die präoperativen Diagnosen, die im Kieferwinkel zur Frakturversorgung und intraoperativer Revision führten, lassen sich wie folgt unterteilen.

Frakturdiagnosen	
Isolierte Kieferwinkelfrakturen	Kombinierte Kieferwinkelfrakturen
<ul style="list-style-type: none"> • Kieferwinkelfraktur mit Z. n. Weisheitszahnosteotomie • Kieferwinkelfraktur mit retiniertem Zahn im Bruchspalt 	<ul style="list-style-type: none"> • Dislozierte UK-Fraktur paramedian und im Kieferwinkel • Unterkiefermehrfragmentfraktur paramedian und im Kieferwinkel (multiple Wurzelreste, Oberkieferfraktur)

Abb. 19: Frakturdiagnosen der mit intraoperativer Revision versorgten Kieferwinkelfrakturen

Jeder dieser Brüche im Kieferwinkel wurde offen reponiert und mit Osteosyntheseplatten versorgt. Anschließend wurde ein 3D-Datensatz zur Kontrolle der Operations- bzw. Revisionsergebnisse des Patienten generiert. Deshalb konnten Frakturkorrekturen der betroffenen Patienten in verbleibender Narkose sofort durchgeführt werden.

1. OP-Verlauf und intraoperative Revisionen bei isolierten Kieferwinkelfrakturen aufgrund von ARCADIS Orbis^{3D}-Diagnostik

a. Kieferwinkelfraktur mit Zustand nach Weisheitszahnosteotomie

Verlauf der OP: Nach Fixierung der Kiefer mit IMF wurde die Fraktur von vestibulär dargestellt. Es zeigte sich ein großer Defekt nach Weisheitszahnosteotomie.

Es wurde dann eine 2.4 -8-Loch-Rekonstruktionsplatte angebogen und diese durch einen transbuccalen Zugang fixiert.

Die intraoperative Röntgenkontrolle mit dem ARCADIS Orbis^{3D} ergab eine gute Plattenposition und eine anatomische Reposition der Fragmente. Allerdings zeigte sich bei der 3D-Visualisierung ein ungünstiger Stand der beiden fraktur nahen Schrauben.

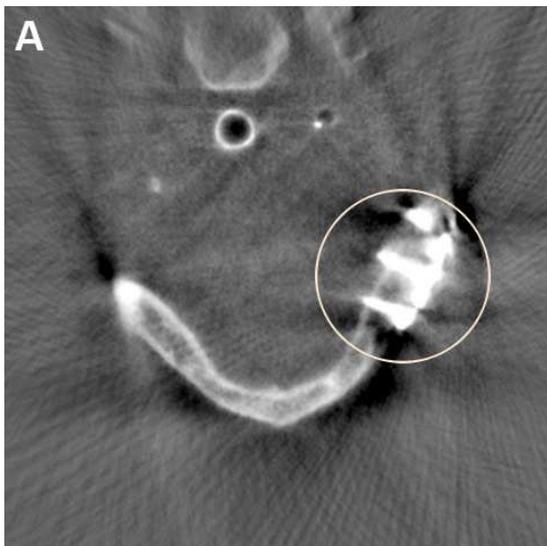


Abb. A: Axiale Schicht des UK vor der Revision. Der markierte Bereich zeigt den nachteiligen Stand der fraktur nahen Schrauben.

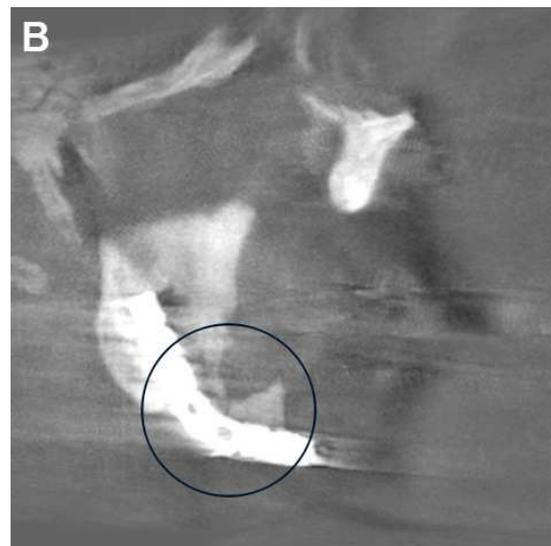


Abb. B: Sagittale Schicht des UK-Winkels vor der Revision. Der markierte Bereich zeigt die Plattenposition mit dem großen Knochendefekt.

Es wurde deshalb mesial ein neues Loch gebohrt und distal eine kürzere Schraube eingesetzt. Nach dem Lösen der IMF und intraoralem Wundverschluss zeigte sich eine habituelle Okklusion.

Der Patient wurde drei Tage nach OP komplikationslos in die ambulante Behandlung entlassen.

b. Kieferwinkelfraktur mit retiniertem Zahn im Bruchspalt

Verlauf der OP: Zuerst wurde eine Stabilisierung des Ober- und Unterkiefers mit einer Drahtbogen-Kunststoff-Schiene nach Schuchardt vorgenommen. Danach erfolgte die Darstellung der Fraktur und die Reposition der Fragmente von intraoral. Anschließend wurde eine 4-Loch-Platte (2/0 Synthes) auf der Linea obliqua fixiert.

Weiterhin wurden zwei Stellschrauben von transbuccal positioniert und eine 5-Loch-Kompressionsplatte am Unterkieferrand angepasst. Die ARCADIS Orbic^{3D}-Durchleuchtung zeigte eine Dehiszenz (Klaffen) der Fragmente am Unterkieferrand. Es erfolgte daraufhin eine Revision der Kompressionsplatte mit anschließender guter habitueller Okklusion.

Nach dem Entfernen der Stellschrauben und des Wundverschlusses wurde die Fraktur durch eine IMF mit Draht ruhig gestellt. Der Zahn wurde im Bruchspalt belassen. Abschließend wurde ein 3D-Datensatz mit dem ARCADIS Orbic^{3D} angefertigt, der die Fragmente in richtiger Position zeigte.

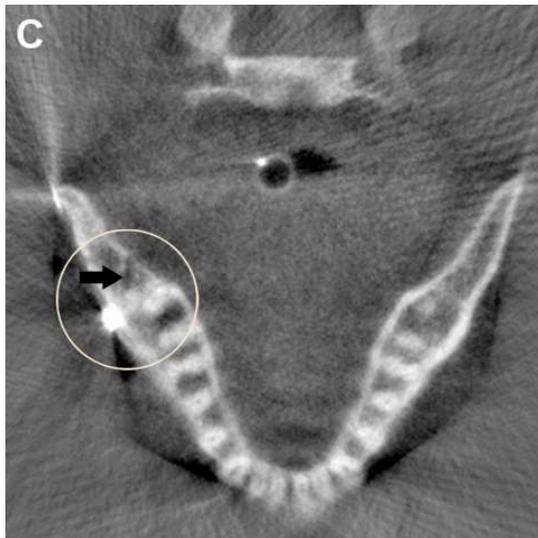


Abb. C: Axiale Schicht des UK nach Revision. Die markierte Region zeigt das gute Revisionsergebnis mit der Frakturlinie und linguale Knochenseite.

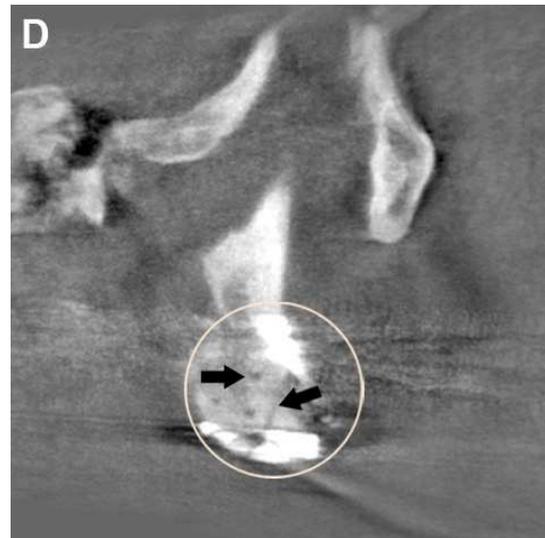


Abb. D: Sagittale Schicht des UK-Winkels nach Revision. Die markierte Region zeigt das Revisionsergebnis mit den Bohrlöchern der Stellschrauben und der Frakturlinie.

Der Patient wurde vier Tage nach OP komplikationslos in die ambulante Behandlung entlassen.

2. OP-Verlauf und intraoperative Revisionen bei kombinierten Kieferwinkelfrakturen aufgrund von ARCADIS Orbis^{3D} – Diagnostik

a. Dislozierte UK-Fraktur paramedian und im Kieferwinkel

Verlauf der OP: Zu Beginn der OP wurde eine Schienung des Ober- und Unterkiefers mit einer Drahtbogen-Kunststoff-Schiene nach Schuchardt vorgenommen. Danach erfolgte die intraorale Darstellung der paramedianen Mandibulafraktur und die Neurolyse des Nervus mentalis. Anschließend wurde die Kieferwinkelfraktur durch einen streng vestibulären Schnitt dargestellt. Die Kiefer wurden durch eine IMF – bei schwierigen okklusalen Verhältnissen - mit Draht fixiert. Die paramediane Fraktur wurde mit zwei Osteosyntheseplatten versorgt; inferior mit einer 6-Loch-Platte mit sechs Schrauben (Synthes 2.0) und superior mit einer 4-Loch-Kompressionsplatte mit vier Schrauben. Im Kieferwinkel erforderten die schwer zu reponierenden und die stark mobilen Fragmente eine Schnitterweiterung. Oberhalb der Linea obliqua wurde eine 6-Loch-Platte fixiert. Dann wurden zwei Stellschrauben von transbuccal eingebracht und die Fragmente über eine Drahtligatur stabilisiert. Die Einbringung einer 6-Loch-Kompressionsplatte an der Kieferwinkelbasis erwies sich als schwierig. Die Stellschrauben wurden entfernt und anschließend eine ARCADIS Orbic^{3D}–Röntgenkontrolle vorgenommen.



Abb. E: Sagittale Schicht des UK-Winkels vor der Revision. Der markierte Bereich zeigt die Fehlposition der Fragmente mit dem deutlichen Frakturspalt und der Plattenosteosynthese.

Es zeigte sich deutlich ein Klaffen im Kieferwinkelbereich. Die Revision erforderte ein erneutes Einbringen der Kompressionsplatte mit anschließenden guten Stellungsverhältnissen.

Der Patient wurde acht Tage nach der OP komplikationslos in die ambulante Behandlung entlassen.

b. Unterkiefermehrfragmentfraktur paramedian und im Kieferwinkel (multiple Wurzelreste, Oberkieferfraktur)

Verlauf der OP: Zuerst wurden die Frakturen im Unterkiefer durch einen beidseitigen Zahnfleischrandschnitt dargestellt. Nach der Neurolyse des Nervus mentalis konnte die paramediane Mandibulafraktur unter Schwierigkeiten reponiert werden. Versorgt wurde der Bruch mit zwei Platten. - Inferior mit 18er-Zugschrauben und einer 6-Loch-Platte und superior mit einer 4-Loch-Platte (Synthes 2.0) -.

Im Kieferwinkel wurde ein putrider Herd festgestellt. Die Reposition der Fragmente war schwierig. Es wurde eine 6-Loch-Platte oberhalb der Linea obliqua fixiert. Durch einen transbuccalen Zugang konnte eine 6-Loch-Dekompressionsplatte in den Kieferwinkel eingebracht werden.

Es erfolgte ein zweimaliges intraoperatives Röntgen. Dieses führte jeweils zur Revision, bei der die Position der Platten und Fragmente korrigiert wurde.

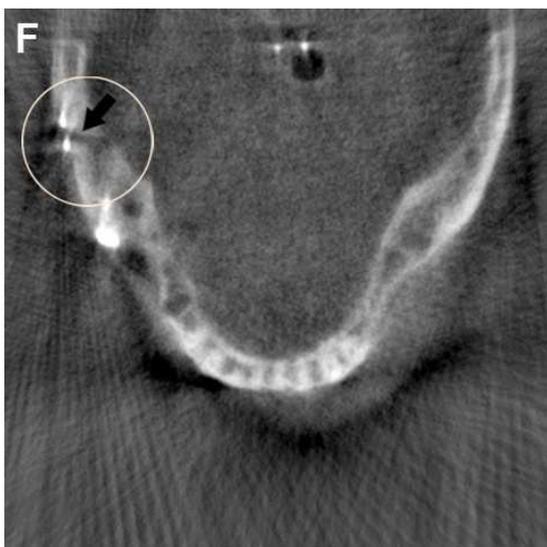


Abb. F: Axiale Schicht des UK nach erster Versorgung. Die markierte Region zeigt die deutliche Fehlposition der Fragmente mit dem Frakturspalt nach Plattenosteosynthese.

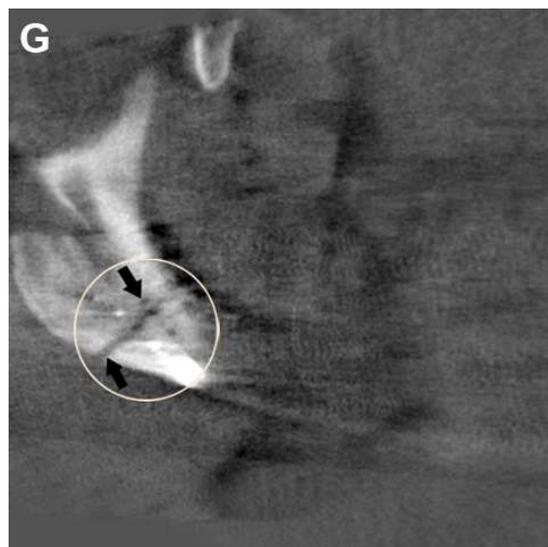


Abb. G: Sagittale Schicht des U-Winkels nach erster Revision. Der markierte Bereich zeigt das Klaffen der Fragmente und die Lage der Bohrlöcher der ersten Versorgung.

Der Patient wurde vier Tage nach der OP komplikationslos in die ambulante Behandlung entlassen.

Neben der Feststellung der Einsatzmöglichkeiten lassen sich durch die Ergebnisse Rückschlüsse ziehen, ob eine verbesserte Versorgungsqualität des Patienten durch den Einsatz des Gerätes erreicht wird.

4 Diskussion

4.1 Unterkieferfrakturen allgemein

Die Mandibulafraktur ist eine häufige Gesichtsverletzung (*Lee 2008, Brasileiro & Passeri 2006*). Das zeigt auch die vorliegende Untersuchung. Trotz der Tatsache, dass es sich um den stärksten und schwersten Gesichtsknochen handelt, ist der Unterkiefer aus spezifischen Gründen anfällig für Frakturen durch stumpfe Gewalt (*Greene et al. 1997*). Einerseits handelt es sich um einen offenen Bogen mit exponierter Lage im unteren Teil des Gesichtes. Andererseits kommt es aufgrund der Atrophie im Alter und der schnellen Folge von Hyperextension zu Hyperflektion des Kopfes, z.B. bei Autounfällen, öfter zu Frakturen in dieser Region (*Patrocínio et al. 2005*).

Die im Zeitraum vom 20.05.2005 - 28.10.2008 in der NWDKK Hamburg-Eppendorf postchirurgisch und intraoperativ generierten ARCADIS Orbic^{3D}-Datensätze von 566 Patienten mit versorgten Gesichtsschädelfrakturen ermöglichen eine Auswertung der Frakturhäufigkeiten. Die ausgewertete Häufigkeit der Betroffenen mit diagnostizierten Unterkieferfrakturen dieser Studie lässt sich mit den diskutierten Werten anderer Autoren (zwischen 33 - 50%) vergleichen. Sie liegt etwa im mittleren Bereich mit 39% (223) der Patienten mit Gesichtsschädelfrakturen (*Afzelius & Rosén 1980, de Matos et al. 2010, Özkaya et al. 2009, Yamamoto et al. 2010, Antoun & Lee 2008*). Nach der Studie von *Depprich et al. (2007)* blieb in einem Zeitraum von 10 Jahren der Anteil von UK-Frakturen an Gesichtsschädelfrakturen im Mittel mit 40,7% sehr konstant.

Die Ätiologie und Epidemiologie von Unterkieferfrakturen variieren je nach Land, Religion, sozioökonomischen Status, Kultur und geografischer Region (*Motamedi 2003, Afzelius & Rosén 1980*). Die Dominanz des männlichen Geschlechts bei Unterkieferfrakturen wird in der Literatur jedoch als allgemeingültig beschrieben (*Bormann et al. 2009, Haug et al. 1990, Ellis et al. 1985, Tanaka et al. 1994*). In dieser Studie beträgt das Verhältnis zwischen Männern und Frauen 5,4:1 bei einem Durchschnittsalter von 37,8 Jahren.

Die vergleichende Studie von Simsek et al. (2007) bestimmte bei den Unterkieferfrakturen in der Türkei ein niedrigeres männlich-weiblich-Geschlechterverhältnis, und zwar von 3,2:1, mit einem hohen Anteil von Patienten im Alter von 30 - 39 Jahren. Dagegen ergaben sich in den USA ähnliche Verteilungen wie in dieser Studie, mit einer Rate von 5,5:1, jedoch bei einem Durchschnittsalter von 30,4 Jahren.

Ogundare et al. (2003) ermittelte ein hohes Aufteilungsverhältnis Männer zu Frauen von 6,5:1 und zeigte, dass die Inzidenz von Mandibulafrakturen in der Gruppe der 25 - 34-jährigen Personen mit 37% am größten war. In dieser Untersuchung ist die Patientengruppe im Alter von 15 - 24 Jahren mit 46% am häufigsten von Unterkieferfrakturen betroffen. Die Ergebnisauswertung von Bormann et al. (2009) ergab eine ähnlich Aufteilung, und zwar mit der höchsten Anzahl von Patienten in der Gruppe der 16 – 25-jährigen, die hier 32% der Gesamtzahl ausmachen. Dieser Gesellschaftsanteil ist sehr aktiv und es kann vermutet werden, dass die hohe Inzidenz durch die in der Literatur angegebenen Ursachen wie Körperverletzungen, Stürze sowie Verkehrs- und Sportunfälle begründet ist (Bormann et al. 2009, Moreno et al. 2000, Depprich et al. 2007, Scherer et al. 1989).

4.2 Unterkieferwinkelbrüche speziell

Die Auswertung des Patientengutes bezüglich der Frakturhäufigkeiten im Unterkiefer zeigte, dass der Kieferwinkel unter den isolierten Frakturen die höchste Bruchrate aufweist. Von den 223 therapierten Patienten mit Unterkieferfrakturen zeigten 18,4% (41) einen isolierten Unterkieferwinkelbruch. Das entspricht einem Anteil von 7% an allen versorgten Patienten mit Gesichtsschädelbrüchen. Gefolgt wird das Ergebnis von den Betroffenen mit einzelnen Frakturen im Collum- und Corpusbereich. Zu dieser Reihenfolge der häufigsten Frakturlokalisationen kommt auch Lee (2008), der 1045 Patienten mit Mandibulafrakturen auswertete. Trotz unterschiedlicher Rangfolge wurde der Kieferwinkel in der Literatur immer wieder als die Region im Unterkiefer analysiert, die am häufigsten frakturiert (Ogundare et al. 2003, Boole et al. 2001, Sakr et al. 2006, Lamphier et al. 2003, Fridrich et al. 1992, Atanasov 2003, Cabrini Gabrielli et al. 2003).

Die Werte liegen in der genannten Literatur im Mittel bei 31% aller Unterkieferfrakturen. Nach Fox & Kellman (2003) beträgt der Anteil der Unterkieferwinkelfrakturen an Mandibulatraumata 23% - 42%.

Dabei ist jedoch die Art der Frakturaufteilung - z.B. nach Dingman und Natvig 1969 (Anatomische Klassifikation) - zu berücksichtigen, die keine weitere Unterteilung der Patienten nach Frakturkombinationen beinhaltet. Wendet man die anatomische Klassifikation auf die hier vorliegende Patientengruppe an, so ergeben sich 83 Patienten mit 86 Kieferwinkelbrüchen.

Die 83 Betroffenen mit Kieferwinkelfrakturen setzen sich demnach zusammen, aus den Patienten mit isolierten Kieferwinkelfrakturen (18,4%) und solchen, die eine Frakturkombination (18,8%) zeigen. Somit erhöht sich die Zahl der Patienten auf 37,2%. Dieses Ergebnis entspricht den diskutierten Werten anderer Autoren und macht in dieser Studie den höchsten prozentualen Anteil an Untersuchten mit UK-Frakturen aus (Ogundare et al. 2003).

Die Mandibula frakturiert demnach oftmals an mehr als einer Stelle, so dass Frakturkombinationen nicht selten sind. Die Kombination - *Kieferwinkel links / paramedian rechts* - tritt in dieser Studie besonders häufig auf und macht den Großteil mit 48% unter allen Frakturkombinationen aus. Im Allgemeinen ist der Kieferwinkel besonders häufig an Frakturkombinationen beteiligt. Vielfach ist ein Zusammenhang mit der parasymphysealen Gegenseite des Unterkiefers zu beobachten (King et al. 2004, Özkaya et al. 2009, Depprich et al. 2007, Fox & Kellman 2003). Die typische Bruchkausalität dieser Kombination ist, wie im Kieferwinkel allgemein, die Körperverletzung bzw. der Faustschlag in das Gesicht (Larsen & Nielsen 1976, Bormann et al. 2009, Barry & Kearns 2007).

Die Studien von Fridrich et al. (1992), Asadi & Asadi (1996) und Boole et al. (2001) bestätigen die starke Abhängigkeit zwischen Frakturen im Angulus mandibulae und körperlicher Auseinandersetzung. Es ist zu beobachten, dass die Studien, die überwiegend auf städtische Patientendaten basieren, gewalttätige Übergriffe als vorherrschenden Mechanismus bei Unterkieferfrakturen zeigen (Haug et al. 1990, Olson et al. 1982, Erdmann et al. 2008). Die Ätiologie dieser Frakturen erklärt möglicherweise auch die in dieser Untersuchung gesammelten Ergebnisse bezüglich der geschlechterspezifischen Verteilung, des Alters der Patienten und der Häufigkeit der Frakturseite.

Es zeigte sich eine deutliche Überzahl an männlichen Patienten. 90% aller Betroffenen mit diagnostizierten Kieferwinkelfrakturen sind dem männlichen Geschlecht zuzuordnen. Das Verhältnis von Männern zu Frauen beträgt 9,4:1.

Die Analyse der einschlägigen Literatur im Hinblick auf die Geschlechterverteilung bei Unterkieferwinkelfrakturen verdeutlicht, dass der Großteil des betroffenen Geschlechts männlich ist und im Mittel bei etwa 84% der behandelten Patienten liegt (*Siddiqui et al. 2007, Ellis 2002, Feller et al. 2003, Seemann et al. 2010, Paza et al. 2008*).

Die retrospektive Analyse von Gravanis (2008) über chirurgisch und osteosynthetisch versorgte Kieferwinkelfrakturen, unter Berücksichtigung des klinischen und radiologischen Verlaufes an der NWDKK Hamburg-Eppendorf, ergab ein Geschlechterverhältnis Männer zu Frauen von 10,4:1. Das Durchschnittsalter lag bei 29 Jahren.

Das Alter der Patienten in der Gruppe mit Kieferwinkelfrakturen in dieser Untersuchung ist durchschnittlich 26,8 Jahre. Patienten, die sich in der zweiten und dritten Dekade ihres Lebens befinden, sind besonders häufig von Unterkieferfrakturen betroffen (*Simsek et al. 2007, Dongas & Hall 2002, Sojot et al. 2001, Patrocínio et al. 2005*). In dieser Analyse befanden sich fast 46% der Patienten mit Kieferwinkelfrakturen in der zweiten Dekade ihres Lebens. Gefolgt wird diese Gruppe von den Patienten, die sich in der ersten Dekade ihres Lebens befinden und fast 30% ausmachen.

Bei der Betrachtung der Seitenverteilung der Frakturen ist der linke Kieferwinkel generell öfter betroffen. (*Schaaf et al. 2010, Paza et al. 2008, Feller et al. 2003*). In dieser Auswertung ist die linke Seite zu 64% bei den Patienten mit isolierten- und kombinierten Kieferwinkelfrakturen beteiligt. 4% der Betroffenen zeigten einen beiderseitigen Bruch des Unterkieferwinkels.

Einen Einfluss auf die Lokalisation der Fraktur haben letztlich retinierte und impaktierte Weisheitszähne sowie die Stellung vorhandener dritter Molaren (*Subhashraj 2009, Duan & Zhang 2008, Hanson et al. 2004, Fuselier et al. 2002*). Dabei können Patienten mit impaktierten Weisheitszähnen bis zu dreimal häufiger Kieferwinkelfrakturen entwickeln (*Thangavelu et al. 2010*).

Die Majorität der Patienten mit Frakturen in der Kieferwinkelregion in dieser Untersuchung weisen keine Zähne im Bruchspalt auf. Nur bei 31% der Betroffenen sind Zähne in der Bruchlinie zu erkennen. In der Veröffentlichung von Barry & Kearns (2007) waren 94% der Kieferwinkelbrüche mit Weisheitszähnen assoziiert.

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass der „typische UK-Kieferwinkelbruch-Patient“ männlich und zwischen 20 und 29 Jahre alt ist.

Es besteht ein häufiger Kausalzusammenhang von Rohheitsdelikten und UK-Frakturen. Durch einen mit rechts ausgeführten Schlag an den Unterkiefer wird mit großer Wahrscheinlichkeit ein linksseitiger Unterkieferwinkelbruch mit einem dritten Molaren im Bruchspalt zur Folge haben.

4.3 ARCADIS Orbic^{3D}

Die offene Reposition und rigide Stabilisierung von Kieferwinkelbrüchen mit modernen Osteosynthesesystemen hat sich in der ZMGK-Chirurgie durchgesetzt. So wurden alle in dieser Studie ausgewerteten Kieferwinkelbrüche in der NWDKK Hamburg-Eppendorf durch eine offene Reduktion mit anschließender Osteosyntheseversorgung stabilisiert.

Grundsätzlich muss zur Anfertigung von postoperativen Röntgenbildern eine Indikation bestehen, die einen Nutzen für den Patienten bedeutet. Die Lagekontrolle nach Plattenosteosynthese im Unterkiefer ist nach Durham (2006) eine solche Rechtfertigung. Aufgrund der Besonderheit des Kieferwinkels und der hohen postchirurgischen Komplikationsrate bei Brüchen in dieser Region ist eine radiologische Therapiekontrolle von besonderer Wichtigkeit (Stone et al. 1993, Iizuka et al. 1991, Chuong et al. 1983, Soriano et al. 2005, Lamphier et al. 2003). Außerdem wird durch den Trend zu minimalinvasiven Operationstechniken die direkte Sicht des Chirurgen auf den Operationssitus erschwert. Gerade im Kieferwinkel ist die Beurteilbarkeit des Repositionsergebnisses und der Ausschluss von fehlplatziertem Osteosynthesematerial beeinträchtigt. Ein intraoperativer Revisionsbedarf ist daher kein seltenes Phänomen. Dabei werden an die postchirurgische Bildgebung hohe Maßstäbe gesetzt. Die konventionellen Darstellungsmöglichkeiten stoßen hier aufgrund ihrer Zweidimensionalität oft an ihre Grenzen.

Der CT-Indikation ist aus ökonomischen und strahlenhygienischen Gründen ein enger Rahmen gesetzt. Für die unfallchirurgische Diagnostik, besonders bei Trümmerbrüchen im Gesichtsschädel sowie zur präoperativen Planung, ist die CT jedoch immer noch das Mittel der Wahl (*Klenk & Kovacs 2004, Manson et al. 1990*).

Die Geschichte des ARCADIS Orbic^{3D} zeigt, dass die Entwicklung eines neuen Gerätetyps abzusehen war. Dem Anspruch, während der OP nicht nur C-Bogen-Durchleuchtungsbilder mit schlechterer Auflösung, sondern jederzeit aktualisierbare CT-Schnittbilder mit 3D-Visualisierung bereitzustellen, sollte damit Genüge getan werden. Die Betriebskosten, die Strahlenexposition des Personals und Patienten, sowie die Positionierungszeit sind bei anderen vergleichbaren intraoperativen Systemen höher (*Hoelzle et al. 2001*).

Die Konstruktion eines beweglichen Prototyps zur intraoperativen Bildgebung konnte unter Verwendung der CBCT-Technik ermöglicht werden. Ursprünglich wurde diese für die dentomaxillofaciale Region entwickelt (siehe Einleitung). Die klinische Einsetzbarkeit des Cone-Beam-Computer Tomographen in der oralen und maxillofacialen Chirurgie ist vielfältig und in der Literatur häufig thematisiert worden (*De Vos et al. 2009, Jayaratne et al. 2010*).

In dieser Untersuchung ist der Nutzen der DVT bei knöcherner Verletzung im Gesicht von besonderem Interesse und wurde von einigen Autoren beschrieben (*Flinzberg et al. 2003, Heiland et al. 2004, Shintaku et al. 2009*). Der ARCADIS Orbic^{3D} ist hier bei 76% der Patienten zur Frakturdiagnostik am Gesichtsschädel eingesetzt worden. Die Vorteile dieser Technik liegen nicht nur in der hohen räumlichen Auflösung, dem geforderten geringen Platzbedarf und der damit erreichbaren Mobilität, sondern auch in der Reduzierung der Anschaffungs- und Betriebskosten (*Sukovic 2003, Eggers et al. 2007*). Der 3D-C-Bogen lässt sich gut in den Arbeitsplan integrieren und verbessert den Workflow.

In den erwähnten präklinischen und klinischen Studien sowie in weiteren neueren Untersuchungen wurde die Gleichwertigkeit bezüglich der Bildqualität gegenüber der CT deutlich (*Schulze et al. 2005*). In der Untersuchung von Heiland et al. (2004) konnte eine angemessene postoperative Bewertung der Frakturversorgung im zygomaticomaxillären Komplex mit dem DVT festgestellt werden.

Weiterhin stellte sich eine Verringerung der Strahlendosis und der Metallartefakte im Vergleich mit der CT heraus (*Loubele et al. 2009, Silva et al. 2008, Chau et al. 2009, Stuehmer et al. 2009, Ludlow et al. 2008*). Im Allgemeinen ist die bei der CBCT erzeugte effektive Strahlendosis um das 8 – 10-fache niedriger, als die bei der CT-Untersuchung entstehende Dosis (*Tsiklakis et al. 2005, Linsenmaier et al. 2002*).

Nicht nur die Minimierung des Sichtfeldes führt zu einer Verringerung der radiologischen Belastung. Durch die exakte Begrenzung des Sichtfeldes im Bereich des Kieferwinkels lassen sich gegebenenfalls auch besonders strahlensensible Organe wie etwa die Schild- und Speicheldrüse vor einer direkten Strahlenexposition bewahren.

Von großer Bedeutung ist die Verminderung der Strahlenexposition bei Kindern und Jugendlichen. Deshalb ist diese diagnostische Möglichkeit für solche Personengruppen besonders interessant (*Cha et al. 2007*). Allerdings ist das Risiko der Entstehung von Krebserkrankungen aufgrund der CBCT, insbesondere bei Kindern, nicht präzise bekannt (*Brooks 2009*).

Die Evaluation der Weichgewebe ist jedoch nach Meinung von Autoren wie *Carrafiello et al. (2010)* immer noch eine Indikation für eine CT. Die Anwendung der CBCT-Technik zur gezielten Abbildung von Weichgewebe stellt eine Erweiterungsmöglichkeit dar. Um eine weichteilgerechte Auflösung zu erreichen, sind hochleistungsfähige Flat-Panel-Detektoren (17 bit) notwendig (*Pohlenz et al. 2009*).

Weiterhin zeigte sich die Überlegenheit dieser Technik gegenüber der 2D-Konventionellen-Radiographie. Der Vorteil ist die Möglichkeit zur Optimierung der Operation durch eine schnellere und genauere echtzeitfähige Bildgebung (*Quereshy et al. 2010, Barghan et al. 2010*). Die Volumentomographie ermöglicht z.B. eine wesentlich bessere Beurteilung der Lage des Mandibularnerves und impaktierter Weisheitszähne als eine konventionelle Panoramaschichtaufnahme (*Tantanapornkul et al. 2007, Ghaeminia et al. 2009*).

Wie bei jeder Röntgenuntersuchung gilt auch bei der 3D-Anwendung der DVT grundsätzlich das ALARA- (As low as reasonably achievable-) Prinzip, um eine rechtfertigende Indikation zu definieren (*Farman & Scarfe 2006*).

Das bedeutet, dass zur Beantwortung der gestellten Frage, die Anwendung mit der geringsten Strahlendosis zu erfolgen hat und gleichzeitig eine suffiziente Abbildungsqualität zeigt (Farman 2005). Bei entsprechendem Informationsbedarf ist die höhere Strahlenbelastung der CBCT, im Vergleich zur konventionellen Radiographie, hinsichtlich der Mehrdimensionalität mit hochauflösender und überlagerungsfreier Darstellung von Hart- und Weichgeweben, zu rechtfertigen (Korbmacher et al. 2007).

Schon 2002 zeigte die Studie von Ziegler et al. anhand von vier vorgestellten klinischen Fällen, dass die DVT (NewTom Model QR-DVT 9000, NewTom AG, Marburg, Germany) in der ZMKG-Chirurgie von Vorteil ist.

Bei einer Mandibulafraktur des rechten Kieferwinkels sowie der linken paramedialen Region konnte der anteriore Anteil und das temporomandibular Gelenk mit einer PSA nicht ausreichend visualisiert werden. Mit der 3D-Darstellung war die Bewertung der Bereiche ohne weitere Strahlenexposition möglich und es stellte sich zusätzlich ein kleines Fragment am linken Unterkieferrand dar. Es wurde deutlich, dass bei komplexen Gesichtsfrakturen die Standardbildgebung dem 3D-Verfahren unterlegen ist.

Die Untersuchung von Liang et al. (2009) vergleicht die Bildqualität und Sichtbarkeit der anatomischen Strukturen im Unterkiefer zwischen fünf Cone-Beam-CT-Scannern und einem Multi-Slice-CT (MSCT). Er kommt zu dem Ergebnis, dass die CBCT-Bildqualität, trotz einiger Schwankungen zwischen den verschiedenen Systemen, der MSCT vergleichbar oder ihr sogar überlegen ist. Angesichts der geringen Strahlendosis und der hochauflösenden Bildgebung konnte die CBCT für die dentomaxillofaciale Radiologie als vorteilhaft bewertet werden.

Der Einsatz der mobilen C-Bogentechnik mit 3D-Visualisierung hat sich seit einigen Jahren in der Chirurgie zur intraoperativen Diagnostik und Versorgungskontrolle etabliert (Wich et al. 2004). Die Verwendung der CBCT beim SIREMOBIL Iso-C^{3D} und dem Nachfolgemodell ARCADIS Orbic^{3D} versprach einiges Potential für die Anwendung in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Seit der Einführung dieser Geräte sind mehrere Studien über die Anwendungsmöglichkeiten und Darstellungsqualität in der Gesichtsregion veröffentlicht worden.

Die Studie von Heiland et al. (2003) vergleicht die rekonstruierten 3D-Datensätzen von menschlichen Gesichtsschädeln des SIREMOBIL Iso-C^{3D} und einer CT bezüglich ihrer Bildqualität und Beurteilbarkeit miteinander. Die Resultate der Fragestellung ergaben, dass dieses Gerät mit einem Standard-CT vergleichbar ist und die Knochenstrukturen klar erkannt und ausgewertet werden konnten. In einer weiteren Veröffentlichung desselben Autors 2004 zeigte sich in der Fallbeschreibung einer mit Osteosynthesplatten versorgten Kieferwinkelfraktur die gute intraoperative 3D-Darstellbarkeit und Beurteilung dieser sonst schwierig visualisierbaren Region (Heiland et al. 2004).

Der direkte Vergleich des SIREMOBIL Iso-C^{3D} mit dem etablierten CBCT-System NewTom 9000 ergab die Gleichwertigkeit der Darstellungsqualität mit dem Vorteil der Mobilität (Schulz et al. 2005).

Im Hinblick auf die Strahlenexposition des SIREMOBIL Iso-C^{3D} im schnellen Modus (50 Projektionen) ist diese nur geringfügig höher als bei einer konventionellen PSA (Heiland et al. 2004). Die PSA ist nach Jain & Alexander (2009) die häufigste prä- und postoperativ angefertigte Röntgenaufnahme. Die einfache intraoperative Handhabung des Gerätes, bei gleichzeitig geringerer Strahlenexposition und Metalartefakten im Vergleich zur CT, erklärt den vorteilhaften Einsatz zur Revisionschirurgie (Heiland et al. 2005).

Mit der Weiterentwicklung des SIREMOBIL Iso-C^{3D} zum ARCADIS Orbic^{3D} wurde die Einsetzbarkeit in der UK-Region immer deutlicher. Das Nachfolgegerät weist eine verbesserte Bildqualität mit höherer Auflösung und besseren Kontrasten sowie weniger Artefakten auf. Nach Fox (2008) liefert der ARCADIS Orbic^{3D} eine exzellente 2- und 3D-Bildqualität von den Knochenstrukturen des menschlichen Kopfes.

Das verwendete System konnte auch in dieser Studie alle relevanten Informationen zur Kieferwinkelsituation in guter Bildqualität liefern. Im Vergleich zum Vorgängermodell machen die kürzen Bildakquisitions- und Rekonstruktionszeiten das Gerät noch effizienter.

Das klinische Indikationsspektrum im Gesichtsschädel wurde von Pohlenz et al. (2007) anhand von 179 CBCT-Scans erfasst.

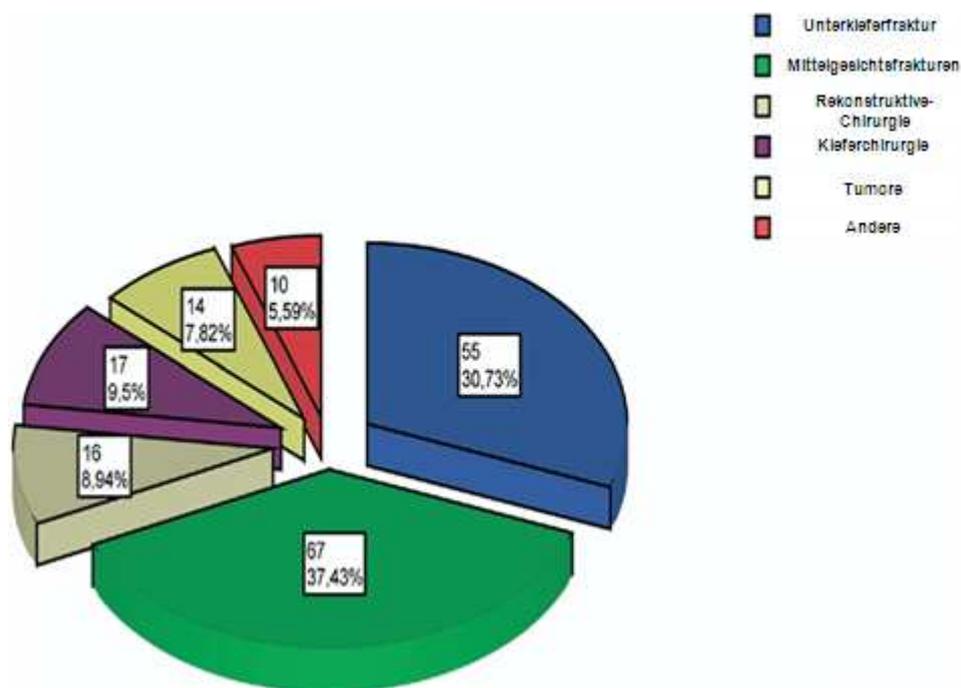


Abb. 20: Verteilung der klinischen Indikationen anhand von 179 intraoperativ erfasster DVT-Scans

(Pohlenz et al. 2007)

Wie zu erkennen ist, wurde der ARCADIS Orbic^{3D} zu einem Großteil (30,73%) zur Diagnostik im Unterkiefer eingesetzt.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch diese Untersuchung. Das mobile CBCT wurde zu 39% zur intraoperativen Versorgungskontrolle am Unterkiefer genutzt und konnte so zur Verhinderung von späteren Zweitoperationen beitragen. Die Bildqualität erlaubte in allen Fällen eine Beurteilung des Frakturspaltes und der Position der Fragmente.

Aufgrund der geringen Metallartefakte konnte die Lage der Plattenosteosynthese und der angrenzenden Strukturen kontrolliert werden.

Schon in der Studie von Wich et al. (2004) ergab sich aufgrund der seit 2001 gesammelten Ergebnisse mit der intraoperativen Bildgebung (Iso-C^{3D}) insgesamt eine Revisionsrate von 7,3%. Diese Rate bezog sich auf unbefriedigende Fraktur- und Implantatpositionierung in der orthopädischen Chirurgie.

Untersuchungen über mobile Computertomographen und dabei ermittelter intraoperativer Revisionsraten von Gesichtsschädelfrakturen bzw. Kieferwinkelfrakturen sind selten. Eine Diskussion der ermittelten Ergebnisse ist somit schwierig und erlaubt wenig vergleichende Rückschlüsse.

In dieser Studie ergab sich durch intraoperative ARCADIS Orbic^{3D}-Diagnostik eine Revisionsquote von 4% von allen versorgten Gesichtsschädelfrakturen. Hoelzle et al. (2001) ermittelte durch intraoperative CT-Scans (Tomoscan M) von offen versorgten Orbitafrakturen eine Revisionsrate von 15%. Eine ähnliche Analyse von Stanley (1999) über ebenfalls intraoperativ untersuchte Orbita-Jochbeinfrakturen mit dem gleichen CT zeigte ein Revisionsbedürfnis von 16%. In der neueren Veröffentlichung von Klatt (2010) zeigte die Anwendung des ARCADIS Orbic^{3D} im Bereich des schwer abzubildenden Unterkiefergelenkfortsatzes, dass bei 11,8% der Patienten eine intraoperative Revisionsoperation notwendig war.

Pohlenz et al. (2008) machte in seiner Untersuchung deutlich, dass der Einsatz des ARCADIS Orbic^{3D} gerade in der Unterkieferchirurgie besonders hilfreich ist. Die Osteosyntheseversorgung und die linguale Knochenseite bei Winkelfrakturen konnten postoperativ einfach visualisiert und suffizient beurteilt werden. Zum gleichen Ergebnis kommt auch diese Studie. Durch die mögliche Ansicht der Frakturen in den verschiedenen Schnittebenen wird die Begutachtung erleichtert und Versorgungsfehler schneller sichtbar. Zur Vermeidung von Komplikationen sind die Lage der Osteosyntheseplatten sowie die Stellung der reponierten Fragmente, besonders im Kieferwinkelbereich, von einem großen Interesse.

Verschiedene Autoren berichten von Zweiteingriffen aufgrund dieser Schwierigkeiten. Feller et al. (2003) berichtet, dass 1% der mit einer Miniplatte versorgten Kieferwinkelfrakturen eine Revisionsoperation benötigten. Paza et al. (2008) ermittelte, dass 3.1% der chirurgischen Eingriffe am Kieferwinkel revidiert werden mussten. Seemann et al. (2010) bestimmte eine Revisionsquote von 6,1 %.

Diese vorliegende Analyse ergab, dass durch den intraoperative Einsatz des ARCADIS Orbic^{3D} bei 5% der Patienten mit therapierten Kieferwinkelfrakturen eine spätere Revisionsoperation verhindert werden konnte.

Diese Werte lassen erkennen, dass in einem erheblichen Teil der Fälle ein akuter Revisionsbedarf besteht. Die hilfreichen diagnostischen Möglichkeiten des ARCADIS Orbic^{3D} sind somit in dieser Region besonders wichtig. Anschließende Revisionsoperationen als Zweiteingriff in Intubationsnarkose konnten aufgrund suffizienter intraoperativer Untersuchungen vermieden werden. Die Versorgungsqualität des Patienten wurde so verbessert und zusätzliche postoperative CT-Untersuchungen mit höherer Strahlenexposition und Kosten entfallen.

Dabei hat diese Untersuchungsmethode einen hohen Stellenwert für den Patienten, da mögliche Komplikationen und langfristige Schäden bei späteren Zweiteingriffen schwer einschätzbar sind.

5 Zusammenfassung

Die intraoperative Diagnostik in der ZMKG-Chirurgie zur Verhinderung von Zweiteingriffen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Schon das Vorgängermodell des ARCADIS Orbic^{3D} zeigte seine Vorteile der 3D-Darstellung in CT-Qualität unter Verwendung der CBCT-Technik bei geringerer Strahlenexposition. Das isozentrische Konstruktionsprinzip des mobilen C-Bogens und die schnelle Datenerfassung ermöglichen eine einfache Integration in den Arbeitsplan und verbessern den Workflow. Der Einsatz des Gerätes zur intraoperativen Kontrolle von therapierten Kieferwinkelfrakturen ist aufgrund der hohen Komplikationsrate dieses Frakturtyps von besonderer Wichtigkeit.

Die im Zeitraum vom 20.05.2005 - 28.10.2008 in der NWDKK Hamburg-Eppendorf postchirurgisch und intraoperativ generierten ARCADIS Orbic^{3D}-Datensätze von 566 versorgten Patienten mit Gesichtsschädelfrakturen wurden nach ihrer Lokalisation aufgeteilt. Diese Aufteilung erlaubt eine Übersicht der klinischen Anwendbarkeit des Gerätes im Hinblick auf die verschiedenen Frakturgruppen. Die Auswertung ergab 223 Patienten mit Unterkieferfrakturen. Die 83 Patienten mit 86 Unterkieferwinkelfrakturen (75 männliche und 8 weibliche Patienten), wurden separat betrachtet. Die 3D-Scans erlauben eine Beurteilung des Frakturspaltes sowie die Lage des Osteosynthesmaterials und der reponierten Fragmente. Die exzellente Bildqualität mit geringen Metallartefakten vereinfacht die Begutachtung des Therapieergebnisses.

Der regelhafte Einsatz der intraoperativen 3D-Darstellung ergab eine Revisionsrate von 5% der Patienten mit Kieferwinkelfrakturen. Die Frakturen dieser Betroffenen konnten aufgrund der ARCADIS Orbic^{3D}-Diagnostik sofort zweitversorgt werden und die Vorteile für Patienten und Klinik sind ersichtlich.

Letztendlich ist erkennbar, dass der ARCADIS Orbic^{3D} mit seiner Einsetzbarkeit in der Kieferwinkelregion ein Gerät zur suffizienten Bildgebung darstellt.

Die intraoperative Handhabung gibt dem Operateur weitere Möglichkeiten zu sofortigen chirurgischen Maßnahmen unter Schonung des Patienten. Daher ist eine zukünftige routinemäßige Nutzung der auf C-Bogen basierenden CBCT in anderen Kliniken zur intraoperativen Therapiekontrolle in der ZMKG-Chirurgie denkbar.

6 Abkürzungsverzeichnis

2D/3D	=	zweidimensional/dreidimensional
Abb.	=	Abbildung
ALARA	=	As low as reasonably achievable
AO	=	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese
Bd.	=	Band
Bit	=	Binary Digit (Maßeinheit für die Datenmenge)
CBCT	=	Cone Beam Computed Tomography
cm	=	Zentimeter
CT	=	Computertomographie
DCP	=	Dynamic Compression Plate
DICOM	=	Digital Imaging and Communications in Medicine
DVT	=	Volumetomographie
EASY	=	Enhanced Acquisition System
Hrsg.	=	Herausgeber
IMF	=	intermaxilläre Fixation
ITN	=	Intubationsnarkose
kV	=	Kilovolt (Volt = SI-Einheit der elektrischen Spannung)
li.	=	links
Lp/cm	=	Linienpaare pro Zentimeter
mA	=	Milliamper (Amper = SI-Einheit der elektrischen Stromstärke)
mm	=	Milimeter
MMF	=	maxillo-mandibuläre Fixation
MPR	=	Multiplanare Rekonstruktionen
MSCT	=	Multi-Slice-CT
mSv	=	Millisievert (Sievert = Maßeinheit der Äquivalentdosis)
NWDKK	=	Nordwestdeutschen Kieferklinik
OP	=	Operation
p.-a.	=	posterior-anterior
PSA	=	Panoramaschichtaufnahme
re.	=	rechts
s	=	Sekunden

SSD	=	Surface Shaded Display
UK	=	Unterkiefer
VRT	=	Volume Rendering Technique
Z. n.	=	Zustand nach
ZMKG-Chirurgie	=	Zahn-, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

7 Literaturverzeichnis

Afzelius LE, Rosén C. Facial fractures. A review of 368 cases. *Int J Oral Surg.* 1980 Feb;9(1):25-32.

Antoun JS, Lee KH. Sports-related maxillofacial fractures over an 11-year period. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Mar;66(3):504-8.

Asadi SG, Asadi Z. Site of the mandible prone to trauma: a two year retrospective study. *Int Dent J.* 1996 Jun;46(3):171-3.

Atanasov DT. A retrospective study of 3326 b fractures in 2252 patients. *Folia Med (Plovdiv).* 2003;45(2):38-42.

Augat P, Simon U, Liedert A, Claes L. Mechanics and mechano-biology of fracture healing in normal and osteoporotic bone. *Osteoporos Int.* 2005 Mar;16 Suppl 2:S36-43. Epub 2004 Sep 15. Review.

Austermann KH. Frakturen des Gesichtsschädels. In: Schwenzler N, Ehrenfeld M (2002): *Zahn-Mund-Kieferheilkunde: 2. Spezielle Chirurgie*, 3. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S.275-366.

Barghan S, Merrill R, Tetradis S. Cone beam computed tomography imaging in the evaluation of the temporomandibular joint. *J Calif Dent Assoc.* 2010 Jan;38(1):33-9.

Barry CP, Kearns GJ. Superior border plating technique in the management of isolated mandibular angle fractures: a retrospective study of 50 consecutive patients. *J Oral Maxillofac Surg.* 2007 Aug;65(8):1544-9.

Bell RB, Wilson DM. Is the use of arch bars or interdental wire fixation necessary for successful outcomes in the open reduction and internal fixation of mandibular angle fractures? *J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Oct;66(10):2116-22.

Blessmann M, Pohlenz P, Blake FA, Lenard M, Schmelzle R, Heiland M. Validation of a new training tool for ultrasound as a diagnostic modality in suspected midfacial fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007 Jun;36(6):501-6. Epub 2007 Mar 21.

Bolourian R, Lazow S, Berger J. Transoral 2.0-mm miniplate fixation of mandibular fractures plus 2 weeks' maxillomandibular fixation: a prospective study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002 Feb;60(2):167-70. /Mehra et al. 2008.

Boole JR, Holtel M, Amoroso P, Yore M. 5196 mandible fractures among 4381 active duty army soldiers, 1980 to 1998. *Laryngoscope.* 2001 Oct;111(10):1691-6.

Bormann KH, Wild S, Gellrich NC, Kokemüller H, Stühmer C, Schmelzeisen R, Schön R. Five-year retrospective study of mandibular fractures in Freiburg, Germany: incidence, etiology, treatment, and complications. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009 Jun;67(6):1251-5.

Brasileiro BF, Passeri LA. Epidemiological analysis of maxillofacial fractures in Brazil: a 5-year prospective study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006 Jul;102(1):28-34. Epub 2006 Mar 22.

Brooks SL. CBCT Dosimetry: Orthodontic Considerations. *Seminars in Orthodontics*, Vol 15, No 1 (March), 2009. pp 14-18.

Burkhardt M, Gänsslen A, Uder M, Pohlemann T. New possibilities in fracture visualization by means of CT: reconstructions, 3D plannings--difficult joint fractures--modern management--improved visualization and operative planning in joint fractures. *Zentralbl Chir.* 2003 Jan;128(1):34-9.

Cabrini Gabrielli MA, Real Gabrielli MF, Marcantonio E, Hochuli-Vieira E. Fixation of mandibular fractures with 2.0-mm miniplates: review of 191 cases. *J Oral Maxillofac Surg.* 2003 Apr;61(4):430-6.

Carrafiello G, Dizonno M, Colli V, Strocchi S, Pozzi Taubert S, Leonardi A, Giorgianni A, Barresi M, Macchi A, Bracchi E, Conte L, Fugazzola C. Comparative study of jaws with multislice computed tomography and cone-beam computed tomography. *Radiol Med.* 2010 Feb.

Cawood JI. Small plate osteosynthesis of mandibular fractures. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1985 Apr;23(2):77-91.

Cha JY, Mah J, Sinclair P. Incidental findings in the maxillofacial area with 3-dimensional cone-beam imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Jul;132(1):7-14.

Champy M, Wilk A, Schnebelen JM. Treatment of mandibular fractures by means of osteosynthesis without intermaxillary immobilization according to F.X. Michelet's technic. *Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl.* 1975;63(4):339-41.

Chau AC, Fung K. Comparison of radiation dose for implant imaging using conventional spiral tomography, computed tomography, and cone-beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009 Apr;107(4):559-65. Epub 2009 Jan 25.

Choi BH, Kim HJ, Kim MK, Han SG, Huh JY, Kim BY, Zhu SJ, Jung JH. Management of mandibular angle fractures using the mandibular angle reduction forceps. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2005 May;34(3):257-61.

Chuong R, Donoff RB, Guralnick WC. A retrospective analysis of 327 mandibular fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 1983 May;41(5):305-9.

De Matos FP, Arnez MF, Sverzut CE, Trivellato AE. A retrospective study of mandibular fracture in a 40-month period. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2010 Jan;39(1):10-5. Epub 2009 Nov 14.

De Vos W, Casselman J, Swennen GR. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009 Jun;38(6):609-25. Epub 2009 May 21.

Depprich R, Handschel J, Hornung J, Meyer U, Kübler NR. Causation, therapy and complications of treating mandibular fractures - a retrospective analysis of 10 years. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 2007 Jan;11(1):19-26. German.

Dongas P, Hall GM. Mandibular fracture patterns in Tasmania, Australia. *Aust Dent J.* 2002 Jun;47(2):131-7.

Duan DH, Zhang Y. Does the presence of mandibular third molars increase the risk of angle fracture and simultaneously decrease the risk of condylar fracture? *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Jan;37(1):25-8. Epub 2007 Sep 18.

Durham JA, Paterson AW, Pierse D, Adams JR, Clark M, Hierons R, Edwards K. Postoperative radiographs after open reduction and internal fixation of the mandible: are they useful? *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2006 Aug;44(4):279-82. Epub 2005 Sep 12.

Eggers G, Welzel T, Mukhamadiev D, Wörtche R, Hassfeld S, Mühling J. X-ray-based volumetric imaging of foreign bodies: a comparison of computed tomography and digital volume tomography. *J Oral Maxillofac Surg.* 2007 Sep;65(9):1880-5.

Ellis E 3rd, Moos KF, el-Attar A. Ten years of mandibular fractures: an analysis of 2,137 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1985 Feb;59(2):120-9.

Ellis E 3rd, Walker LR. Treatment of mandibular angle fractures using one noncompression miniplate. *J Oral Maxillofac Surg.* 1996 Jul;54(7):864-71.

Ellis E 3rd. Treatment methods for fractures of the mandibular angle. *J Craniomaxillofac Trauma.* 1996 Spring;2(1):28-36.
Int J Oral Maxillofac Surg. 1999 Aug;28(4):243-52. Review.

Ellis E 3rd. Outcomes of patients with teeth in the line of mandibular angle fractures treated with stable internal fixation. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002 Aug;60(8):863-5; discussion 866.

Erdmann D, Follmar KE, Debruijn M, Bruno AD, Jung SH, Edelman D, Mukundan S, Marcus JR. A retrospective analysis of facial fracture etiologies. *Ann Plast Surg.* 2008 Apr;60(4):398-403.

Ernst A, Seidl RO, Herzog M (2004). *Traumatologie des Kopf-Hals-Bereichs*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart:97-105.

Euler E, Wirth S, Linsenmaier U, Mutschler W, Pfeifer KJ, Hebecker A. Comparative study of the quality of C-arm based 3D imaging of the talus. *Unfallchirurg*. 2001 Sep;104(9):839-46.

Farman AG. ALARA still applies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2005 Oct;100(4):395-7.

Farman AG, Scarfe WC. Development of imaging selection criteria and procedures should precede cephalometric assessment with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006 Aug;130(2):257-65.

Farman AG, Scarfe WC. The Basics of Maxillofacial Cone Beam Computed Tomography. *Seminars in Orthodontics*, Vol 15, No 1 (March), 2009: pp 2-13.

Feller KU, Schneider M, Hlawitschka M, Pfeifer G, Lauer G, Eckelt U. Analysis of complications in fractures of the mandibular angle--a study with finite element computation and evaluation of data of 277 patients. *J Craniomaxillofac Surg*. 2003 Oct;31(5):290-5.

Flinzberg S, Schmelzle R, Schulze D, Rother U, Heiland M. 3-dimensional imaging possibilities of the mid-face area using digital volume tomography based on a daver study of angle stable osteosynthesis. *Mund Kiefer Gesichtschir*. 2003 Sep;7(5):289-93. Epub 2003 Aug 15. German.

Fox AJ, Kellman RM. Mandibular angle fractures: two-miniplate fixation and complications. *Arch Facial Plast Surg*. 2003 Nov-Dec;5(6):464-9.

Fox WC, Wawrzyniak S, Chandler WF. Intraoperative acquisition of three-dimensional imaging for frameless stereotactic guidance during transsphenoidal pituitary surgery using the Arcadis Orbic System. *J Neurosurg*. 2008 Apr;108(4):746-50.

Fridrich KL, Pena-Velasco G, Olson RA. Changing trends with mandibular fractures: a review of 1,067 cases. *J Oral Maxillofac Surg*. 1992 Jun;50(6):586-9.

Fuselier JC, Ellis EE 3rd, Dodson TB. Do mandibular third molars alter the risk of angle fracture? *J Oral Maxillofac Surg*. 2002 May;60(5):514-8.

Gear AJ, Apasova E, Schmitz JP, Schubert W. Treatment modalities for mandibular angle fractures. *J Oral Maxillofac Surg*. 2005 May;63(5):655-63.

Gerlach KL, Pape HD. Principle and indication for mini-plate osteosynthesis. *Dtsch Zahnarztl Z*. 1980 Feb;35(2):346-8. German.

Ghaeminia H, Meijer GJ, Soehardi A, Borstlap WA, Mulder J, Bergé SJ. Position of the impacted third molar in relation to the mandibular canal. Diagnostic accuracy of cone beam computed tomography compared with panoramic radiography. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2009 Sep;38(9):964-71. Epub 2009 Jul 28.

Greene D, Raven R, Carvalho G, Maas CS. Epidemiology of facial injury in blunt assault. Determinants of incidence and outcome in 802 patients. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 1997 Sep;123(9):923-8.

Gravanis M. Retrospektive Analyse von chirurgisch, osteosynthetisch versorgten Kieferwinkelfrakturen unter Berücksichtigung des klinischen und radiologischen Verlaufes. Med. Dissertation. 2008. Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf.

Halazonetis JA. The 'weak' regions of the mandible. Br J Oral Surg. 1968 Jul;6(1):37-48.

Halmos DR, Ellis E 3rd, Dodson TB. Mandibular third molars and angle fractures. J Oral Maxillofac Surg. 2004 Sep;62(9):1076-81.

Hanson BP, Cummings P, Rivara FP, John MT. The association of third molars with mandibular angle fractures: a meta-analysis. J Can Dent Assoc. 2004 Jan;70(1):39-43.

Haug RH, Prather J, Indresano AT. An epidemiologic survey of facial fractures and concomitant injuries. J Oral Maxillofac Surg. 1990 Sep;48(9):926-32.

Heibel H, Alt KW, Wächter R, Bähr W. Cortical thickness of the mandible with special reference to miniplate osteosynthesis. Morphometric analysis of autopsy material. Mund Kiefer Gesichtschir. 2001 May;5(3):180-5.

Heiland M, Schulze D, Adam G, Schmelzle R. 3D imaging of the facial skeleton with an isocentric mobile C-arm system (SIREMOBIL Iso-C3D). Dentomaxillofac Radiol. 2003. 32:21-25.

Heiland M, Schmelzle R, Hebecker A, Schulze D. Intraoperative 3D imaging of the facial skeleton using the SIREMOBIL Iso-C3D. Dentomaxillofac Radiol. 2004 Mar;33(2):130-2.

Heiland M, Schulze D, Flinzberg S, Thurmann H, Rother U, Schmelzle R. Radiation exposure and 3 dimensional imaging options of SIREMOBIL Iso-C(3D) for planning surgical dental interventions. Mund Kiefer Gesichtschir. 2004 Feb;8(1):35-40. Epub 2004 Jan 22. German.

Heiland M, Schulze D, Rother U, Schmelzle R. Postoperative imaging of zygomaticomaxillary complex fractures using digital volume tomography. J Oral Maxillofac Surg. 2004 Nov;62(11):1387-91.

Heiland M, Schulze D, Blake F, Schmelzle R. Intraoperative imaging of zygomaticomaxillary complex fractures using a 3D C-arm system. Int J Oral Maxillofac Surg. 2005 Jun;34(4):369-75.

Heiland M. C-Bogen-basierte 3D-Bildgebung eröffnet neue Potenziale. Medical Solutions, [online im Internet.] URL: <http://www.siemens.de/medical-magazine> Sept. 2006; 108-110, [Stand: 09.10.2010, 18:00].

Hodgkinson DW, Lloyd RE, Driscoll PA, Nicholson DA. ABC of emergency radiology. Maxillofacial radiographs. *BMJ*. 1994 Jan 1;308(6920):46-51.

Hoelzle F, Klein M, Schwerdtner O, Lueth T, Albrecht J, Hosten N, Felix R, Bier J. Intraoperative computed tomography with the mobile CT Tomoscan M during surgical treatment of orbital fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2001 Feb;30(1):26-31.

Hoffmann J, Krimmel M, Dammann F, Reinert S. Möglichkeiten der intraoperativen Diagnostik mit einem fahrbaren Computertomographen. *Mund Kiefer Gesichtschir*. 2002 Sep;6(5):346-50.

Holberg C, Steinhäuser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop*. 2005 Nov;66(6):434-44. English, German.

Horch HH (2007) *Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie*, 4. Auflage, Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, München:38-177.

Horch HH, Herzog M (1997). *Traumatologie des Gesichtsschädels*. In: Horch HH: *Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie*, 3. Auflage, Bd.1, Urban & Schwarzenberg Verlag, München Wien Baltimore.

Iizuka T, Lindqvist C, Hallikainen D, Paukku P. Infection after rigid internal fixation of mandibular fractures: a clinical and radiologic study. *J Oral Maxillofac Surg*. 1991 Jun;49(6):585-93.

Jain MK, Alexander M. The need of postoperative radiographs in maxillofacial fractures--a prospective multicentric study. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2009 Oct;47(7):525-9. Epub 2009 Jan 20.

Jayarathne YS, Zwahlen RA, Lo J, Tam SC, Cheung LK. Compute-Aided Maxillofacial Surgery: An Update. *Surg Innov*. 2010 Jul 20.

Joos U, Piffko J, Meyer U. New aspects in managing mandibular fractures. *Mund Kiefer Gesichtschir*. 2001 Jan;5(1):2-16. German.

King RE, Scianna JM, Petruzzelli GJ. Mandible fracture patterns: a suburban trauma center experience. *Am J Otolaryngol*. 2004 Sep-Oct;25(5):301-7.

Klatt J, Heiland M, Blessmann M, Blake F, Schmelzle R, Pohlenz P. Clinical indication for intraoperative 3D imaging during open reduction of fractures of the neck and head of the mandibular condyle. *J Craniomaxillofac Surg*. 2010 Jul 30.

Klenk G, Kovacs A. Do we need three-dimensional computed tomography in maxillofacial surgery? *J Craniofac Surg*. 2004 Sep;15(5):842-50; discussion 850.

Korbmacher H, Kahl-Nieke B, Schöllchen M, Heiland M. Value of two cone-beam computed tomography systems from an orthodontic point of view. *J Orofac Orthop*. 2007 Jul;68(4):278-89.

Kotsianos D, Rock C, Euler E, Wirth S, Linsenmaier U, Brandl R, Mutschler W, Pfeifer KJ. 3-D imaging with a mobile surgical image enhancement equipment (ISO-C-3D). Initial examples of fracture diagnosis of peripheral joints in comparison with spiral CT and conventional radiography. *Unfallchirurg*. 2001 Sep;104(9):834-8.

Lamphier J, Ziccardi V, Ruvo A, Janel M. Complications of mandibular fractures in an urban teaching center. *J Oral Maxillofac Surg*. 2003 Jul;61(7):745-9; discussion 749-50.

Larsen OD, Nielsen A. Mandibular fractures. I. An analysis of their etiology and location in 286 patients. *Scand J Plast Reconstr Surg*. 1976;10(3):213-8.

Lee JT, Dodson TB. The effect of mandibular third molar presence and position on the risk of an angle fracture. *J Oral Maxillofac Surg*. 2000 Apr;58(4):394-8; discussion 399.

Lee KH. Epidemiology of mandibular fractures in a tertiary trauma centre. *Emerg Med J*. 2008 Sep;25(9):565-8.

Levy FE, Smith RW, Odland RM, Marentette LJ. Monocortical miniplate fixation of mandibular angle fractures. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 1991 Feb;117(2):149-54.

Liang X, Jacobs R, Hassan B, Li L, Pauwels R, Corpas L, Souza PC, Martens W, Shahbazian M, Alonso A, Lambrichts I. A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT) Part I. On subjective image quality. *Eur J Radiol*. 2009 Apr 30.

Linsenmaier U, Rock C, Euler E, Wirth S, Brandl R, Kotsianos D, Mutschler W, Pfeifer KJ. Three-dimensional CT with a modified C-arm image intensifier: feasibility. *Radiology*. 2002 Jul;224(1):286-92.

Loubele M, Bogaerts R, Van Dijck E, Pauwels R, Vanheusden S, Suetens P, Marchal G, Sanderink G, Jacobs R. Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *Eur J Radiol*. 2009 Sep;71(3):461-8. Epub 2008 Jul 18.

Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol*. 2006 Jul;35(4):219-26. Erratum in: *Dentomaxillofac Radiol*. 2006 Sep;35(5):392.

Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008 Jul;106(1):106-14. Epub 2008 May 27.

Luhr HG. On the stable osteosynthesis in mandibular fractures. *Dtsch Zahnarztl Z*. 1968 Jul;23(7):754.

Maloney PL, Welch TB, Doku HC. Early immobilization of mandibular fractures: a retrospective study. *J Oral Maxillofac Surg.* 1991 Jul;49(7):698-702; discussion 702-3.

Manson PN, Markowitz B, Mirvis S, Dunham M, Yaremchuk M. Toward CT-based facial fracture treatment. *Plast Reconstr Surg.* 1990 Feb;85(2):202-12; discussion 213-4.

Mehra P, Murad H. Internal fixation of mandibular angle fractures: a comparison of 2 techniques. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Nov;66(11):2254-60.

Michelet FX, Deymes J, Dessus B. Osteosynthesis with miniaturized screwed plates in maxillo-facial surgery. *J Maxillofac Surg.* 1973 Jun;1(2):79-84.

Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde: Rother U (2001), 1. Auflage, Urban & Fischer Verlag München · Jena.

Moos KF. Diagnosis of facial bone fractures. *Ann R Coll Surg Engl.* 2002 Nov;84(6):429-31.

Moreno JC, Fernández A, Ortiz JA, Montalvo JJ. Complication rates associated with different treatments for mandibular fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 2000 Mar;58(3):273-80; discussion 280-1.

Motamedi MHK. *J Oral Maxillofac Surg.* 2003 Jan;61(1):61-4. An assessment of maxillofacial fractures: a 5-year study of 237 patients.

Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol.* 1998;8(9):1558-64.

Ogundare BO, Bonnicksen A, Bayley N. Pattern of mandibular fractures in an urban major trauma center. *J Oral Maxillofac Surg.* 2003 Jun;61(6):713-8.

Olson RA, Fonseca RJ, Zeitler DL, Osborn DB. Fractures of the mandible: a review of 580 cases. *J Oral Maxillofac Surg.* 1982 Jan;40(1):23-8.

Özkaya Ö, Turgut G, Kayali MU, Uğurlu K, Kuran I, Baş L. A retrospective study on the epidemiology and treatment of maxillofacial fractures. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2009 May;15(3):262-6.

Pape HD, Schippers CG, Gerlach KL, Walz C. Functional stability of Champy miniplate osteosynthesis in mandibular angle fractures. *Fortschr Kiefer Gesichtschir.* 1996;41:94-6.

Patrocínio LG, Patrocínio JA, Borba BH, Bonatti Bde S, Pinto LF, Vieira JV, Costa JM. Mandibular fracture: analysis of 293 patients treated in the Hospital of Clinics, Federal University of Uberlândia. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2005 Sep-Oct;71(5):560-5. Epub 2006 Mar 31.

Pauls H. Vom klassischen C-Bogen zur intraoperativen 3D-Rekonstruktion - Ein Vergleich zu konventionellen Untersuchungsmethoden und Dokumentation erster klinischer Einsätze am Gesichtsschädel. Med. Dissertation 2008. Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf.

Paza AO, Abuabara A, Passeri LA. Analysis of 115 mandibular angle fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Jan;66(1):73-6.

Pohlenz P, Blessmann M, Blake F, Heinrich S, Schmelzle R, Heiland M. Clinical indications and perspectives for intraoperative cone-beam computed tomography in oral and maxillofacial surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007 Mar;103(3):412-7. Epub 2006 Sep 26.

Pohlenz P, Blessmann M, Blake F, Gbara A, Schmelzle R, Heiland M. Major mandibular surgical procedures as an indication for intraoperative imaging. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Feb;66(2):324-9.

Pohlenz P, Blake F, Blessmann M, Smeets R, Habermann C, Begemann P, Schmelzle R, Heiland M. Intraoperative cone-beam computed tomography in oral and maxillofacial surgery using a C-arm prototype: first clinical experiences after treatment of zygomaticomaxillary complex fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009 Mar;67(3):515-21.

Quereshy FA, Savell TA, Palomo JM. Applications of cone beam computed tomography in the practice of oral and maxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Apr;66(4):791-6.

Razukevicius D, Sabalys G, Kubilius R. Comparative analysis of the effectiveness of the mandibular angle fracture treatment methods. *Stomatologija.* 2005;7(2):35-9.

Regev E, Shiff JS, Kiss A, Fialkov JA. Internal fixation of mandibular angle fractures: a meta-analysis. *Plast Reconstr Surg.* 2010 Jun;125(6):1753-60.

Roberts JA, Drage NA, Davis J, Thomas DW. Effective dose from cone beam ct examination in dentistry. *British Journal of Radiology* (2009) 82, 35-40.

Rock C, Linsenmaier U, Brandl R, Kotsianos D, Wirth S, Kaltschmidt R, Euler E, Mutschler W, Pfeifer KJ. Introduction of new mobile C-arm/CT combination equipment (ISO-C-3D). Initial results of 3-D sectional imaging. *Unfallchirurg.* 2001 Sep;104(9):827-33.

Sakr K, Farag IA, Zeitoun IM. Review of 509 mandibular fractures treated at the University Hospital, Alexandria, Egypt. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2006 Apr;44(2):107-11.

Schaaf H, Kaubruegge S, Streckbein P, Wilbrand JF, Kerkmann H, Howaldt HP. Comparison of miniplate versus lag-screw osteosynthesis for fractures of the mandibular angle. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010 Jun 30.

Scherer M, Sullivan WG, Smith DJ Jr, Phillips LG, Robson MC. An analysis of 1,423 facial fractures in 788 patients at an urban trauma center. *J Trauma*. 1989 Mar;29(3):388-90.

Schmelzeisen R, McIlff T, Rahn B. Further development of titanium miniplate fixation for mandibular fractures. Experience gained and questions raised from a prospective clinical pilot study with 2.0 mm fixation plates. *J Craniomaxillofac Surg*. 1992 Aug-Sep;20(6):251-6.

Schneider A, Zahnert D, Klengel S, Loukota R, Eckelt U. A comparison of MRI, radiographic and clinical findings of the position of the TMJ articular disc following open treatment of condylar neck fractures. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2007 Oct;45(7):534-7. Epub 2007 Jan 12.

Schubert W, Kobienia BJ, Pollock RA. Cross-sectional area of the mandible. *J Oral Maxillofac Surg*. 1997 Jul;55(7):689-92; discussion 693.

Schuhmacher GH (1997). *Anatomie für Zahnmediziner: Lehrbuch und Atlas*, 3. Auflage, Hüthig Verlag Heidelberg:222-252.

Schulze D, Heiland M, Thurmann H, Adam G. Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone-beam computed tomography systems, and conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol*. 2004. 33:83-86.

Schulze D, Heiland M, Blake F, Rother U, Schmelzle R. Evaluation of quality of reformatted images from two cone-beam computed tomographic systems. *J Craniomaxillofac Surg*. 2005 Feb;33(1):19-23. Epub 2005 Jan 12.

Seemann R, Schicho K, Wutzl A, Koinig G, Poeschl WP, Krennmair G, Ewers R, Klug C. Complication rates in the operative treatment of mandibular angle fractures: a 10-year retrospective. *J Oral Maxillofac Surg*. 2010 Mar; 68(3):647-50.

Shintaku WH, Venturin JS, Azevedo B, Noujeim M. Applications of cone-beam computed tomography in fractures of the maxillofacial complex. *Dent Traumatol*. 2009 Aug;25(4):358-66. Epub 2009 Jun 8. Review.

Siddiqui A, Markose G, Moos KF, McMahon J, Ayoub AF. One miniplate versus two in the management of mandibular angle fractures: a prospective randomised study. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2007 Apr;45(3):223-5. Epub 2006 Nov 15.

Siemens AG, Medical Solutions. Entscheidend mehr Präzision im OP. ARCADIS Orbic / Orbic 3D. Datenblatt, Order No. A91SC-22000-1T,01.2008.

Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008 May;133(5):640.e1-5.

Simsek S, Simsek B, Abubaker AO, Laskin DM. A comparative study of mandibular fractures in the United States and Turkey. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007 May;36(5):395-7. Epub 2007 Mar 27.

Sobotta: R. Putz und R. Pabst (1993), Atlas der Anatomie des Menschen, 20. Auflage, Bd.1, Kopf, Hals, obere Extremitäten, München.

Sojot AJ, Meisami T, Sandor GK, Clokie CM. The epidemiology of mandibular fractures treated at the Toronto general hospital: A review of 246 cases. *J Can Dent Assoc.* 2001 Dec;67(11):640-4.

Soriano E, Kankou V, Morand B, Sadek H, Raphaël B, Bettega G. Fractures of the mandibular angle: factors predictive of infectious complications *Rev Stomatol Chir Maxillofac.* 2005 Jun;106(3):146-8. French.

Spezielle Chirurgie: N. Schwenzer und M. Ehrenfeld (Hrsg.), Lehrbuch zur Aus- und Weiterbildung Bd.2, 3. Auflage, Georg Thieme Verlag 2002.

Spiessl B, Schroll K. Gesichtsschädel. In: Nigst H (Hrsg.), Spezielle Frakturen- und Luxationslehre. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1972, Bd. I/1.

Stone IE, Dodson TB, Bays RA. Risk factors for infection following operative treatment of mandibular fractures: a multivariate analysis. *Plast Reconstr Surg.* 1993 Jan;91(1):64-8.

Stuehmer C, Blum KS, Kokemueller H, Tavassol F, Bormann KH, Gellrich NC, Rücker M. Influence of different types of guns, projectiles, and propellants on patterns of injury to the viscerocranium. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009 Apr;67(4):775-81.

Subhashraj K. A study on the impact of mandibular third molars on angle fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009 May;67(5):968-72.

Sugar AW, Gibbons AJ, Patton DW, Silvester KC, Hodder SC, Gray M, Snooks H, Watkins A. A randomised controlled trial comparing fixation of mandibular angle fractures with a single miniplate placed either transbuccally and intra-orally, or intra-orally alone. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009 Mar;38(3):241-5. Epub 2009 Jan 22.

Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res.* 2003;6 Suppl 1:31-6; discussion 179-82.

Tan WK, Lim TC. Aetiology and distribution of mandibular fractures in the National University Hospital, Singapore. *Ann Acad Med Singapore.* 1999 Sep;28(5):625-9.

Tanaka N, Tomitsuka K, Shionoya K, Andou H, Kimijima Y, Tashiro T, Amagasa T. Aetiology of maxillofacial fracture. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1994 Feb;32(1):19-23.

Tanaka T, Morimoto Y, Kito S, Ro T, Masumi T, Ichiya Y, Ohba T. Evaluation of coronal CT findings of rare cases of isolated medial orbital wall blow-out fractures. *Dentomaxillofac Radiol* 2003; 32:300-303.

Tantanapornkul W, Okouchi K, Fujiwara Y, Yamashiro M, Maruoka Y, Ohbayashi N, Kurabayashi T. A comparative study of cone-beam computed tomography and conventional panoramic radiography in assessing the topographic relationship between the mandibular canal and impacted third molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007 Feb;103(2):253-9. Epub 2006 Sep 1.

Thangavelu A, Yoganandha R, Vaidhyanathan A. Impact of impacted mandibular third molars in mandibular angle and condylar fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2010 Feb;39(2):136-9. Epub 2010 Jan 18.

Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakakis CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT. *Eur J Radiol.* 2005 Dec;56(3):413-7. Epub 2005 Jun 22.

Uglesić V, Virag M, Aljinović N, Macan D. Evaluation of mandibular fracture treatment. *J Craniomaxillofac Surg.* 1993 Sep;21(6):251-7. Erratum in: *J Craniomaxillofac Surg* 1993 Oct;21(7):317.

Volkenstein R, Friedrich R, Vesper M, Gehrke G. Mandibular collum fracture in the ultrasound image--indications and limits from the viewpoint of 3 years imaging experiences. *Fortschr Kiefer Gesichtschir.* 1996;41:117-20. German.

Wich M, Spranger N, Ekkernkamp A. Intraoperative imaging with the ISO C(3D). *Chirurg.* 2004 Oct;75(10):982-7. German.

Yamamoto K, Matsusue Y, Murakami K, Horita S, Matsubara Y, Sugiura T, Kirita T. Maxillofacial fractures due to work-related accidents. *J Craniomaxillofac Surg.* 2010 May 14.

Ziegler CM, Woertche R, Brief J, Haßfeld S. Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31:126
bb130.

8 Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Rainer Schmelzle, Direktor der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, für die Überlassung des Themas.

Herrn PD Dr. med. Dr. med. dent. Philipp Pohlenz danke ich für die gute und intensive Betreuung.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. med. Dr. med. dent. Jan Klatt ganz herzlich für die freundschaftliche Unterstützung in Bezug auf alle Bereiche dieser Arbeit.

Herrn Vitalis Tissen danke ich für die Hilfe bei der Formatierung der Dissertation.

Bei meiner Mutter möchte ich mich für die gründliche Textkorrektur bedanken sowie für den Rückhalt, ohne den ich die Arbeit nicht hätte vollenden können.

Mein besonderer Dank gilt auch meiner Freundin Alexandra, die immer an mich geglaubt hat, obwohl es sicher manchmal schwer war, meine Launen zu ertragen.

9 Anhang

9.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Unterkiefer, Mandibula	8
Abb. 2: Typische Lokalisationen von Kieferwinkelfrakturen.....	9
Abb. 3: Fragmentdislokation bei Kieferwinkelfrakturen	11
Abb. 4: Axiale CT-Aufnahme einer doppelten Unterkieferfraktur.....	15
Abb. 5: Kieferwinkelfraktur mit Zug- und Druckzonen im Unterkiefer.....	18
Abb. 6: Versorgung von Unterkieferwinkelfrakturen mit einer Miniplatte.....	18
Abb. 7: Isozentrische Bauweise des Iso-C-Bogens mit Zentralstrahlverlauf	20
Abb. 8: Zentralstrahlverlauf und Orbitalauslenkung des Iso-C-Bogens.....	21
Abb. 9: Schema der Bilderzeugung mit dem DVT-Scanner	22
Abb. 10: C-Bogen-System ARCADIS Orbic ^{3D}	24
Abb. 11: Winkel und Abmessung des ARCADIS Orbic ^{3D} in cm.....	26
Abb. 12: Abmessung des ARCADIS Orbic ^{3D} in cm.....	26
Abb. 13: Indikationen zum intraoperativen Einsatz des C-Bogen-Systems in der ZMKG-Chirurgie.....	27
Abb. 14: Dokumentierte Informationen aus den Patientenakten	28
Abb. 15: Integration des ARCADIS Orbic ^{3D} in den intra- und postoperativen Arbeitsablauf	29
Abb. 16: Intraoperative Handhabung des ARCADIS Orbic ^{3D}	32
Abb. 17: Intraoperative Handhabung des ARCADIS Orbic ^{3D}	32
Abb. 18: Rekonstruktion einer Unterkieferwinkelfraktur.....	33
Abb. 19: Frakturdiagnosen der mit intraoperativer Revision versorgten Kieferwinkelfrakturen	48
Abb. 20: Verteilung der klinischen Indikationen anhand von 179 intraoperativ erfasster DVT-Scans.....	63

Abb. A: <i>Axiale Schicht des UK vor der Revision.</i>	49
Abb. B: <i>Sagittale Schicht des UK-Winkels vor der Revision.</i>	49
Abb. C: <i>Axiale Schicht des UK nach Revision.</i>	50
Abb. D: <i>Sagittale Schicht des UK-Winkels nach Revision.</i>	50
Abb. E: <i>Sagittale Schicht des UK-Winkels vor der Revision.</i>	52
Abb. F: <i>Axiale Schicht des UK nach erster Versorgung.</i>	53
Abb. G: <i>Sagittale Schicht des UK-Winkels nach erster Revision.</i>	53

9.2 Diagrammverzeichnis

Diagramm Nr. 1: <i>Verwendungshäufigkeit des ARCADIS Orbic^{3D}</i>	34
Diagramm Nr. 2: <i>Postoperativ kontrollierte Gesichtsschädelfrakturen</i>	35
Diagramm Nr. 3: <i>Prozentuale Verteilung der Patienten mit kontrollierten Gesichtsschädelfrakturen</i>	36
Diagramm Nr. 4: <i>Geschlechterspezifische Verteilung der Patienten mit Unterkieferfrakturen in Prozent</i>	37
Diagramm Nr. 5: <i>Verteilung der Frakturkombinationen mit Kieferwinkelbeteiligung</i>	38
Diagramm Nr. 6: <i>Verteilung der Frakturkombinationen mit Kieferwinkelbeteiligung in Prozent</i>	39
Diagramm Nr.7: <i>Prozentuale Verteilung der Patienten mit Unterkieferfrakturen</i>	40
Diagramm Nr. 8: <i>Geschlechterspezifische Verteilung der Patienten mit Kieferwinkelfrakturen in Prozent</i>	41
Diagramm Nr. 9: <i>Altersspezifische Verteilung der Patienten mit Kieferwinkelfrakturen</i>	42
Diagramm Nr. 10: <i>Aufteilung der 83 Patienten nach der Frakturseite des Unterkieferwinkels</i>	43

Diagramm Nr.11:	<i>Verteilung der Patienten mit /ohne Zahn im Bruchspalt des Unterkieferwinkels</i>	44
Diagramm Nr.12:	<i>Anteil der Revisionen aufgrund ARCADIS Orbic^{3D}- Diagnostik an der Gesamtzahl der Patienten mit Gesichtsschädelfrakturen</i>	45
Diagramm Nr.13:	<i>Prozentuale Verteilung der Revisionen der Gesichtsschädelfrakturen</i>	46
Diagramm Nr. 14:	<i>Anteil der Revisionen aufgrund ARCADIS Orbic^{3D}- Diagnostik an der Gesamtzahl der Patienten mit Unterkieferwinkelfrakturen</i>	47

10 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel habe ich nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Unterschrift: