

Aus der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie  
des Deutschen Herzzentrums München  
an der Technischen Universität München  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. R. Lange)

## **Langzeitergebnisse nach sternaler Plattenosteosynthese**

Stephanie S. Grabert

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen  
Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Medizin genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. E. J. Rummeny  
Prüfer der Dissertation: 1. Priv.-Doz. Dr. B. J. Voss  
2. Univ.-Prof. Dr. P. Biberthaler

Die Dissertation wurde am 09.04.2014 bei der Technischen Universität  
München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 21.01.2015  
angenommen.



---

|   |           |
|---|-----------|
| 3.1.3.2. Sternale Instabilität.....   | 49        |
| 3.1.3.2.1. Ursachen der sternalen Instabilität.....   | 49        |
| 3.1.3.2.2. Keimspektrum bei präoperativ sternalem Wundinfekt..  | 50        |
| 3.1.4. Intraoperative Parameter.....  | 51        |
| 3.1.5. Postoperative Parameter.....   | 51        |
| 3.1.5.1. Stationärer Verlauf .....  | 51        |
| 3.1.5.2. Postoperative Komplikationen.....  | 52        |
| 3.1.5.3. Postoperatives Auftreten sternaler Wundinfektionen .....   | 53        |
| 3.1.5.3.1. Häufigkeit sternaler Wundinfekte .....   | 53        |
| 3.1.5.3.2. Keimspektrum bei postoperativ sternalem Wundinfekt   | 53        |
| 3.1.5.3.3. Auftreten postoperativer sternaler Wundinfekte .....   | 55        |
| 3.1.5.3.4. Potentielle Einflussfaktoren auf die Entwicklung<br>postoperativer sternaler Wundinfekte ..... | 56        |
| <b>3.2. Plattenrevision .....</b>   | <b>58</b> |
| 3.2.1. Häufigkeit der Plattenrevision.....  | 58        |
| 3.2.2. Indikation zur Plattenrevision .....   | 59        |
| 3.2.3. Zeitabstand zwischen Plattenimplantation und Plattenrevision.....                                  | 60        |
| 3.2.4. Materialdefekte.....   | 60        |
| <b>3.3. Nachuntersuchung .....</b>  | <b>61</b> |
| 3.3.1. Sternale Stabilität nach plattenosteosynthetischer Versorgung .....                                | 61        |
| 3.3.1.1. Klinische Beurteilung der sternalen Stabilität .....   | 61        |
| 3.3.1.2. Computertomographische Beurteilung der sternalen Stabilität ....                                 | 62        |
| 3.3.2. Schmerzen nach plattenosteosynthetischer Versorgung .....  | 63        |
| 3.3.2.1. Postoperatives Schmerzempfinden.....   | 63        |
| 3.3.2.1.1. Häufigkeit postoperativer Schmerzen .....  | 63        |
| 3.3.2.1.2. Schmerzintensität postoperativer Schmerzen.....  | 64        |
| 3.3.2.2. Aktuelles Schmerzempfinden .....   | 65        |
| 3.3.2.2.1. Häufigkeit aktueller Schmerzen .....   | 65        |
| 3.3.2.2.2. Schmerzintensität aktueller Schmerzen .....  | 65        |
| 3.3.2.2.3. Schmerzart aktueller Schmerzen .....   | 66        |
| 3.3.2.2.4. Differenzierung in Schmerzuntergruppen .....   | 67        |
| 3.3.3. Klinische Untersuchungsergebnisse der Brustwand .....  | 69        |
| <b>4. DISKUSSION.....</b>   | <b>70</b> |
| <b>4.1. Management sternaler Instabilität.....</b>  | <b>70</b> |
| <b>4.2. Material und Methodik .....</b>   | <b>73</b> |

---

|   |              |
|---|--------------|
| 4.2.1. Sternum-Fixationssystem aus Titan <sup>®</sup> .....                       | 73           |
| 4.2.1.1. Das „Locking-Prinzip“ .....  | 73           |
| 4.2.1.2. Verletzungsgefahr und Materiallockerung .....                            | 74           |
| 4.2.1.3. Plattenanordnung .....   | 75           |
| 4.2.1.4. Vor- und Nachteile der transversalen Verplattung .....                   | 76           |
| 4.2.1.5. Vor- und Nachteile der longitudinalen Verplattung .....                  | 77           |
| 4.2.2. Modulares Sternum-Kabelsystem <sup>®</sup> .....                           | 78           |
| 4.2.2.1. Unterschiede zum Sternum-Fixationssystem aus Titan <sup>®</sup> .....    | 78           |
| 4.2.2.2. Vor- und Nachteile des Modularen Sternum-Kabelsystems <sup>®</sup> ..... | 79           |
| <b>4.3. Ergebnisse .....</b>  | <b>81</b>    |
| 4.3.1. Patientenprofil .....  | 81           |
| 4.3.1.1. Präoperative Patientendaten .....  | 81           |
| 4.3.1.2. Intra- und postoperative Daten .....                                     | 83           |
| 4.3.1.2.1. Operativer Verlauf .....   | 83           |
| 4.3.1.2.2. Postoperativ-stationärer Verlauf .....                                 | 83           |
| 4.3.1.2.3. Postoperative Komplikationen .....                                     | 84           |
| 4.3.1.2.4. Postoperative Wundinfektionen .....                                    | 86           |
| 4.3.2. Materialrevision .....   | 90           |
| 4.3.3. Effektivität der sternalen Plattenosteosynthese .....                      | 92           |
| 4.3.3.1. Sternumstabilität .....  | 92           |
| 4.3.3.2. Schmerzproblematik .....   | 93           |
| <b>4.4. Schlussfolgerung .....</b>  | <b>96</b>    |
| <b>5. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>   | <b>98</b>    |
| <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>   | <b>VI</b>    |
| <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>  | <b>XVI</b>   |
| <b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>  | <b>XIX</b>   |
| <b>ANHANG .....</b>   | <b>XX</b>    |
| <b>LEBENS LAUF .....</b>  | <b>XXIII</b> |
| <b>DANKSAGUNG .....</b>   | <b>XXIV</b>  |

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

|      |  |
|------|--|
| ACVB | Aortokoronarer Venenbypass               |
| AKE  | Aortenklappenersatz                      |
| BMI  | Body-Mass-Index                          |
| ©    | Copyright                                |
| COPD | Chronisch obstruktive Lungenerkrankung   |
| CT   | Computertomographie                      |
| KNS  | Koagulase negative Staphylokokken        |
| LVEF | Linksventrikuläre Ejektionsfraktion      |
| M.   | Musculus                                 |
| MKP  | Mitralklappenplastik                     |
| MW   | Mittelwert                               |
| pAVK | Periphere arterielle Verschlusskrankheit |
| PFO  | Persistierendes Foramen ovale            |
| ®    | Registered trademark                     |
| SD   | Standardabweichung                       |
| TEA  | Thrombendarteriektomie                   |
| TKP  | Trikuspidalklappenplastik                |
| TM   | Trademark                                |
| VR   | Volume rendering                         |

## 1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Die mediane Sternotomie als operativer Zugangsweg zum Mediastinum wurde erstmals 1897 durch Milton beschrieben [49]. 1957 führte Julian et al. diese Technik erstmals in der Herzchirurgie ein [34]. Die Vorzüge durch die schnelle Eröffnung des Thorax, die optimale Darstellung des Herzens, sowie die gute Patienten-Verträglichkeit begünstigten die Etablierung der medianen Sternotomie als Standardzugang in der Herzchirurgie [45, 71, 95]. Trotz dieser Vorzüge besteht nach medianer Sternotomie mit einer Inzidenz von 0,3% – 5,0% die Gefahr einer sternalen Dehiszenz mit oder ohne Infektion [43], die mit einer hohen Morbiditäts- und erhöhten Mortalitätsrate von bis zu 40% vergesellschaftet ist [15, 26, 38, 57].

Definitionsgemäß lässt sich eine sternale Wunddehiszenz ohne den Nachweis eines Infektionsgeschehens von einer sternalen Wundinfektion unterscheiden. Bei Wundinfektionen wird weiter zwischen oberflächlicher, die Subcutis betreffende, und tiefer Wundinfektion – Mediastinitis differenziert [19].

Robicsek et al. definierte das Vorhandensein einer sterilen Sternuminstabilität in der frühpostoperativen Phase (1-2 Wochen postoperativ) als sternale Dehiszenz. Im Falle einer spät postoperativen Manifestation (>6 Monate) liegt ein ausbleibender Verknöcherungsprozess des frakturierten Sternums vor und man spricht von einer sterilen Pseudarthrose des Sternums [71].

Die Diagnose der sternalen Instabilität erfolgt meist klinisch. Bedingt durch die Reibung sternaler Fragmente imponieren Krepitationen, thorakale Schmerzen, sowie das Gefühl der unphysiologischen Thoraxbeweglichkeit [71, 76]. Neben starken thorakalen Schmerzen kann die sternale Instabilität zur Entwicklung von Tachypnoe und Hypoventilation führen und somit die Entstehung einer respiratorischen Insuffizienz begünstigen [71].

Sternumdehiszenzen lassen sich bezüglich des sternalen Frakturmusters in partielle und komplette knöcherne Dehiszenzen unterscheiden. Letztere werden nach Hendrickson et al. weiter in folgende 4 Schweregrade unterteilt [29]:

Grad I – komplette sternale Dehiszenz ohne zusätzliche Querfrakturen

Grad II - komplette sternale Dehiszenz mit unilateral vorhandenen Querfrakturen

Grad III - komplette sternale Dehiszenz mit bilateral vorhandenen Querfrakturen

Grad IV - komplette sternale Dehiszenz mit Verlust knöcherner Fragmente

Wenngleich die sterile Sternumdehiszenz definitionsgemäß nicht mit einem infektiösen Prozess einhergeht, so kann diese einen potentiellen Risikofaktor für die Entwicklung eines sternalen Wundinfektes darstellen [71, 76, 85]. Hypothetisch bewirkt die Sogwirkung durch den negativen Inspirationsdruck, bei Separation der Hautränder, eine intrathorakale Keiminvasion [15, 71, 76, 85]. Instabile, minderversorgte Knochenfragmente stellen ein optimales Nährmedium für Erreger dar und können den infektiösen Prozess begünstigen [25, 85]. Die stabile Fixierung beider Sternumhälften ist essentiell um Wundkomplikationen mit potenziell lebensbedrohlichen Folgen vorzubeugen [95]. Voraussetzung hierfür müssen bereits intraoperativ geschaffen werden, z.B. durch eine exakt median durchgeführte Durchtrennung des Sternums [51, 71]. Auch iatrogen verursachte Querfrakturen, z.B. durch Einsatz des Thoraxsperrers, sollten unbedingt vermieden werden [71]. Der klinische Einsatz von Elektrokautern und Knochenwachs zur Blutstillung kann ebenfalls den knöchernen Heilungsprozess schwächen [54, 70, 72, 73].

In der frühpostoperativen Phase wird die Adaption beider Sternumhälften lediglich durch die Haltekraft des Sternumverschluss-Systems erreicht. Asymmetrische Bewegungen des Oberkörpers in anterior-posteriorer oder kranio-kaudaler Richtung bewirken Verschiebungen der Sternumhälften gegeneinander [71]. Die stärkste Wirkung auf den Sternumverschluss haben jedoch lateral wirkende Zugkräfte durch den Muskelzug des Musculus (M.) pectoralis major und die inspiratorische Thoraxexpansion. Diese wirken genau entgegen der Haltekraft des Thoraxverschlusses [46, 71]. So kann beispielsweise in Folge eines Hustenanfalls eine Kraft von bis zu 75 kg pro Sternumhälfte in lateraler Ausrichtung hervorgerufen werden [9].

Eine im Jahre 2006 durchgeführte Befragung aller 79 deutscher kardiochirurgischen Kliniken ergab, dass in 87% der Fälle zum primären konventionellen Thoraxverschluss Drahtcerclagen genutzt werden [79]. Empfohlen wird pro 10 kg Körpergewicht eine Drahtcerclage mit einem Durchmesser von 0,7-0,9 mm [95].

Allgemein gilt, je straffer die Drahtcerclagen desto stabiler ist die Sternumfixierung. Andererseits besteht bei zu straffer Fixation das Risiko eines Cerclagenbruches. Außerdem können die Drahtcerclagen, insbesondere bei Osteoporose, in den Knochen einschneiden, wodurch die Haltewirkung des Sternumverschlusses aufgehoben wird [71].

Die Ausrichtung der sternalen Verdrahtung erfolgt in der Regel in transversaler Richtung [71, 79]. Hierbei können die Cerclagen transsternal, peristernal sowie abwechselnd trans- und peristernal gestochen werden [76, 95]. Bei der peristernalen Verschlusstechnik dient die widerstandsfähige Knochenkompakta als eine Art Verstärkung für die Drahtführung [79]. Ebenfalls besteht die Möglichkeit der transcostalen Verschlusstechnik, die vor allem nach großflächigen Sternumresektionen oder bei stark geschwächten Sterna angewandt wird [95]. Eine Alternative zur einfachen transversalen Verdrahtung stellt die sogenannte Kreuzstichtechnik („figure of eight“) dar. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass durch eine kreuzförmige Verdrahtung sowohl longitudinale wie auch horizontale Haltekräfte erzeugt werden, die eine Verschieblichkeit der Sternumhälften verhindern sollen [76]. Andere Möglichkeiten zur primären Thoraxfixierung sind der Verschluss mittels Doppeldrähten und Sternumbändern, durch deren größere Auflagefläche ein Durchschneiden der Cerclagen vermieden werden soll [95]. Besteht ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer postoperativen Sternumdehiszenz werden technisch modifizierte Verfahren des Sternumverschlusses, wie z.B. die von Robicsek et al. angewendet. Bei dieser Methode erfolgt nach parasternaler Stabilisierung durch eine bilaterale longitudinale Verdrahtung, die peristernale Cerclagenfixation. Auf diese Weise soll die Gefahr des transversalen Cerclageneinschneidens verhindert und das Risiko einer sternalen Separation reduziert werden [69].

Alternativ besteht die Möglichkeit der sternalen Fixation mittels Platten und Schrauben. In der Vergangenheit konnte anhand biomechanischer sowie tierexperimenteller Studien die Überlegenheit der sternalen Verplattung gegenüber der konventionellen Verdrahtung hinsichtlich des Verknöcherungsprozesses und der damit erzielten Sternumstabilität gezeigt werden [58, 59, 75]. Studien gaben Annahme dazu, dass sich die biomechanischen Vorteile positiv auf das klinische Outcome nach medianer Sternotomie auswirken würden [30, 65, 66, 83, 84].



Im Vergleich zur konventionellen Sternumverdrahtung ließ sich folgendes feststellen:

- Reduktion sternaler Wundinfekte nach medianer Sternotomie, vor allem in der frühpostoperativen Phase [65, 66, 83],
- Abnahme der Intubationszeit, der Dauer des Intensiv- sowie Gesamt-Klinikaufenthaltes [30, 83].

2012 konnten die Vorzüge der sternalen Plattenosteosynthese nach medianer Sternotomie gegenüber der konventionellen Verdrahtung in einer prospektiv randomisierten Multicenterstudie bestätigt werden. Nach primärer plattenosteosynthetischer Versorgung ließ sich eine Optimierung des sternalen Heilungsprozesses, eine Reduktion des Narkosebedarfs sowie eine Abnahme des Schmerzempfindens frühpostoperativ erzielen [64].

Trotz dieser Ergebnisse bleibt die sternale Fixation mittels Plattenosteosynthese eine Seltenheit. Ursächlich dafür sind vor allem die erhöhten Kosten, der längere Zeitaufwand und die Komplexität vieler Systeme sowie die dafür erforderliche Expertise [64, 65, 76, 95]. Die sternale Verplattung nach medianer Sternotomie erfolgt heutzutage insbesondere bei Patienten mit erhöhtem Risiko für die Entwicklung postoperativer Wundkomplikationen [76]. Häufiger als für den primären Gebrauch wird die plattenosteosynthetische Versorgung zur Therapie komplizierter sternaler Dehiszenzen verwendet.

In den Anfängen erfolgte die sternale Refixierung mit Platten verschiedener Rekonstruktionssysteme [10, 13, 50, 82], die initial zur osteosynthetischen Versorgung anderer Knochenstrukturen konzipiert wurden. Chase et al. beschrieb Ende der 90er seine Erfahrungen mit der plattenosteosynthetischen Versorgung des Sternums in longitudinaler Ausrichtung unter Verwendung von Mandibular Rekonstruktionsplatten der Firma Synthes<sup>®</sup> (Synthes U.S.A., Paoli, PA). Nach Stabilisierung beider Hemisterna mittels longitudinaler Verplattung erfolgte der Sternumverschluss durch konventionelle Drahtcerclagen [10]. Dieses Vorgehen erwies sich als eine hervorragende Option zur Therapie komplizierter sternaler Dehiszenzen [10, 50, 82], besonders im Falle multipler transversaler Frakturen [95].

Alternativ bestand die Möglichkeit der sternalen Rekonstruktion mittels transversal positionierter Miniplatten. Diese Methode der sternalen Stabilisierung wurde zunächst von einigen Autoren als problematisch beschrieben [10, 50, 82]. Ursächlich dafür war unter anderem die ineffektive Sternumstabilisierung im Falle eines großflächigen Wunddebridements [10]. Dieses Problem konnte durch lange winkelstabile Titanplatten, die eine transversale Fixierung im Bereich der Rippen ermöglichten, behoben werden [13]. Somit ließ sich auch nach ausgiebiger Sternumresektion eine stabile transversale Verplattung von Rippe zu Rippe erzielen [93]. Ein weiterer Grund für die zunächst zurückhaltende Haltung gegenüber der sternalen Plattenversorgung in transversaler Ausrichtung, war die erschwerte Wiederöffnung des Thorax bei einem kardialen Notfall [13, 50, 82].

Mit zunehmendem Einsatz von Platten zur sternalen Rekonstruktion und wachsender Expertise in deren Handhabung kam es zur Entwicklung spezieller Plattensysteme für die Herzchirurgie. Mit dem Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup> zur transversalen Stabilisierung und dem Modularen Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup> zur longitudinalen Fixation, entstanden Systeme zur sekundären Rekonstruktion komplizierter sternaler Dehiszenzen.

Mit der Herstellung des winkelstabilen Sternum-Fixationssystems aus Titan<sup>®</sup> wurde die von vielen Autoren [13, 50, 82] beschriebene Problematik der erschwerten Rethorakotomie in kardialen Notfällen behoben. Dies wurde durch einen medial platzierten Emergency Öffnungsstift erreicht, der eine Separation der transversal positionierten Platten und somit einen schnelleren intrathorakalen Zugriff ermöglichte [88].

Nach der Einführung spezieller Plattenosteosynthese-Systeme beschrieben einige Autoren anhand von Fallbeispielen, Case Reports oder kleinerer Operationsserien ihre Erfahrungen mit dem Gebrauch sternaler Osteosynthese-Sets zur sekundären Thoraxfixierung [11, 21, 27, 33, 40, 63, 80, 92-94]. Langzeitergebnisse fehlen jedoch.

**FRAGESTELLUNG**

Ziel dieser Studie ist die Untersuchung der Langzeitergebnisse von Patienten mit komplizierter sternaler Dehiszenz, die am Deutschen Herzzentrum München plattenosteosynthetisch versorgt wurden. Hierbei wurden folgende Punkte berücksichtigt:

- Sternumstabilität
- Rate an Wundkomplikationen (Infektion, Blutung, Serombildung)
- Notwendigkeit zur Materialrevision
- Schmerzproblematik

## 2. MATERIAL UND METHODEN

### 2.1. Systembeschreibung

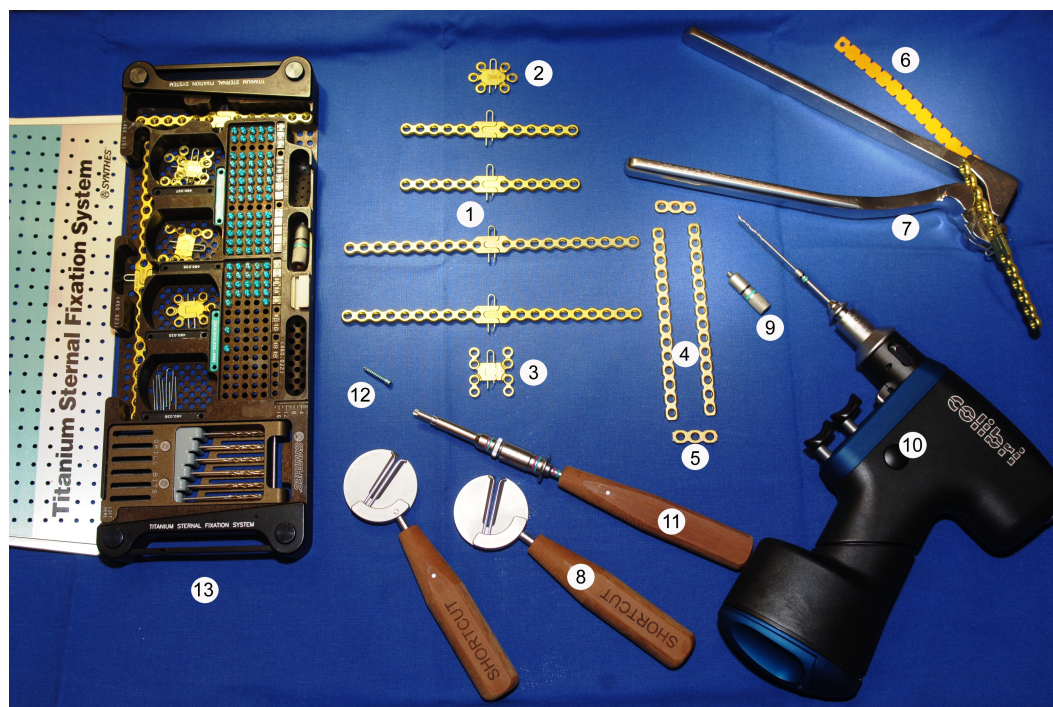
Zur Therapie sternaler Dehiszenzen wurden zwei Systeme der Firma Synthes® (Synthes GmbH, Oberdorf, Schweiz) verwendet:

Sternum-Fixationssystem aus Titan®

Modulares Sternum-Kabelsystem®

Der intraoperative Gebrauch der jeweiligen Systemelemente erfolgte anhand der firmeneigenen Anwendungsbroschüren [87, 88]. Die in der Arbeit verwendeten Systembilder wurden alle, bis auf Abb. 2 und 11, im Deutschen Herzzentrum München erstellt.

#### 2.1.1. Sternum-Fixationssystem aus Titan®



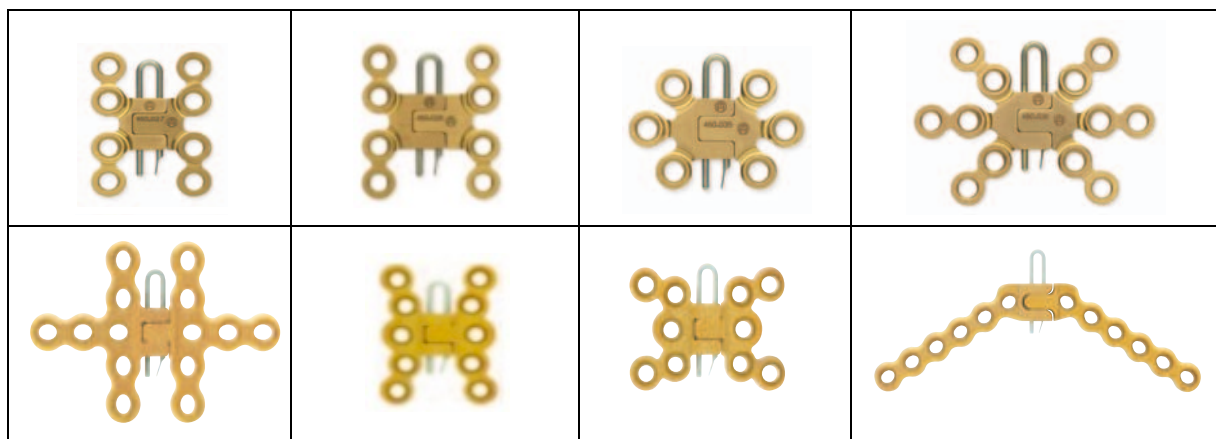
**Abbildung 1:** Sternum-Fixationssystem aus Titan® - Systemübersicht

(1) gerade Platte mit Emergency-Öffnungsstift, (2) sternförmige Verriegelungsplatte, (3) H-förmige Verriegelungsplatte, (4)\* gerade Platte ohne Emergency-Öffnungsstift, (5)\* kurze Querplatte, (6) Biegeschablone, (7) Biegezange, (8) Schneidezange, (9) Bohrbüchse mit Gewinde, (10) Spiralbohrer, (11) Schraubenzieher, (12) Schraube, (13) Werkzeugkasten; \*kein original Bestandteil des Sternum Fixationssystems

Das Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup> umfasst verschiedene winkelstabile Titanplatten zur Stabilisierung des Sternums. In Abhängigkeit der morphologischen Gegebenheiten und der individuellen sternalen Problematik, lassen sich folgende Verriegelungsplatten unterscheiden:

- 1.) Sternumkörper-Verriegelungsplatten
- 2.) Gerade Platten ohne Emergency-Öffnungsstift
- 3.) Gerade Platten mit Emergency-Öffnungsstift

Um eine knöcherne Konsolidierung im Bereich des Manubriums, des Corpus sterni und des Xiphoids zu erreichen, stehen unterschiedliche Verriegelungsplatten zur Verfügung:



**Abbildung 2:** Sternum-Verriegelungsplatten – Übersicht [88]

Eine Fragmentadaption im Bereich des Manubriums lässt sich durch den Gebrauch von H-, sowie sternförmigen Verriegelungsplatten erzielen. Die Fixierung mittels doppel-T-förmiger Verriegelungsplatten stellt im Falle geringer korpuskulärer Dehiszenzen das Mittel der Wahl dar. Bei Instabilität im distalen Sternalpol können winkelförmige Titanplatten eingesetzt werden.

Zur longitudinalen Stabilisierung sternaler Querfrakturen stehen gerade Platten unterschiedlicher Länge, ohne Emergency-Öffnungsstift, zur Verfügung (Diameter 2,4 mm) (Abb. 1).

Gerade Platten mit Emergency-Öffnungsstift (Diameter 2,4 mm, Länge 8, 12, 20, 30 Loch) ermöglichen einen transversalen Verschluss des Sternums durch beidseitige Fixierung im Bereich der Rippen. Die Titanplatten bestehen aus zwei gleich langen Plattenanteilen, die ineinander gesteckt und mittels des U-förmigen Öffnungsstiftes verriegelt werden (Abb. 3). Um ein Verrücken des Stiftes und eine daraus resultierende Lockerung der zentralen Plattenanteile zu verhindern, muss das schmale kaudale Ende des Öffnungsstiftes 20 bis 25 Grad nach medial gebogen werden (Abb. 4).



**Abbildung 3:** Titanplatte mit Emergency-Öffnungsstift vor Verriegelung

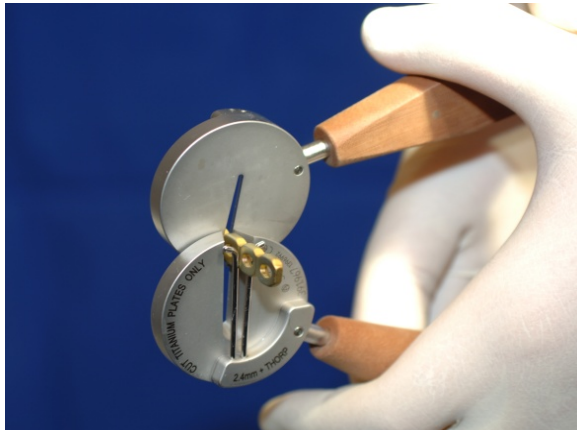


**Abbildung 4:** Titanplatte mit Emergency-Öffnungsstift nach Verriegelung

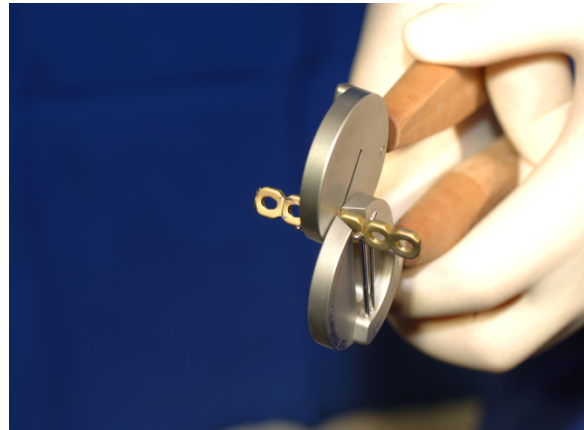
Diese Verschlusstechnik bietet bei einem kardialen Notfall die Möglichkeit einer schnellen Wiedereröffnung des noch nicht verknöcherten Sternums. Durch Entfernen des Emergency-Öffnungsstiftes wird die zentrale Verbindung beider Plattenanteile gelöst, die Sternumhälften getrennt und damit ein rascher intrathorakaler Zugriff ermöglicht. Die im Bereich der Rippen und am Sternum fixierten Plattenanteile müssen hierfür nicht zusätzlich entfernt werden. Durch Belassen des Osteosynthesematerials besteht die Option eines komplikationslosen Wiederverschlusses durch Neueinsetzen eines Emergency-Öffnungsstiftes.

Durch Nutzung einer Biegeschablone (Abb.1) können die Rekonstruktionsplatten auf die individuellen anatomischen Gegebenheiten angepasst werden. Die Modifizierung der Titanplatten erfolgt mittels einer Biegezange (Abb.1) unter Verwendung der angepassten Schablone. Modellierungen im Bereich des Plattenverschlusses sollten aufgrund der Gefahr des Plattenbruchs vermieden werden.

Durch den Gebrauch eines paarigen Shortcut<sup>TM</sup> Systems können die Platten auf die gewünschte Größe zurecht geschnitten werden. Hierfür werden die Schnittflächen beider Schneidezangen in entgegengesetzter Richtung über die Titanplatte geschoben (Abb.5). Dabei ist darauf zu achten, dass zwischen den Schnittflächen beider Schneidezangen kein Abstand besteht (Abb. 6). Durch das Zusammenführen beider Griffe erfolgt dann die Kürzung der Platte auf die notwendige Länge (Abb.7).



**Abbildung 5:** Einführen der Shortcut™ Zangen



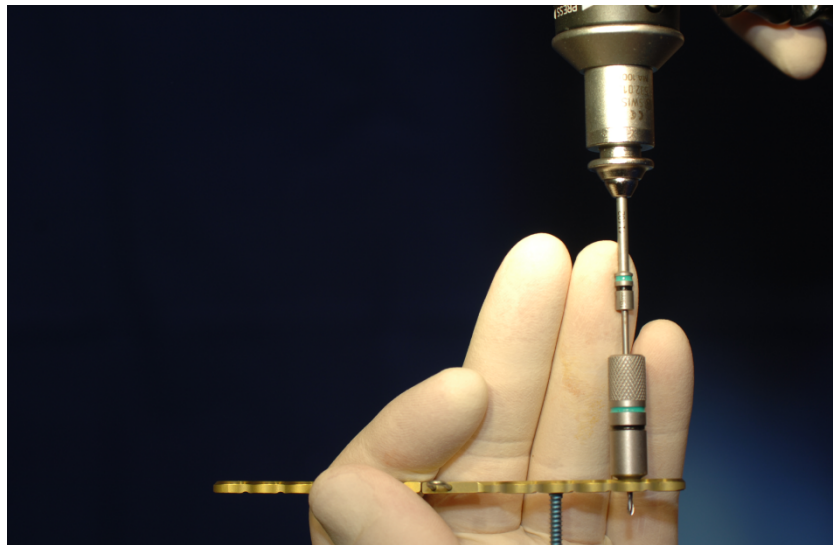
**Abbildung 6:** Positionierung der Shortcut™ Zangen



**Abbildung 7:** Kürzen durch Shortcut™ Zangen

Die Bohrung der erforderlichen Schraubenlöcher erfolgt durch Nutzung eines Spiralbohrers mit Anschlag (Diameter 1,5 mm, Länge 8-18 mm). Hierfür wird eine Bohrbüchse mit passendem Gewinde auf die Verriegelungsplatte geschraubt. Diese fungiert als Führungsschiene für den Spiralbohrer und gewährleistet die Positionierung des Schraubenlochs in einem 90 Grad Winkel zur Osteosyntheseplatte (Abb. 8).

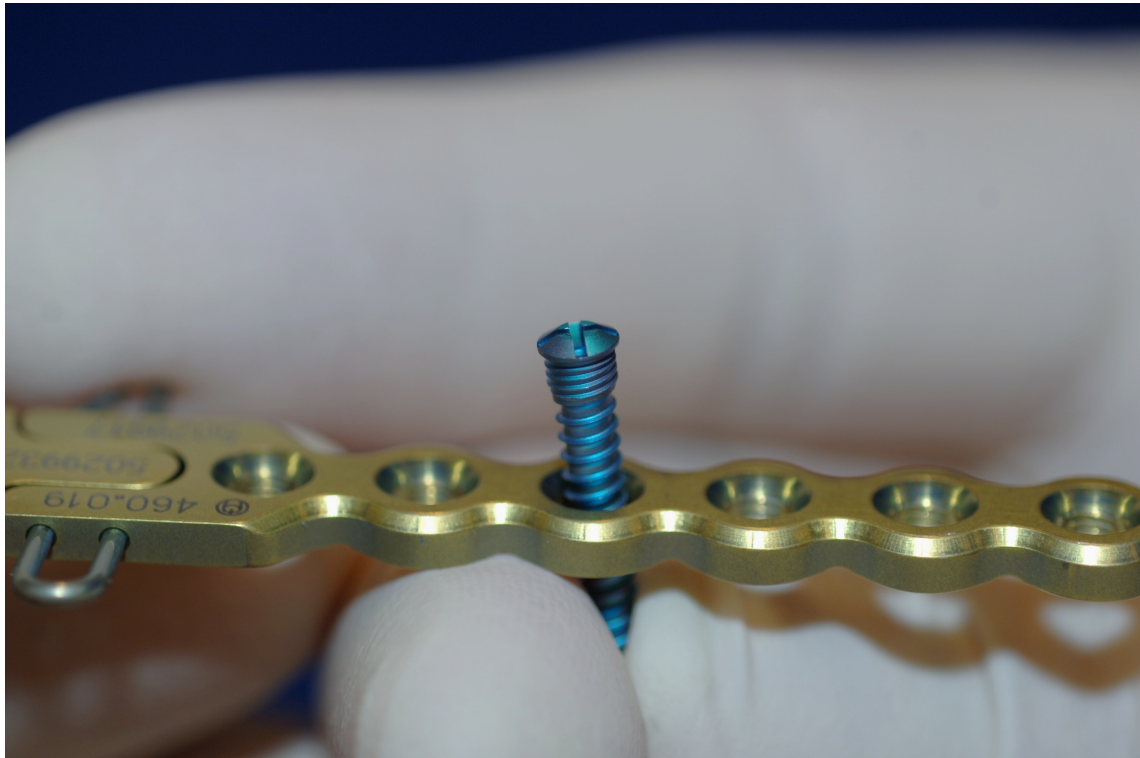




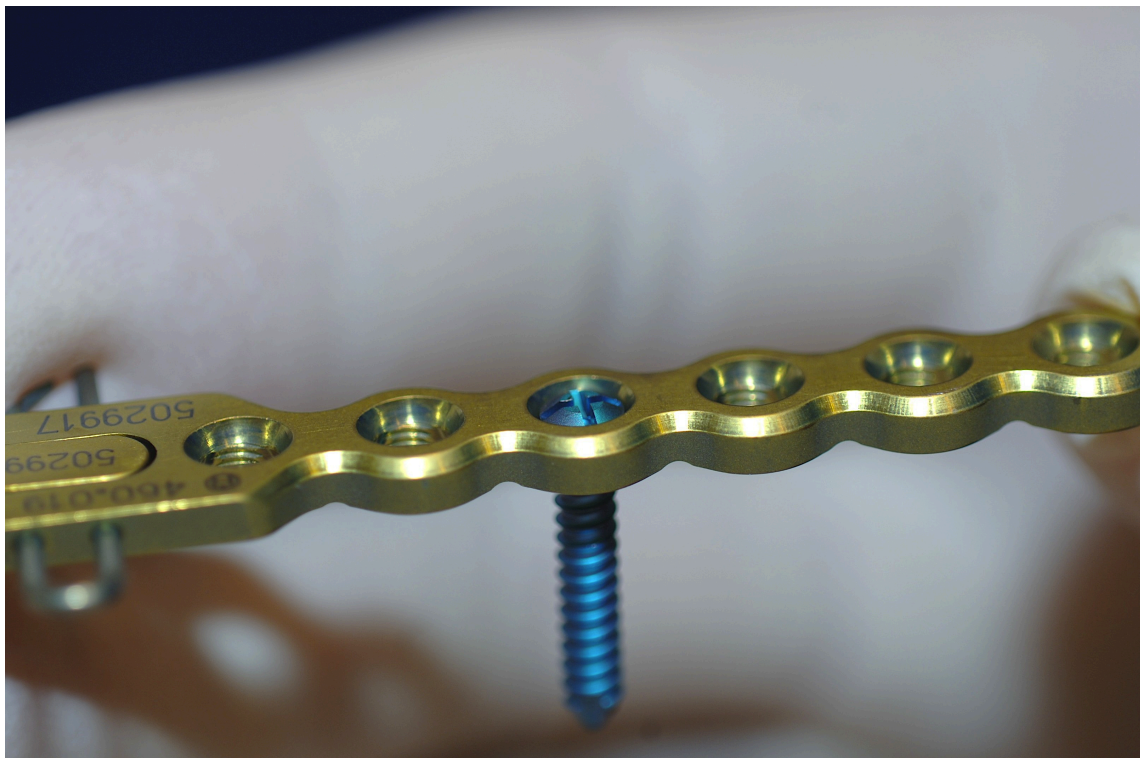
**Abbildung 8:** Platzierung des Schraubenlochs

Zur Befestigung der Titanplatten werden selbstschneidende oder selbstbohrende Verriegelungsschrauben aus Titan (Diameter 3 mm, Länge 8–18 mm) verwendet. Um die erforderliche Schraubenlänge festzulegen, muss der sternale Durchmesser bestimmt werden. Hierfür nutzt man ein Tiefenmessgerät. Auf diese Weise werden substernal liegende Strukturen (Gefäße, Intercostalnerven, Mediastinum, Pleura) geschützt.

Die Verriegelung der Schraube im Plattenloch erfolgt nach dem sogenannten „Locking-Prinzip“. Hierunter versteht man das Zusammenspiel des in der Verriegelungsplatte vorhandenen Gewindes und dem dazu passenden Spezialgewinde im Schraubenkopf (Abb. 9). Durch dieses Prinzip wird eine stabile Verankerung des Schraubenkopfes im Gewinde der Verriegelungsplatte erreicht (Abb. 10).

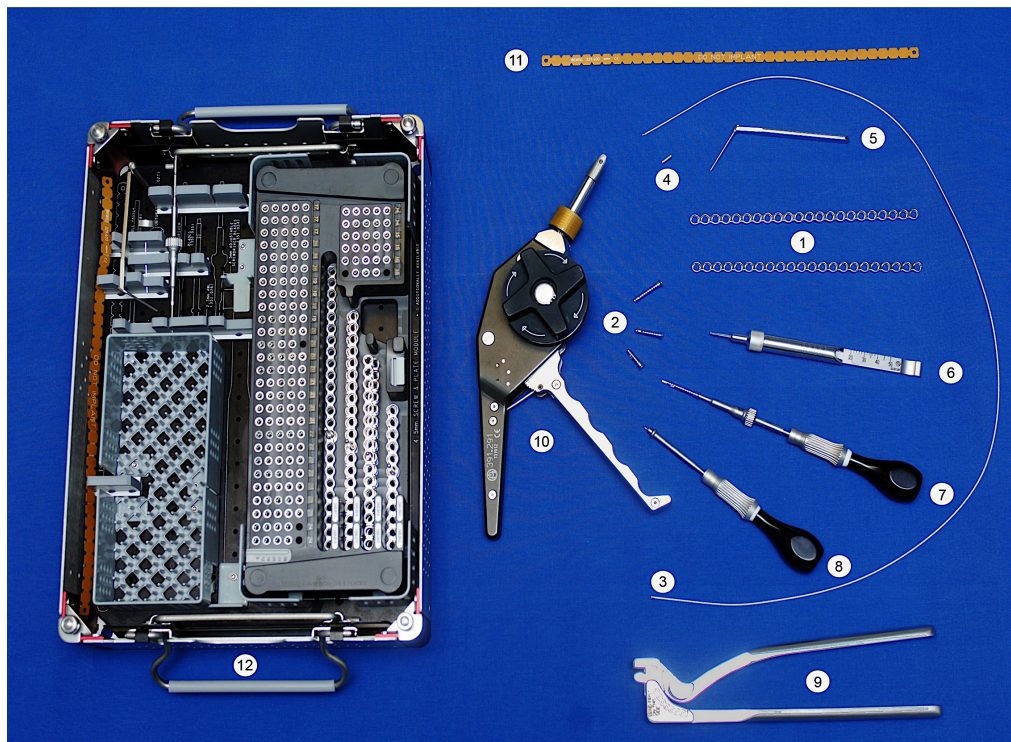


**Abbildung 9:** „Locking-Prinzip" – Verriegelungsplatte und Verriegelungsschraube



**Abbildung 10:** „Locking-Prinzip" - winkelstabile Verankerung

### 2.1.2. Modulares Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup>



**Abbildung 11:** Modulares Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup> - Systemüberblick

(1) Stahlplatten mit transversalen Bohrungen, (2) Hohlgeschrauben, (3) Stahlkabel, (4) Klemmhülse, (5) Kabelumführungsinstrument, (6) Tiefenmessgerät, (7) verstellbarer Sechskantschraubenzieher mit Spatelklinge, (8) Sechskantschraubenzieher, (9) Biegezange, (10) Spann-, Krimp-, und Schneideinstrument, (11) Biegeschablone, (12) Werkzeugkasten

Das Modulare Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup> enthält drei wesentliche Komponenten aus Edelstahl zur Stabilisierung des Sternums:

- 1.) Sternale Rekonstruktionsplatten zur longitudinalen Fixation
- 2.) Hohlgeschrauben
- 3.) Mehrfach verdrehte Sternum-Kabel

Die Sternum-Rekonstruktionsplatten haben eine Länge von 80–192 mm (10-24 Loch, Lochdurchmesser 1,2 mm), einen Durchmesser von 3 mm und weisen zusätzlich transversale Bohrungen auf (Durchmesser 1,2 mm). Diese ermöglichen eine transversale Kabelführung (Abb. 12). Die Stahlplatten werden analog zum Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup> mit Hilfe von Biegeschablone und Biegezange individuell modifiziert.



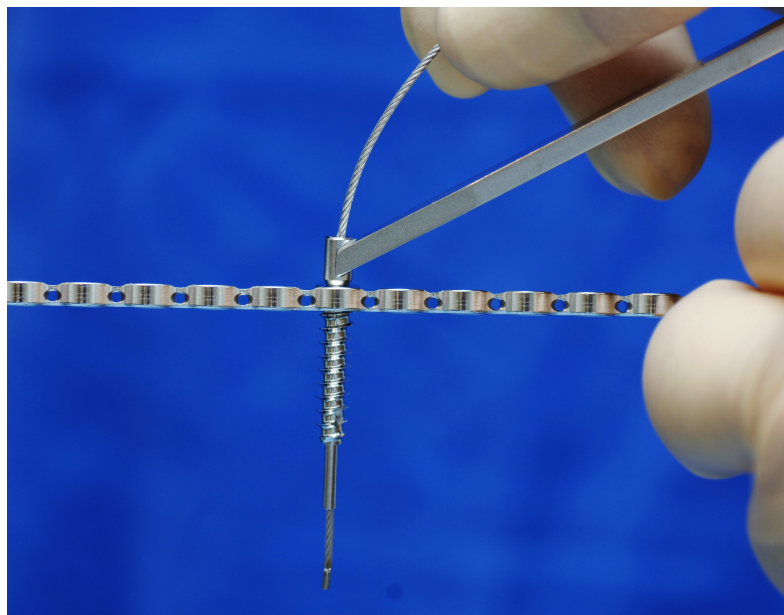
**Abbildung 12:** Stahlplatte mit transversalen Bohrungen

Zur Befestigung der Platten werden kanülierte, sechskantförmige Stahlschrauben verwendet (Diameter 4,5 mm, Länge 8-24 mm). Auch hier erfolgt die Auswahl der Schraubenlänge nach Bestimmung des sternalen Durchmessers mit einem Tiefenmessgerät. Das Eindrehen der selbstschneidenden Schrauben in den Knochen erfolgt durch den Gebrauch eines verstellbaren Sechskantschraubenziehers mit Spatelklinge. Hierfür wird der Schraubenzieher-Einsatz in das vorgesehene Handstück mit Sechskantkupplung gesteckt. Entsprechend der jeweiligen Schraubenlänge wird eine Schraubenzieher-Hülse bis zum Anzeigen der gewünschten Schraubenlänge gedreht. Im Anschluss wird die Hohlschraube auf den Schraubenzieher-Einsatz mit Spatelklinge aufgefädelt. Die Spatelklinge sollte hierbei ca. 2 mm über die Schraubenspitze hervorschauen (Abb. 13). Wird das Einschrauben aufgrund einer harten Knochenkompakta erschwert, ist eine Vorbohrung mit einer Ahle möglich (Diameter 2,7 mm, Sechskantkupplung).



**Abbildung 13:** Herausragen der Spatelklinge über Schraubenspitze

Die Adaption beider Sternumhälften wird durch das Anbringen von mehrfach verdrillten Stahlkabeln, mit einer Länge von 750 mm sowie einem Durchmesser von 1,0 mm, erzielt. Dafür wird ein Kabel von oben nach unten durch die kanülierte Schraube einer Sternumhälfte geführt. Das gleiche Procedere erfolgt in entgegengesetzter Richtung auf der kontralateralen Sternumseite. Um das Einfädeln des Stahlkabels durch die Hohlschraube zu erleichtern, steht ein Kabelumführungsinstrument zur Verfügung (Abb. 14).



**Abbildung 14:** Kabelumführungsinstrument

Zur Fixierung des Kabelsystems ergeben sich 2 Verschlussmöglichkeiten:

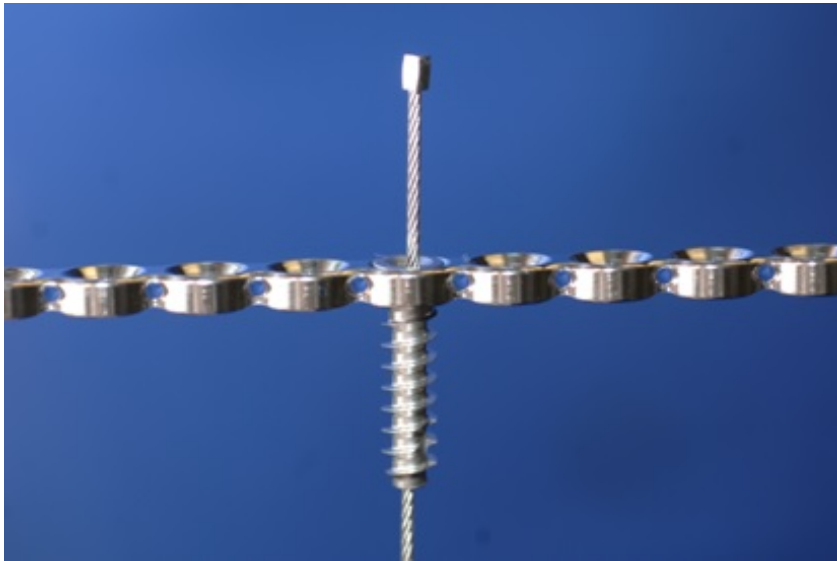
- 1.) Zunächst wird ein Parallel-Endstück auf das Stahlkabel aufgefädelt, das bündig am Kabelende zum Liegen kommt. Anschließend wird das Kabel durch die Hohlschrauben beider Sternumhälften geführt. Das überstehende Restkabel wird durch das Parallel-Endstück des Metallkabels gesteckt (Abb. 15). Unter Verwendung eines Spann-, Krimp- und Schneideinstruments wird eine Klemmhülse auf das Kabelende gefädelt und bündig an das Endstück platziert. Das überstehende Kabel wird im Uhrzeigersinn um das Spannrad des multifunktionalen Instruments geführt und gesichert.

Durch Drehen des Rades wird das Metallkabel gespannt und eine Stabilisierung des Sternums erreicht. Das Verkrümpfen der Klemmhülse sowie die Kürzung des überstehenden Kabels erfolgt parallel durch Zusammendrücken der Handgriffe des Instruments.



**Abbildung 15:** Kabelfixation Variante 1: Fixierung der Kabelenden im Parallelendstück [87]

- 2.) Das Kabel wird ohne Einsatz des Parallel-Endstückes durch die kanülierten Schrauben beider Hemisterna geführt. Dabei fixiert sich das Kabelende nach Durchzug in der ersten Schraube bündig von selbst (Abb. 16). Das Restkabel wird durch die zweite Schraube im Bereich des kontralateralen Hemisternums geführt (Abb. 17). Die Kabelsicherung erfolgt letztendlich durch das Einfädeln des Restkabels in ein transversales Plattenloch. Unter Verwendung des Universalgerätes wird das Kabel gespannt, mittels einer Klemmhülse befestigt und gekürzt (Abb. 18).



**Abbildung 16:**  
Kabelfixation Variante 2:  
Fixierung des  
Kabelendes in erster  
Hohlschraube



**Abbildung 17:**  
Kabelfixation Variante 2:  
Einfädeln des  
Restkabels



**Abbildung 18:**  
Kabelfixation Variante 2:  
Fixierung durch  
Klemmhülse

## 2.2. Patienten und Gruppeneinteilung

Von Dezember 2005 bis Februar 2011 wurden im Deutschen Herzzentrum München 45 Patienten mit komplizierter sternaler Dehiszenz nach medianer Sternotomie plattenosteosynthetisch versorgt. Die Indikation zur sekundären sternalen Fixierung war gegeben im Falle

- 1.) des gescheiterten Versuchs der konventionellen Reverdrahtung,  
und/oder
- 2.) vorhandener Risikofaktoren, die Annahme dazu gaben, dass eine erneute Verdrahtung des Sternums keine ausreichende Stabilität erzielen würde:
  - multiples frakturiertes Sternum
  - Body-Mass-Index (BMI) > 30
  - nahezu vollständiger Verlust des Sternums, z.B. nach Debridement.

Ein Teil des Patientenkollektivs wurde bereits in zwei Veröffentlichungen von Voss et al. publiziert [92, 94].

### Gruppeneinteilung

Das Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup> wurde bei 34 Patienten eingesetzt und technisch in 2 Variationen angewandt:

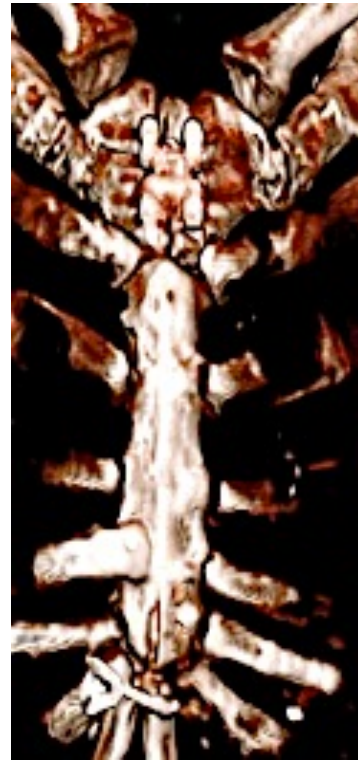
#### Gruppe I (n=21)

- ➔ Zur Behebung partieller Dehiszenzen im Bereich des Manubriums und/oder des Xiphoids wurden H-förmige Sternumkörper-Platten eingesetzt (n=4).
- ➔ Zur Therapie geringgradiger Dehiszenzen erfolgte die Kombination verschiedener Sternumkörper – Verriegelungsplatten (n=3).
- ➔ Zur Therapie ausgeprägter Instabilitäten wurde eine transversale Stabilisierung von Rippe zu Rippe durchgeführt. Hierbei erfolgte die alleinige Querverplattung des Sternums (n=3), oder eine transversale Verplattung in Kombination mit Sternumkörper-Platten (n=11).

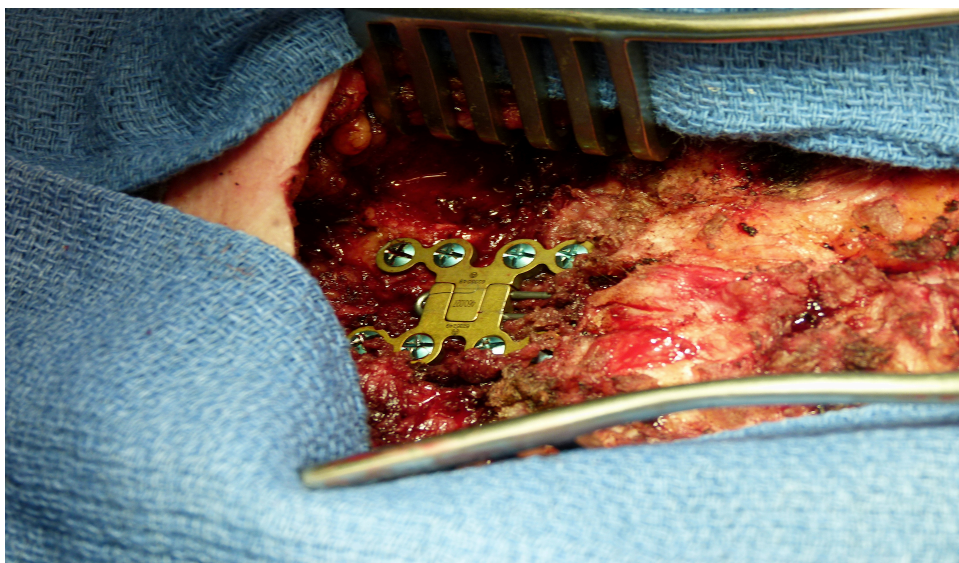


**Gruppe I – Therapie einer partiellen Dehiszenz im Bereich des Manubriums**

**Abbildung 19:** Präoperative Computertomographie bei Dehiszenz im Bereich des Manubriums



**Abbildung 20:** Postoperative Computertomographie nach Plattenosteosynthese



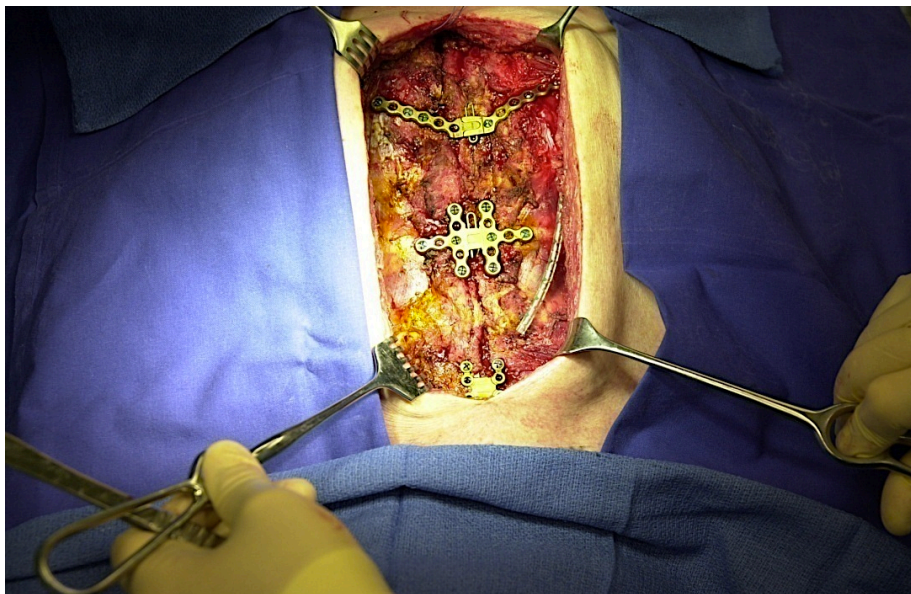
**Abbildung 21:** Intraoperative Darstellung: Versorgung der Dehiszenz im Bereich des Manubriums mit H-förmiger Verriegelungsplatte

**Gruppe I – Therapie einer geringgradigen Dehiszenz des gesamten Sternums**

**Abbildung 22:** Präoperative Computertomographie bei geringer Dehiszenz



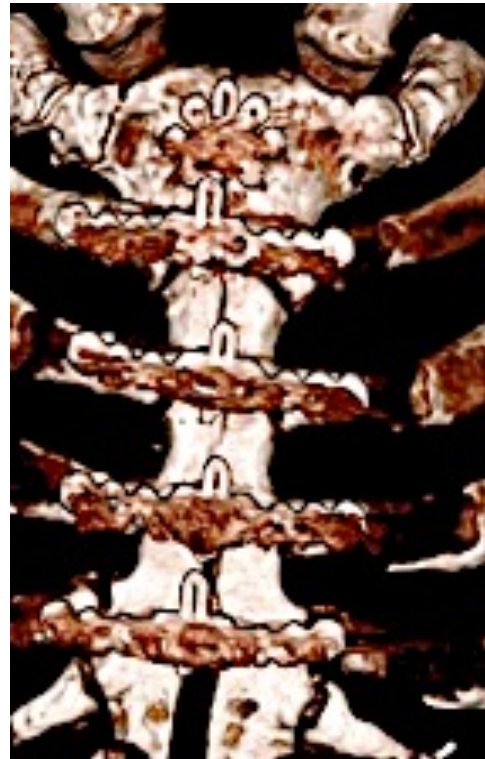
**Abbildung 23:** Postoperative Computertomographie nach Plattenosteosynthese



**Abbildung 24:** Intraoperative Darstellung: Stabilisierung des Xiphoids durch eine winkelförmige Platte, Stabilisierung des Corpus sterni durch eine doppel-T-förmige Platte, Stabilisierung des Manubriums durch eine H-förmige Platte

**Gruppe I – Therapie einer ausgeprägten sternalen Instabilität**

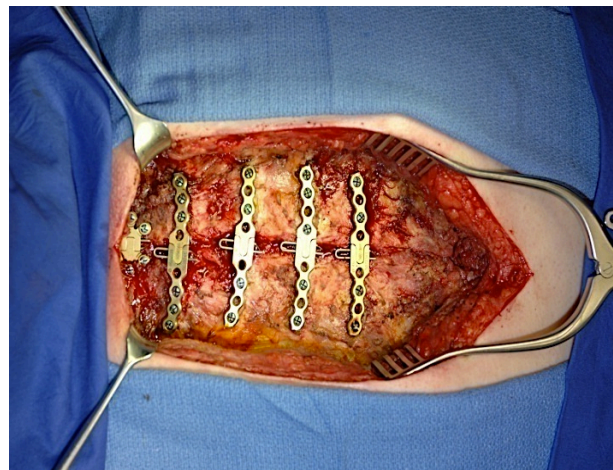
**Abbildung 25:** Präoperative Computertomographie bei ausgeprägter Instabilität



**Abbildung 26:** Postoperative Computertomographie nach Plattenosteosynthese



**Abbildung 27:** Intraoperative Darstellung: Zustand nach Wunddebridement



**Abbildung 28:** Intraoperative Darstellung: Stabilisierung des Sternumkörpers mittels 4-fach Verplattung von Rippe zu Rippe, sowie Stabilisierung des Manubriums durch eine sternförmige Platte

**Gruppe II (n=13)**

Bei Patienten mit multiplen Querfrakturen und/oder großflächigen Knochenresektionen wurden die Platten des Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup> in longitudinaler Ausrichtung auf das Sternum aufgeschraubt. Bei erheblichem Knochenverlust erfüllten die longitudinalen Osteosyntheseplatten die Funktion eines „Neosternums“.

Die Adaption und Querstabilisierung der verplatteten Hemisterna wurde mit einer der drei folgenden Techniken erreicht:

- Drahtcerclagen (n=2)
- Drahtcerclagen in Kombination mit kleinen 3 Loch-Querplatten (n=7)
- Drahtcerclagen in Kombination mit einer, maximal zwei 10-12 Loch-Querplatten (n=3)

Eine zusätzliche Querverstärkung mit kurzen 3 Loch-Platten wurde bei Patienten mit einem BMI größer 30 angebracht. Die transversale Verstrebung mit 10-12 Loch-Platten war aufgrund extremer Sternum- und Rippenteilresektionen notwendig.

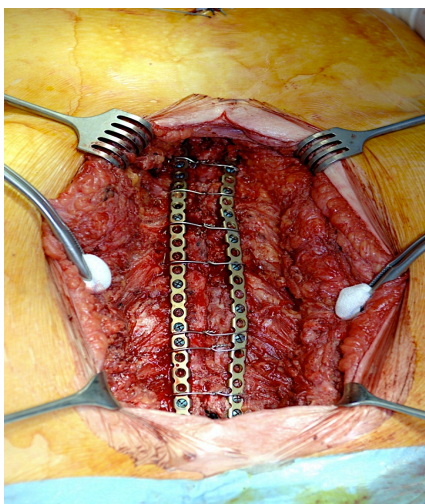
In einem Fall wurde die longitudinale Verplattung genutzt, um eine Kontinuitätsunterbrechung zwischen Manubrium und Corpus sterni zu beheben. Eine zusätzlich vorhandene Dehiszenz im Bereich des Manubriums erforderte eine weitere Stabilisierung mittels einer kleinen H-förmigen Verriegelungsplatte.

**Gruppe II – Therapie multipler Querfrakturen**

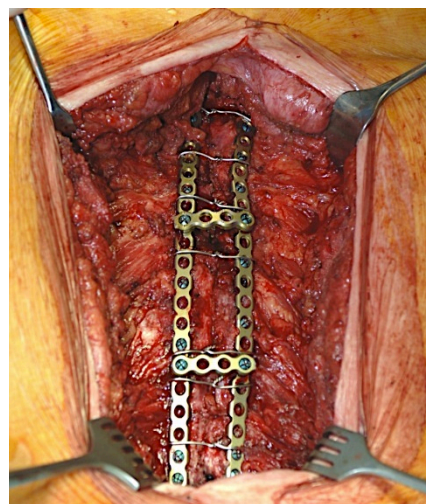
**Abbildung 29:** Präoperative Computertomographie bei sternalen Querfrakturen



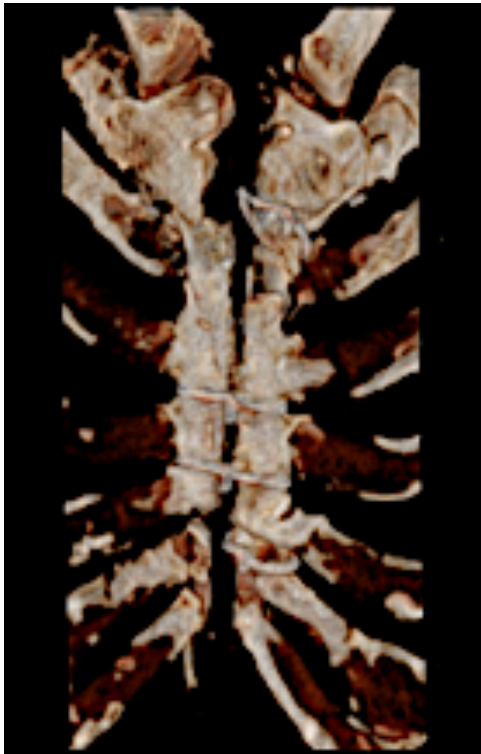
**Abbildung 30:** Postoperative Computertomographie nach Plattenosteosynthese



**Abbildung 31:** Intraoperative Darstellung: Stabilisierung der Frakturen durch longitudinale Verplattung



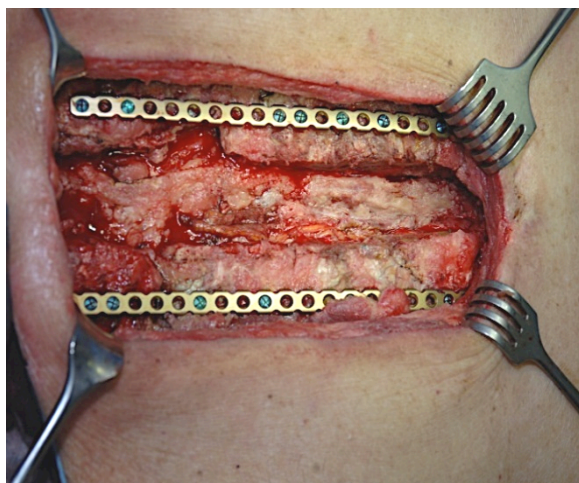
**Abbildung 32:** Intraoperative Darstellung: zusätzliche Querstabilisierung durch kurze Platten

**Gruppe II – Therapie einer ausgeprägten Instabilität nach Knochenresektion**

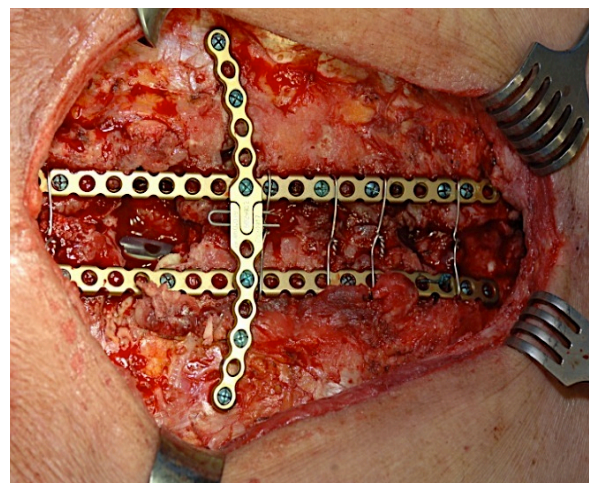
**Abbildung 33:** Präoperative Computertomographie bei multiplen Frakturen



**Abbildung 34:** Postoperative Computertomographie nach Plattenosteosynthese



**Abbildung 35:** Intraoperative Darstellung: ausgiebiges Knochendebridement und longitudinale Verplattung



**Abbildung 36:** Intraoperative Darstellung: zusätzliche Querstabilisierung mit einer 12 Loch-Querplatte

**Gruppe III (n=11)**

Das Modulare Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup> wurde bei 11 Patienten eingesetzt. Das Ziel war hierbei:

- ➔ Im Sinne eines Neosternums eine sternale Rekonstruktion nach großflächiger Knochenresektion zu erzielen,
- ➔ Eine Stabilisierung multipler Querfrakturen zu erlangen.

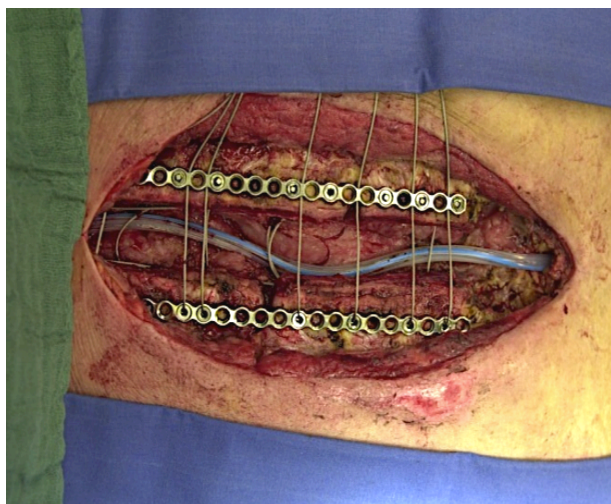
In 9 Fällen (Gruppe I n=4, Gruppe II n=3, Gruppe 3 n=2) ging der Plattenosteosynthese ein ein- bzw. mehrmaliger Versuch der konventionellen Reverdrahtung voraus.

**Gruppe III – Therapie multipler Querfrakturen**

**Abbildung 37:** Präoperative Computertomographie bei Sternumfrakturen



**Abbildung 38:** Postoperative Computertomographie nach Verplattung und Kabelfixation



**Abbildung 39:** Intraoperative Darstellung: Stabilisierung der Querfrakturen durch longitudinale Verplattung beider Hemisterna



**Abbildung 40:** Intraoperative Darstellung: Adaption der Hemisterna durch Kabel



## **2.3. Operative Technik**

### **2.3.1. Allgemeines operatives Vorgehen**

Der Eingriff wurde in Intubationsnarkose durchgeführt. Die Arme des Patienten wurden seitlich am Körper positioniert, um einen Zug auf die Pectoralismuskulatur zu vermeiden. Der Operationssitus wurde steril abgewaschen und abgedeckt. Nach Exzision der alten Sternotomienarbe wurde das Subcutangewebe bis auf das Sternum durchtrennt. Sowohl intakte als auch gerissene Drahtcerclagen wurden entfernt. Danach wurde das Sternum nach folgenden Kriterien beurteilt:

- 1.) Grad der sternalen Dehiszenz
- 2.) Vorliegen einzelner bzw. multipler Frakturen
- 3.) Vorhandensein einer Infektion
- 4.) Bestimmung der Knochenqualität

Die Wundfläche wurde mit einer Polyvidon-Iod Lösung (Betaisodona) gespült. Nach Mobilisierung der Sternumränder wurden diese mit einer oszillierenden Säge oder alternativ mit einem scharfen Löffel angefrischt, bis blutender Knochen sichtbar war. Die Osteosyntheseplatten beider Systeme wurden in einer Betaisodona Lösung getränkt, bevor sie am Sternum und/oder an den Rippen befestigt wurden. In allen Gruppen war der direkte Kontakt von Metallen unterschiedlicher Wertigkeit zu vermeiden. Der jeweiligen Systembeschreibung entsprechend, wurde das Osteosynthesematerial den anatomischen Gegebenheiten angepasst, modifiziert und befestigt.

### **2.3.2. Operative Technik in Gruppe I**

Zur transversalen Platzierung der Titanplatten wurde der M. pectoralis major beidseits entlang der Rippen bis zur Linea medioclavicularis freipräpariert. Unter Anwendung der Sternumkörper-Verriegelungsplatten war die Mobilisierung weniger ausgeprägt.

Die Adaption der Sternumhälften war durch zwei Verfahren möglich:

- 1.) Drahtcerclagen
- 2.) Sternum-Repositionszangen

Nach Fragmentadaption mittels Drahtcerclagen wurden diese, sofern kein Plattenkontakt bestand, belassen. Ließ sich der Kontakt zwischen Drahtcerclagen und Titanplatten nicht vermeiden, mussten die Stahldrähte wieder entfernt werden. Der Grund dafür war das potentielle Risiko der Entwicklung elektromagnetischer Ströme unter den verschiedenen Metallen.

Die Platten wurden mit dem Verschlussmechanismus im medialen Anteil des Sternums positioniert. Der Emergency-Öffnungsstift zeigte mit der geschlossenen Seite nach kranial. Anschließend wurden die Platten beidseits der Mittellinie mit je 3-5 Schrauben auf dem Reststernum bzw. den Rippen (vorrangig 2.-6. Rippe) fixiert. Im medialen Abschnitt des Sternums war auf eine bikortikale Positionierung der Schrauben zu achten.

### **2.3.3. Operative Technik in Gruppe II**

Der M. pectoralis major wurde nur soweit mobilisiert, bis das Sternum sichtbar war. Im Falle einer vorausgehenden Sternumresektion wurden zusätzlich die angrenzenden Rippen freipräpariert. Die Verstärkung der rechten und linken Sternumhälfte wurde durch das Anbringen von zwei Titanplatten in longitudinaler Ausrichtung erreicht. Die Osteosyntheseplatten wurden im Bereich stabiler Sternumabschnitte, bzw. im Falle eines großflächigen Debridements an den superioren Rippenabschnitten befestigt. Dafür waren jeweils 5-10 Titanschrauben notwendig. Beide Sternumhälften wurden anschließend durch Drähte refixiert. Hierfür wurden Titan- (n=4) oder Stahldrähte (n=9) verwendet. Diese wurden lateral der Platten durch die Rippenköpfchen gestochen und zusammengezogen. Eine zusätzliche Querstabilisierung mit ein bis zwei 3 Loch-Platten war bei einem BMI über 30 angebracht.

### **2.3.4. Operative Technik in Gruppe III**

Nach Mobilisierung des M. pectoralis major beidseits wurden beide Sternumhälften jeweils mit einer longitudinal positionierten Stahlplatte stabilisiert. Zur Befestigung der Stahlplatten waren ca. 5-10 Schrauben pro Platte notwendig.

Hierbei wurde darauf geachtet, dass jedes 2.-3. Plattenloch durch eine Hohlschraube belegt war. Im Bereich von Querfrakturen wurde keine Platzierung der Schrauben vorgenommen. Diese erfolgte lediglich an solidem Knochen bzw. im Falle einer vorausgegangenen Sternumresektion an den Rippenköpfchen. Bei nahezu allen Patienten wurde das Sternum durch 4-9 Kabelzüge (n=10) refixiert. Bei einem Patient erfolgte die Stabilisierung des Sternums durch den alleinigen Gebrauch von 8 Drahtcerclagen und zwei kurzen Querplatten. Vor Befestigung des Kabelsystems wurden beide Sternumhälften mit Hilfe von Sternumrepositionszangen oder mit 2-4 Drahtcerclagen (n=8) adaptiert. Die Fixierung der einzelnen Kabelzüge wurde durch eine transversale Kabelsicherung erreicht. Bei vorhandenen Querfrakturen wurde die transversale Kabelführung oberhalb des Bruchspaltes vorgenommen.

In allen drei Gruppen erfolgte der Wundverschluss schichtweise nach Mobilisation des M. pectoralis major beidseits mit Einlage zweier subpectoraler Redondrainagen (Durchmesser 12 mm). Die Hautnaht wurde fortlaufend intracutan genäht oder im Falle von vorbestehenden Infektionen geklammert.

### **2.3.5. Operatives Vorgehen bei sternaler Wundinfektion**

Im Falle einer sternalen Infektion wurde folgendermaßen vorgegangen:

- ➔ Entnahme von Wundabstrichen
- ➔ Entnahme von Knochenbiopsien bei Verdacht auf Osteomyelitis
- ➔ Exzision der Wundränder
- ➔ Resektion nekrotischen Gewebes, bis blutendes Gewebe sichtbar war
- ➔ Resektion vorhandener Knochensequester und nekrotischen Knochens

Anschließend wurde eine Jet Lavage mit 3 Liter warmer Kochsalzlösung durchgeführt. Nach einer Polyvidon-Jod-Spülung wurde ein Vakuumpumpen-Verband angelegt. Bei freiliegenderm Herzen wurde ein weißer Polyvinylalkohol-Schwamm eingelegt. Darüber folgte im Subcutangewebe die Platzierung eines schwarzen Polyurethan-Schwammes. Der Wundbereich wurde mit einer Polyurethan-Folie verschlossen und ein Sog von 70-125 mmHg eingestellt.

Bei dem Großteil der Patienten mit sternaler Infektion (n=19/23) war eine mehrmalige Vakuumpumpen-Therapie notwendig ( $3\pm 2^*$ ). Der Verbandswechsel erfolgte im Durchschnitt nach  $5\pm 2^*$  Tagen (Median 5 Tage, Maximum 11 Tage, Minimum 3 Tage). Lediglich bei einer geringen Anzahl an Patienten (n=4/23) reichte eine einmalige Vakuumpumpen-Therapie aus, um sterile Wundergebnisse zu erzielen. Vor Erhalt des Abstrichergebnisses wurde initial eine empirische Antibiose mit Vancomycin eingeleitet. Nach mikrobiologischer Befundung wurde diese dem Antibiogramm entsprechend angepasst.

\*Die Daten werden als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung angegeben.

## **2.4. Nachuntersuchung**

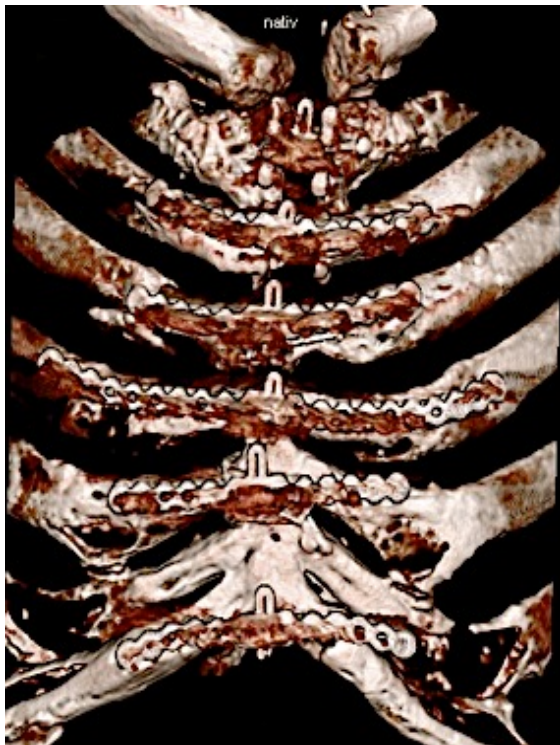
Die Nachuntersuchungen zur Beurteilung der Langzeitergebnisse nach sternaler Plattenosteosynthese wurden durch ein positives Ethikvotum der Technischen Universität München mit der Projektnummer 4087/11 genehmigt.

### **2.4.1. Thorakale Computertomographie**

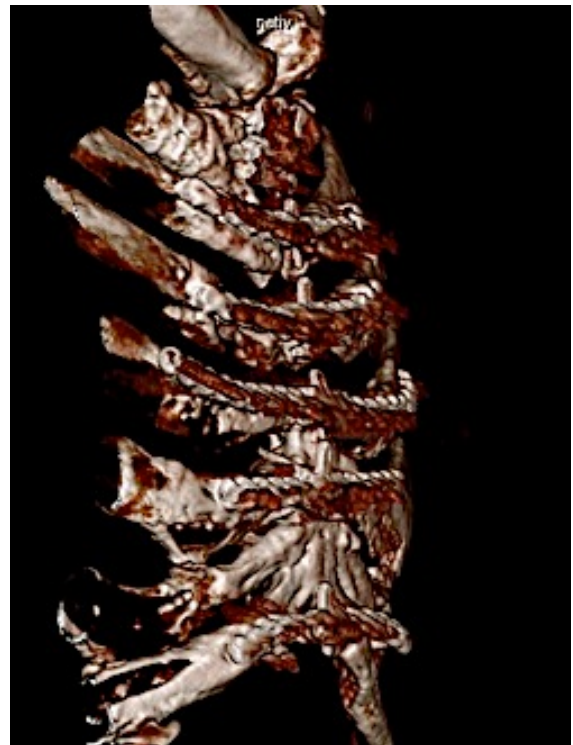
Die Beurteilung der sternalen Stabilität sowie die Überprüfung der korrekten Lage des Osteosyntesematerials erfolgten standardmäßig durch eine computertomographische Untersuchung der Sternumregion. Bei 4 Patienten wurde keine bildgebungsgestützte Nachuntersuchung vorgenommen, da diese eine thorakale Computertomographie (CT) ablehnten.

Die Untersuchung erfolgte unter schriftlicher Einverständniserklärung der Patienten und wurde im Durchschnitt  $330\pm 327$  Tage nach sternaler Plattenrekonstruktion durchgeführt (Median 217 Tage). Die Aufnahmen wurden ohne Kontrastmittel, in Rückenlage und tiefer Inspiration mit einem Somatom Definition Flash CT der Firma Siemens durchgeführt. Die Untersuchung erfolgte mit einer Kollimation von 0,6 mm und einer rekonstruktiven Schichtdicke von 1 bzw. 2 mm. Es wurden zusätzlich multiplanare Rekonstruktionen sowie Bildrekonstruktionen in dreidimensionaler Technik (volume rendering Technik=VR Technik) vorgenommen.

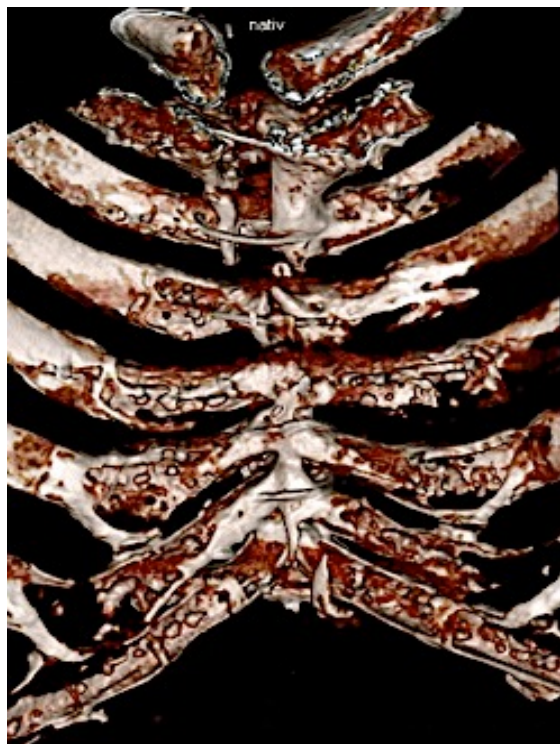
Die bildgebende Untersuchung dauerte pro Person zwischen 5 bis 10 Minuten. Zum Vergleich wurden die jeweiligen präoperativen CT Befunde hinzugezogen.



**Abbildung 41:** CT Sternum in VR Technik, Ansicht von ventral



**Abbildung 42:** CT Sternum in VR Technik, Ansicht von lateral



**Abbildung 43:** CT Sternum in VR Technik, Ansicht von dorsal

Anhand der Bildgebung wurden folgende Parameter beurteilt:

- Fragmentadaption der Sternumhälften
- Korrekte Lage sowie Intaktheit des Osteosynthesematerials
- Verletzung bzw. Penetration umgebener Organe durch Osteosynthesematerial
- Vorhandensein von Weichteilprozessen (z.B. Infektzeichen)
- Vorhandensein eines prä- oder retrosternalen Flüssigkeitsverhaltes
- Knöcherne Konsolidierung des Sternums

Der Grad des sternalen Verknöcherungsprozesses wurde folgendermaßen definiert:

- 1.) War der Osteotomiespalt vollständig erkennbar, wurde dies als **nicht** knöchern konsolidiert klassifiziert.
- 2.) Eine beginnende Sklerosierung der Sternumfragmente und ein noch größtenteils einsehbarer Osteotomiespalt wurden als **gering** knöchern konsolidiert beschrieben.
- 3.) Eine **weitgehende** sternale Konsolidierung lag vor, wenn sich der Großteil des Osteotomiespaltes unscharf darstellte und nur noch partielle Dehiszenzen vor allem im Bereich des Manubriums und/oder des Xiphoids, teilweise mit beginnender Randsklerosierung, vorhanden waren.
- 4.) Eine **vollständige** Durchbauung des Osteotomiespaltes wurde als vollkommene knöcherne Konsolidierung definiert.

### 2.4.2. Klinische Nachuntersuchung

Unter dem Aspekt des Langzeit-Outcomes nach sternaler Plattenosteosynthese wurden die Patienten im Zeitraum von November 2010 bis Juni 2011 klinisch und anamnestisch untersucht. Das klinische Follow-up nach plattenosteosynthetischer Versorgung erfolgte somit durchschnittlich nach  $2,35 \pm 1,70$  Jahren.

Die klinische Untersuchung umfasste die Inspektion der Sternotomiewunde. Hierbei wurde auf das Vorhandensein lokaler Entzündungsprozesse, wie Rötung, Schwellung oder offene Wundstellen im Bereich des Operationsgebietes geachtet. Die Beurteilung der Narbenqualität und des allgemeinen ästhetischen Ergebnisses war ebenfalls Teil der Untersuchung. Weiterhin erfolgte eine neurologische Begutachtung der Brustwand.

Die Ergebnisse der neurologischen Untersuchung wurden folgendermaßen klassifiziert:

- ➔ keine neurologischen Auffälligkeiten
- ➔ Sensibilitätsstörungen in Form von Hyperästhesien
- ➔ Sensibilitätsstörungen in Form von Dysästhesien
- ➔ Sensibilitätsstörungen in Form von Hypästhesien

Die Haut wurde prästernal sowie lateral der Sternotomiewunde mit einem Wattestäbchen und einem Spatel bestrichen bzw. punktuell berührt. Bei dem Test wurde der Patient angeleitet mit verschlossenen Augen seine Empfindungen zu beschreiben, bspw.: vermindert oder verstärkt spürbar, nicht spürbar, schmerzhaft.

Anhand der Rekapillarierungszeit und dem Vorhandensein sichtbarer lymphatischer oder venöser Stauungen im Bereich der Sternotomiewunde, wurden potentielle Durchblutungsstörungen festgestellt. Zur Bestimmung der sternalen Stabilität wurde ein manueller Drucktest durchgeführt. Dieser ermöglichte zugleich die Beurteilung einer prästernalen Druckschmerzhaftigkeit.

Zuletzt wurden die klinischen Untersuchungsergebnisse dokumentiert (Abb. 44) und der sternale Befund photographisch festgehalten (Abb. 45).



Darstellung des klinischen Untersuchungsbogens:

|  |
|--|
| <b>Beurteilung der Sternotomienarbe</b>  |
| <input type="checkbox"/> Narbenhypertrophie<br><input type="checkbox"/> keine Narbenhypertrophie<br><input type="checkbox"/> eingesunkene Narbe<br><input type="checkbox"/> flache Narbe<br><input type="checkbox"/> nach außen gewölbte Narbe<br><input type="checkbox"/> Pigmentierung vorhanden<br><input type="checkbox"/> keine Pigmentierung vorhanden |
| <b>Neurologische Auffälligkeiten</b>   |
| <input type="checkbox"/> Hyperästhesie<br><input type="checkbox"/> Dysästhesie<br><input type="checkbox"/> Hypästhesie   |
| <b>Durchblutungsstörungen im Bereich des Operationsgebietes</b>  |
| <input type="checkbox"/> ja<br><input type="checkbox"/> nein   |
| <b>Manueller Drucktest</b>   |
| <input type="checkbox"/> Sternum stabil<br><input type="checkbox"/> Sternum instabil<br><input type="checkbox"/> Druckschmerz nicht vorhanden<br><input type="checkbox"/> Druckschmerz vorhanden   |
| <b>Ästhetisches Ergebnis</b>   |
| <input type="checkbox"/> sehr gut<br><input type="checkbox"/> gut<br><input type="checkbox"/> mäßig<br><input type="checkbox"/> schlecht<br><input type="checkbox"/> sehr schlecht   |

**Abbildung 44:** Untersuchungsbogen

Fotodokumentation:



**Abbildung 45:** Fotodokumentation der Sternotomienarbe

### 2.4.3. Anamnestiche Nachuntersuchung

Bei jedem Patient erfolgte eine standardisierte Anamneseerhebung, mit Fragen bezüglich:

- 1.) des Vorhandenseins von Komorbiditäten, Alkohol- bzw. Nikotinkonsum
- 2.) des Gewichts und der Größe
- 3.) der Schmerzproblematik nach erfolgter Plattenrekonstruktion
- 4.) der temporären Schmerzproblematik
- 5.) des Allgemeinbefindens

Zur Erleichterung der Anamneseerhebung stand ein standardisiertes Formblatt zur Verfügung (Abb. 46). Im Anschluss wurden die gesammelten Daten anonymisiert in der Datenbank ergänzt.

Darstellung des anamnestischen Formblattes:

| <b>Risiken für sternale Komplikationen</b>   |
|--|
| Gewicht  |
| Größe  |
| Vorliegen eines Diabetes mellitus  |
| Vorliegen einer Hypercholesterinämie   |
| Vorliegen einer peripher arteriellen Verschlusskrankheit   |
| Vorliegen einer chronisch obstruktiven Lungenerkrankung  |
| Nikotinabusus  |
| Alkoholabusus  |
| <b>Probleme nach sternaler Plattenrekonstruktion</b>   |
| Schmerzproblematik unmittelbar nach Plattenosteosynthese   |
| <input type="checkbox"/> kein Schmerz<br><input type="checkbox"/> mäßiger Schmerz<br><input type="checkbox"/> mittelstarker Schmerz<br><input type="checkbox"/> starker Schmerz<br><input type="checkbox"/> unerträglicher Schmerz |
| Atemprobleme   |
| <b>Temporäres Befinden des Patienten</b>   |
| Aktuelle Schmerzproblematik  |
| <input type="checkbox"/> kein Schmerz<br><input type="checkbox"/> mäßiger Schmerz<br><input type="checkbox"/> mittelstarker Schmerz<br><input type="checkbox"/> starker Schmerz<br><input type="checkbox"/> unerträglicher Schmerz |
| Schmerzcharakteristik  |
| <input type="checkbox"/> atemabhängige Schmerzen<br><input type="checkbox"/> Druckschmerz<br><input type="checkbox"/> Ruheschmerz<br><input type="checkbox"/> Belastungsschmerz<br><input type="checkbox"/> chronischer Schmerz    |
| Allgemeinbefinden des Patienten  |

**Abbildung 46:** Anamnesebogen

Anhand der Größen- und Gewichtsangaben konnte der BMI berechnet und die Gewichtsklassifikation vorgenommen werden:

**Tabelle 1:** Gewichtsklassifikation bei Erwachsenen anhand BMI [97]

| Gewichtsklassifikation | BMI (kg/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|--------------------------|
| Normalgewicht          | 18,5-24,9                |
| Übergewicht            | ≥ 25                     |
| Adipositas Grad I      | 30-34,9                  |
| Adipositas Grad II     | 35-39,9                  |
| Adipositas Grad III    | ≥ 40                     |

## 2.5. Aktenrecherche

Um eine retrospektive Analyse der Langzeitergebnisse nach sternaler Verplattung zu ermöglichen, wurden den Krankenakten folgende Daten entnommen:

### 1.) Daten bezüglich des Patientenprofils

- ➔ Alter und Geschlecht
- ➔ Vorhandensein von Komorbiditäten
  - chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)
  - peripher arterielle Verschlusskrankheit (pAVK)
  - Diabetes mellitus
  - arterieller Hypertonus
  - Hyperlipidämie
  - Niereninsuffizienz
  - Nikotinabusus
  - dokumentierter Alkoholabusus
  - Übergewicht sowie Adipositas Grad I-III
- ➔ Präoperative Parameter
  - Datum und Art des Ersteingriffes
  - zeitlicher Abstand zwischen Ersteingriff und Verplattung
  - Zugangsart: mediane Sternotomie, partielle Sternotomie
  - Anzahl der vorausgegangenen Sternum-Reverdrahtungen
  - Vorhandensein von Querfrakturen
  - Linksventrikuläre Ejektionsfraktion (LVEF)
  - präoperative Bildgebung
  - Vorhandensein einer sterilen Dehiszenz
  - Vorhandensein eines sternalen Wundinfektes
  - Keimspektrum bei vorhandenem sternalem Wundinfekt
  - Therapie bei vorhandenem sternalem Wundinfekt
- ➔ Intraoperative Parameter
  - Operationsdauer
  - Operationstechnik
  - ausgiebige Sternumresektion und/oder Rippenteilresektion

- Postoperative Parameter
- Intubationsdauer
  - Dauer des Intensivaufenthaltes
  - Verlegungsfähigkeit
  - postoperative Komplikationen (Sero-, Hämatombildung)
  - Entwicklung eines postoperativen sternalen Wundinfektes
  - Keimspektrum bei postoperativem sternalen Wundinfekt

Bei der Entwicklung eines postoperativen sternalen Wundinfektes wurde in Hinblick auf die zeitliche Komponente folgendermaßen unterschieden:

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Früh-postoperativer Wundinfekt: | Entwicklung während des Krankenhausaufenthaltes |
| Spät-postoperativer Wundinfekt: | Entwicklung nach Krankenhauserlassung           |

Weiterhin wurden folgende Parameter als Risikofaktoren für die Entwicklung eines sternalen Wundinfektes nach Plattenosteosynthese betrachtet:

- das Vorhandensein von Komorbiditäten
- der Zugangsweg des kardiochirurgischen Ersteingriffes
- die Art des kardiochirurgischen Ersteingriffes
- Sternumresektion und/oder Teilrippenresektion
- Vorhandensein eines präoperativen sternalen Wundinfektes

## 2.) Materialrevision

- Ursachen für die Explantation des Osteosynthesematerials
- Datum der Explantation
- Zeitabstand zwischen Plattenimplantation und Explantation
- Materialdefekte

## 2.6. Statistische Auswertung

Die Analyse sowie die tabellarische und graphische Darstellung der Daten erfolgte unter Verwendung der Statistiksoftware SPSS, Version 19 und 21 für Windows und Apple Macintosh, sowie unter Nutzung von Microsoft Excel 2003 für Windows. Die Auswertung der Daten wurde anonymisiert und unter Gewährleistung des Datenschutzes durchgeführt. Hierfür wurde jedem Patienten eine Identifizierungsnummer zugeordnet. Für die Studie wurde ein Signifikanzniveau von 5 Prozent gewählt. Ein signifikanter Unterschied lag bei einem p-Wert kleiner gleich 0.05 vor.

Die Studie beschäftigte sich mit gruppenspezifischen Vergleichen kontinuierlicher sowie kategorialer Merkmale. Auch wurde die Abhängigkeit verschiedener Merkmale voneinander untersucht. Sofern nicht anders definiert, wurden kontinuierliche Werte als Mittelwert (MW)  $\pm$  Standardabweichung (SD) und kategoriale Werte als absolute und relative Häufigkeiten angegeben.

Bei den kontinuierlichen Merkmalen wurde zunächst die Normalverteilung geprüft. Lag eine Gaußsche Normalverteilung vor, wurde der Test nach ANOVA (Analysis of Variance) verwendet. Falls ein signifikanter Unterschied innerhalb der drei Gruppen festgestellt werden konnte, erfolgte im Anschluss der paarweise T-Test für unabhängige Stichproben. Waren die Merkmale nicht normalverteilt, wurden die nichtparametrischen Tests angewandt. Der Kruskal Wallis Test diente dem Vergleich aller drei Gruppen. Bei Vorliegen einer Signifikanz wurde der Man-Whitney-U Test zum paarweisen Vergleich herangezogen.

Zur gruppenspezifischen Analyse kategorialer Daten wurde der Chi Quadrat Test genutzt. Um zuverlässige Ergebnisse trotz geringer Stichprobengrößen zu erzielen, wurde zur Beurteilung der Signifikanz meist der exakte Test nach Fischer verwendet.

Der Chi Quadrat Test wurde ebenfalls angewandt, um die Zusammenhänge verschiedener Ereignisse bzw. unterschiedlicher Merkmale zu untersuchen.

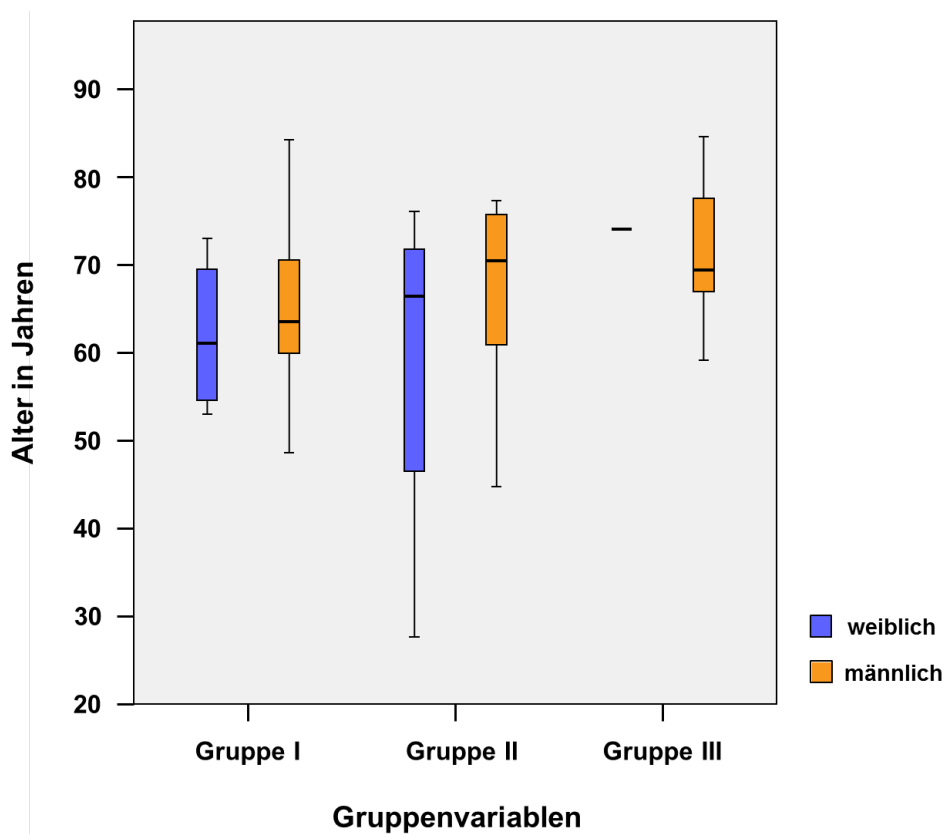
Ein Patient aus Gruppe I verstarb am 31. postoperativen Tag, „nicht plattenassoziiert“, an den Folgen eines septischen Multiorganversagens. Dieser wurde bei der statistischen Erhebung nicht berücksichtigt.

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1. Patientenprofil

##### 3.1.1. Alters- und Geschlechtsverteilung

Die Altersverteilung folgte in allen Gruppen der Gaußschen Glockenkurve. Innerhalb der Gruppen ergab sich folgende Alters- und Geschlechtsverteilung:



**Abbildung 47:** Alters- und Geschlechtsverteilung

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung lag das Durchschnittsalter in Gruppe I bei  $64,08 \pm 8,69$  Jahren, mit einem Minimum von 48,61 Jahren und einem Maximum von 84,23 Jahren. Der Anteil der Frauen innerhalb der Gruppe betrug 20% (n=4), der Anteil der Männer 80% (n=16). In Gruppe II betrug das Durchschnittsalter  $64,70 \pm 14,33$  Jahre mit einer Spanne von 27,68 – 77,31 Jahren. 30,8% (n=4) waren Frauen und 69,2% (n=9) Männer.



Der Altersdurchschnitt der Gruppe III lag bei 72,04±7,26 Jahren. Innerhalb der Gruppe war der jüngste Patient 59,11 und der älteste Patient 84,59 Jahre. Von insgesamt 11 Patienten waren 10 männlich (90,9%) und ein Patient weiblich (9,1%).

Bezüglich der Alters- sowie der Geschlechtsverteilung konnte kein signifikanter Unterschied innerhalb der Gruppen festgestellt werden. Insgesamt umfasste die Studie somit eher Patienten in höheren Lebensdekaden. Eine Ausnahme stellte eine Patientin aus Gruppe II dar, die mit 27 Jahren deutlich unter dem Durchschnittsalter des restlichen Patientenkollektivs lag. Bei dieser Patientin zeigte sich nach erfolgreicher Homograft Implantation eine sternale Dehiszenz sowie eine Kontinuitätsunterbrechung zwischen Corpus sterni und Manubrium, die eine Stabilisierung mittels Plattenosteosynthese notwendig machte. Ursprünglich bestand bei der Patientin eine Fallot'sche Tetralogie.

### 3.1.2. Komorbiditäten

Innerhalb der Gruppen ergab sich folgendes Verteilungsmuster:

**Tabelle 2:** Häufigkeit der Komorbiditäten innerhalb der Gruppen

| Komorbidität                    | Gruppe I<br>(n=20) | Gruppe II<br>(n=13) | Gruppe III<br>(n=11) |
|---------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| Arterieller Hypertonus (Anzahl) | 90,0% (18)         | 84,6% (11)          | 100,0% (11)          |
| Hyperlipidämie (Anzahl)         | 85,0% (17)         | 61,5% (8)           | 90,9% (10)           |
| Diabetes mellitus (Anzahl)      | 65,0% (13)         | 53,8% (7)           | 54,5 % (6)           |
| COPD (Anzahl)                   | 20,0% (4)          | 23,1% (3)           | 18,2% (2)            |
| pAVK (Anzahl)                   | 20,0% (4)          | 15,4% (2)           | 0,0% (0)             |
| Niereninsuffizienz (Anzahl)     | 20,0% (4)          | 38,5% (5)           | 54,5% (6)            |
| Alkoholabusus (Anzahl)          | 15,0% (3)          | 7,7% (1)            | 9,1% (1)             |
| Nikotinabusus (Anzahl)          | 70,0% (14)         | 30,8% (4)           | 63,6% (7)            |
| Übergewicht (Anzahl)            | 30,0% (6)          | 30,8% (4)           | 54,5% (6)            |
| Adipositas Grad I (Anzahl)      | 30,0% (6)          | 30,8% (4)           | 27,3% (3)            |
| Adipositas Grad II (Anzahl)     | 10,0% (2)          | 15,4% (2)           | 18,2% (2)            |
| Adipositas Grad III (Anzahl)    | 15,0% (3)          | 7,7% (1)            | 0,0% (0)             |

Die erfassten Komorbiditäten wiesen in allen Gruppen ein ähnliches Häufigkeitsmuster auf. Entsprechend dieser Verteilung ließ sich kein signifikanter Unterschied innerhalb der Gruppen erkennen.

43 von 44 Patienten wiesen mehr als eine der erfassten Komorbiditäten auf. Lediglich eine Patientin aus Gruppe II zeigte keine der beschriebenen Pathologien.

**Tabelle 3:** Anzahl der Komorbiditäten pro Patient

| Anzahl an Komorbiditäten | Anzahl Patienten (n=44) |
|--------------------------|-------------------------|
| 0 Komorbiditäten         | 2,27% (n=1)             |
| 1 Komorbidität           | 0,00% (n=0)             |
| 2 Komorbiditäten         | 4,55% (n=2)             |
| 3 Komorbiditäten         | 13,64% (n=6)            |
| 4 Komorbiditäten         | 31,82% (n=14)           |
| 5 Komorbiditäten         | 20,45% (n=9)            |
| 6 Komorbiditäten         | 18,18% (n=8)            |
| 7 Komorbiditäten         | 6,82 (n=3)              |
| 8 Komorbiditäten         | 2,27% (n=1)             |

### 3.1.3. Präoperative Parameter

#### 3.1.3.1. Kardiochirurgischer Ersteingriff

##### 3.1.3.1.1. Eingriffsart

Der Sternumrefixierung mittels Plattenosteosynthese gingen unterschiedliche herzchirurgische Eingriffe voraus. Mit Ausnahme von 2 Patienten, wurden alle Eingriffe im Deutschen Herzzentrum München durchgeführt. Die präoperative Feststellung der LVEF ergab vergleichbare Werte innerhalb der Gruppen (Gruppe I  $50\% \pm 9\%$ , Gruppe II  $53\% \pm 14\%$ , Gruppe III  $47\% \pm 9\%$ ).

Im Gesamtkollektiv zeigte sich folgendes Verteilungsmuster der Ersteingriffe:

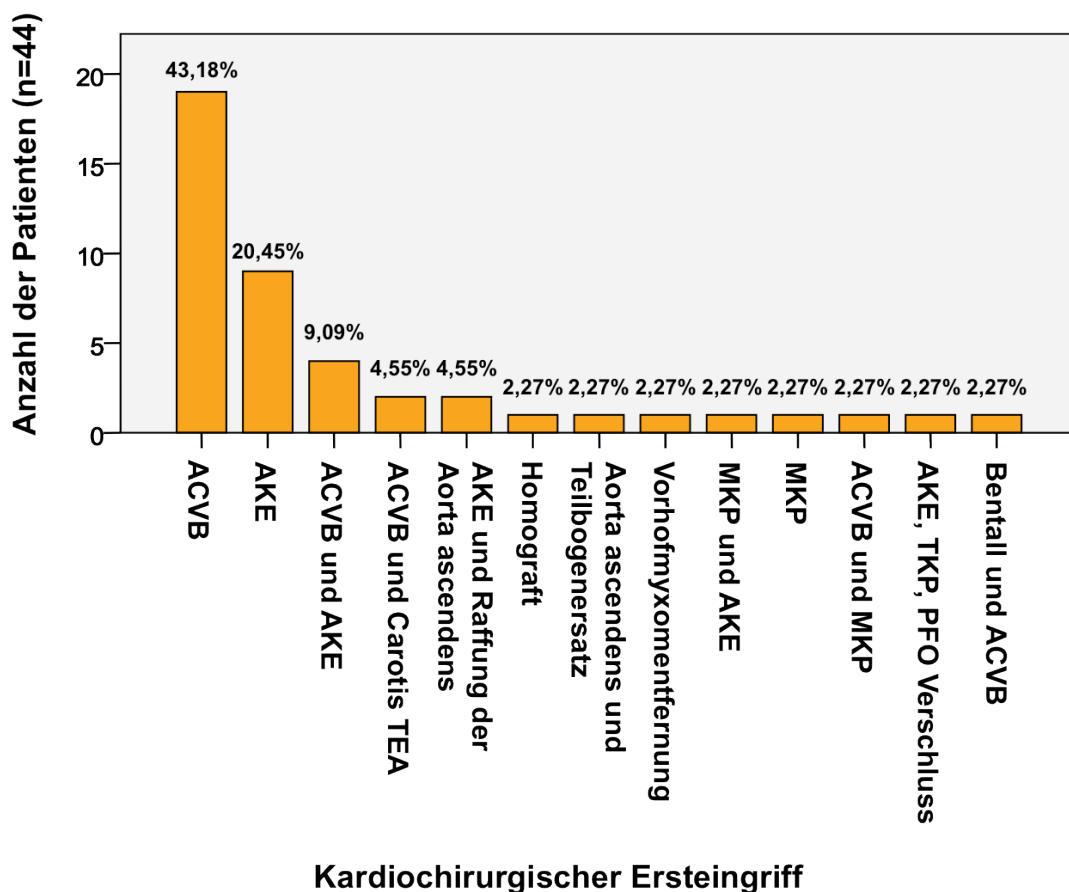


Abbildung 48: Kardiochirurgischer Ersteingriff

ACVB = aortokoronarer Venenbypass, AKE = Aortenklappenersatz, TEA = Thrombendarteriektomie, MKP = Mitralklappenplastik, TKP = Trikuspidalklappenplastik, PFO = persistierendes Foramen ovale

Im Gesamtkollektiv stellte die alleinige Bypass Operation mit 43,2% die häufigste Operation dar, gefolgt vom Aortenklappenersatz mit 20,5%.

Bei 8 Patienten wurde die Revaskularisation mit weiteren Eingriffen kombiniert (z.B. Bypass Operation und AKE), so dass insgesamt 27 Patienten eine Bypass Operation erhielten.

Innerhalb der Gruppen ergab sich folgendes Verteilungsmuster bezüglich der kardiochirurgischen Ersteingriffe:

**Tabelle 4:** Verteilungsmuster der Ersteingriffe innerhalb der Gruppen

| <b>Eingriffsart</b>                          | <b>Gruppe I<br/>(n=20)</b> | <b>Gruppe II<br/>(n=13)</b> | <b>Gruppe III<br/>(n=11)</b> |
|--|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| ACVB (Anzahl)                                | 40,0% (8)                  | 38,5% (5)                   | 54,5% (6)                    |
| Bentall und ACVB (Anzahl)                    |                            | 7,7% (1)                    |                              |
| AKE, TKP, PFO Verschluss (Anzahl)            |                            |                             | 9,1% (1)                     |
| AKE und Raffung der Aorta ascendens (Anzahl) | 5,0% (1)                   | 7,7% (1)                    |                              |
| ACVB und Carotis TEA (Anzahl)                | 5,0% (1)                   |                             | 9,1% (1)                     |
| ACVB und AKE (Anzahl)                        | 15,0% (3)                  |                             | 9,1% (1)                     |
| AKE (Anzahl)                                 | 25,0% (5)                  | 15,4% (2)                   | 18,2% (2)                    |
| ACVB und MKP (Anzahl)                        |                            | 7,7% (1)                    |                              |
| MKP (Anzahl)                                 | 5,0% (1)                   |                             |                              |
| MKP und AKE (Anzahl)                         |                            | 7,7% (1)                    |                              |
| Vorhofmyxomentfernung (Anzahl)               | 5,0% (1)                   |                             |                              |
| Aorta ascendens und Teilbogenersatz (Anzahl) |                            | 7,7% (1)                    |                              |
| Homografitimplantation (Anzahl)              |                            | 7,7% (1)                    |                              |

Bezüglich des Häufigkeitsmusters der kardiochirurgischen Ersteingriffe zeigte sich innerhalb der Gruppen kein signifikanter Unterschied.

### 3.1.3.1.2.Zugangsweg

Im Zuge des kardiochirurgischen Ersteingriffes erhielten insgesamt 35 Patienten eine mediane und 9 Patienten eine partielle Sternotomie.

Innerhalb der Gruppen ergab sich folgendes Verteilungsmuster:

**Tabelle 5:** Kardiochirurgischer Zugangsweg – gruppenspezifische Darstellung

| Sternotomie Variante    | Gruppe I<br>(n=20) | Gruppe II<br>(n=13) | Gruppe III<br>(n=11) |
|-------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| mediale Sternotomie %   | 75,0               | 76,9                | 90,9                 |
| partielle Sternotomie % | 25,0               | 23,1                | 9,1                  |

Im Gruppenvergleich ließ sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Sternotomie Varianten finden.

### 3.1.3.1.3.Zeitabstand zwischen Ersteingriff und sternaler Plattenosteosynthese

Der Zeitabstand zwischen kardiochirurgischem Ersteingriff und sternaler Rekonstruktion mittels Plattenosteosynthese stellte sich innerhalb der Gruppen wie folgt dar:

**Tabelle 6:** Zeitabstand zwischen Ersteingriff und Verplattung in den Gruppen

| Zeitlicher Verlauf   | Gruppe I<br>(n=20) | Gruppe II<br>(n=13) | Gruppe III<br>(n=11) |
|--|--------------------|---------------------|----------------------|
| Zeitabstand zwischen Ersteingriff und sternaler Verplattung in Tagen* (Median) | 343 ± 546<br>(160) | 144 ± 282<br>(42)   | 173 ± 295<br>(36)    |

\*Daten werden als Mittelwert ± Standardabweichung angegeben

Im Gruppenvergleich zeigte sich ein signifikanter Unterschied innerhalb der Gruppen (p-Wert 0.022). Zwischen Gruppe I und Gruppe II ergab sich eine Signifikanz mit einem p-Wert von 0.010. Im Vergleich der Gruppen I und III ergab sich ein p-Wert von 0.052.

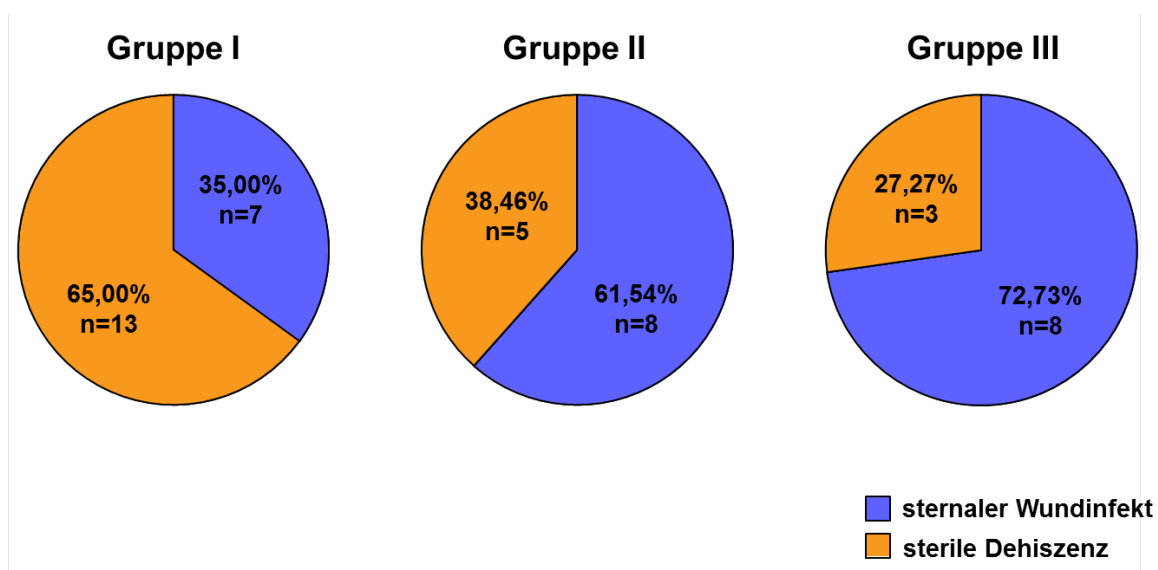
**3.1.3.2. Sternale Instabilität**

**3.1.3.2.1. Ursachen der sternalen Instabilität**

Ursächlich für eine sternale Instabilität war das Vorhandensein

- ➔ einer sternalen Wundinfektion **n=23**
- ➔ einer sterilen Dehiszenz **n=21**

Innerhalb der Gruppen ergab sich folgendes Verteilungsmuster:



**Abbildung 49:** Ursachen sternaler Instabilität – gruppenspezifische Darstellung

Im Gruppenvergleich zeigte sich keine Signifikanz bezüglich der Ursachenverteilung für die Entwicklung einer sternalen Instabilität (p-Wert 0.096).

Bei insgesamt 24 Patienten lagen außerdem multiple sternale Frakturen vor.

Gruppenspezifisch zeigte sich dies wie folgt:

**Tabelle 7:** Sternumfrakturen – gruppenspezifische Darstellung

| Präoperative Daten | Gruppe I (n=20) | Gruppe II (n=13) | Gruppe III (n=11) |
|--------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| Sternumfrakturen % | 30,0            | 84,6             | 63,3              |

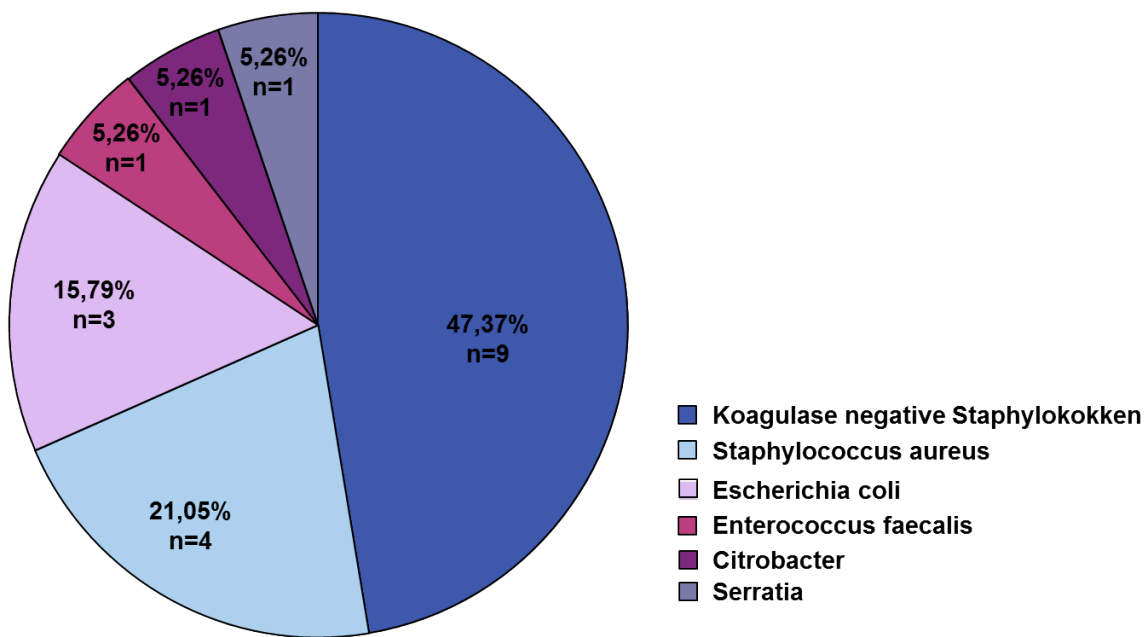
Innerhalb der Gruppen zeigte sich eine Signifikanz (p-Wert 0.007). In Gruppe II waren sternaler Frakturen signifikant häufiger als in Gruppe I (p-Wert 0.002).

**3.1.3.2.2. Keimspektrum bei präoperativ sternalem Wundinfekt**

Bei 23 Patienten lag präoperativ ein sternaler Wundinfekt vor. Ein positiver Keimnachweis gelang bei insgesamt 15 von 23 Patienten:

- ➔ n=4 Mischinfektionen mit 2 verschiedenen Erregern
- ➔ n=11 Isolierung eines Erregers

Graphisch stellt sich das Keimspektrum bei positivem Erregernachweis folgendermaßen dar:



**Abbildung 50:** Erregerhäufigkeit bei präoperativ sternaler Wundinfektion

### 3.1.4. Intraoperative Parameter

Folgende intraoperativen Parameter wurden erfasst:

**Tabelle 8:** Intraoperative Daten – gruppenspezifische Darstellung

| Intraoperative Daten                                | Gruppe I<br>(n=20) | Gruppe II<br>(n=13) | Gruppe III<br>(n=11) |
|---|--------------------|---------------------|----------------------|
| Operationszeit in Minuten *<br>(Median)             | 94±26<br>(91)      | 153±43<br>(130)     | 165±59<br>(159)      |
| Sternum- und/oder Teilrippenresektion %<br>(Anzahl) | 20,0<br>(4)        | 15,4<br>(2)         | 27,3<br>(3)          |

\*Daten werden als Mittelwert ± Standardabweichung angegeben

Die durchschnittliche Operationszeit in Gruppe I unterschied sich signifikant von der Operationszeit in Gruppe II, sowie von der in Gruppe III (p-Werte < 0.001).

### 3.1.5. Postoperative Parameter

#### 3.1.5.1. Stationärer Verlauf

Nach plattenosteosynthetischer Versorgung wurden folgende Parameter des stationären Verlaufs betrachtet:

**Tabelle 9:** Stationärer Verlauf – gruppenspezifische Darstellung

| Stationärer Verlauf nach<br>Plattenosteosynthese        | Gruppe I<br>(n=20)  | Gruppe II<br>(n=13) | Gruppe III<br>(n=11) |
|---|---------------------|---------------------|----------------------|
| Intubationszeit in Stunden*<br>(Median)                 | 3,39±3,69<br>(2,75) | 4,25±5,91<br>(1)    | 4,65±5,33<br>(4)     |
| Intensivaufenthalt in Tagen*<br>(Median)                | 1,8±1,4<br>(1)      | 1,9±1,1<br>(2)      | 4,6±7,7<br>(1)       |
| Klinikentlassung nach Verplattung in Tagen*<br>(Median) | 7±3<br>(6)          | 13±13<br>(10)       | 24±26<br>(9)         |

\*Daten werden als Mittelwert ± Standardabweichung angegeben



Gruppenspezifisch ließ sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Intubationszeit, der Dauer des Intensivaufenthalts und der Verlegungsfähigkeit nach plattenosteosynthetischer Versorgung nachweisen. Die Dauer der intensivmedizinischen Versorgung war in Gruppe III deutlich länger als in Gruppe I und II. Auch die Krankenhausentlassung der Patienten aus Gruppe III war verglichen mit Gruppe I und II erst nach einem längeren stationären Aufenthalt möglich.

### **3.1.5.2. Postoperative Komplikationen**

Insgesamt kam es in 2 Fällen (4,5%) zur Entwicklung einer postoperativen Komplikation nach plattenosteosynthetischer Versorgung. Bei einem Fall kam es zum Auftreten eines subpectoralen Seroms (Gruppe I), welches erfolgreich durch die Anlage einer subpectoralen Redondrainge therapiert wurde. In einem weiteren Fall zeigte sich ein prästernales Hämatom (Gruppe II), das chirurgisch entfernt wurde. In beiden Fällen konnte das Osteosynthesematerial belassen werden.

Ein Patient aus Gruppe I, der bei der statistischen Datenanalyse nicht berücksichtigt wurde, verstarb im postoperativen Verlauf. Bei dem 66 jährigen multimorbiden Patienten bestand initial eine schwere ischämische Kardiomyopathie (LVEF: 18%) sowie eine koronare Dreifäßerkrankung, die bypasschirurgisch versorgt wurde. Im Rahmen eines komplizierten postoperativen Verlaufs mit Implantation einer intraaortalen Ballonpumpe, Manifestation eines akuten Nierenversagens und Ausbildung eines interventionsbedürftigen Perikardergusses, entwickelte sich eine sternale Wundheilungsstörung mit instabilem Sternum. Nach dem frustranen Versuch der Sternumreverdrahtung mit Anlage einer Saug-Spüldrainage am 30. postoperativen Tag, erfolgte beim Nachweis gramnegativer Stäbchen zunächst eine Vakuumpumpentherapie. Am 62. postoperativen Tag wurde ein ausgiebiges Wunddebridement mit Entfernung des Cerclagenmaterials und erneuter Vakuumpumpentherapie durchgeführt. 70 Tage nach koronarer Revaskularisation konnte bei nun sterilen Wundverhältnissen eine Sternumstabilisierung mittels transversaler Verplattung erzielt werden. Die Operationsdauer betrug 180 Minuten. Der Patient konnte 23 h nach Plattenosteosynthese extubiert werden.

Nach initialer Besserung des Allgemeinzustandes, verstarb der Patient 30 Tage nach sternaler Plattenosteosynthese „nicht plattenassoziiert“, an den Folgen seiner kongestiven Herzinsuffizienz.

Der Ausschluss des Patienten aus dem Gesamtkollektiv führte zu keiner Beeinflussung der statistischen Datenerhebung.

### 3.1.5.3. Postoperatives Auftreten sternaler Wundinfektionen

#### 3.1.5.3.1. Häufigkeit sternaler Wundinfekte

Postoperativ entwickelten **12** von 44 Patienten (27,3%) einen sternalen Wundinfekt.

Innerhalb der Gruppen zeigte sich folgendes Verteilungsmuster:

**Tabelle 10:** Postoperatives Auftreten sternaler Wundinfekte – gruppenspezifische Darstellung

| Postoperative Daten                 | Gruppe I<br>(n=20) | Gruppe II<br>(n=13) | Gruppe III<br>(n=11) |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| sternaler Wundinfekt postoperativ % | 25,0               | 7,7                 | 54,5                 |
| (Anzahl)                            | (5)                | (1)                 | (6)                  |

Hierbei zeigte sich ein signifikanter Unterschied innerhalb der Gruppen (p-Wert 0.042). Im paarweisen Test ergab sich eine Signifikanz zwischen Gruppe II und Gruppe III (p-Wert 0.023).

#### 3.1.5.3.2. Keimspektrum bei postoperativ sternalem Wundinfekt

Die mikrobiologische Untersuchung ergab in allen Fällen (n=12) einen positiven Keimnachweis:

- ➔ **n=7** Isolierung eines Erregers
- ➔ **n=4** Mischinfektion mit 2 Erregern
- ➔ **n=1** Mischinfektion mit 3 Erregern

Graphisch stellte sich das Keimspektrum folgendermaßen dar:

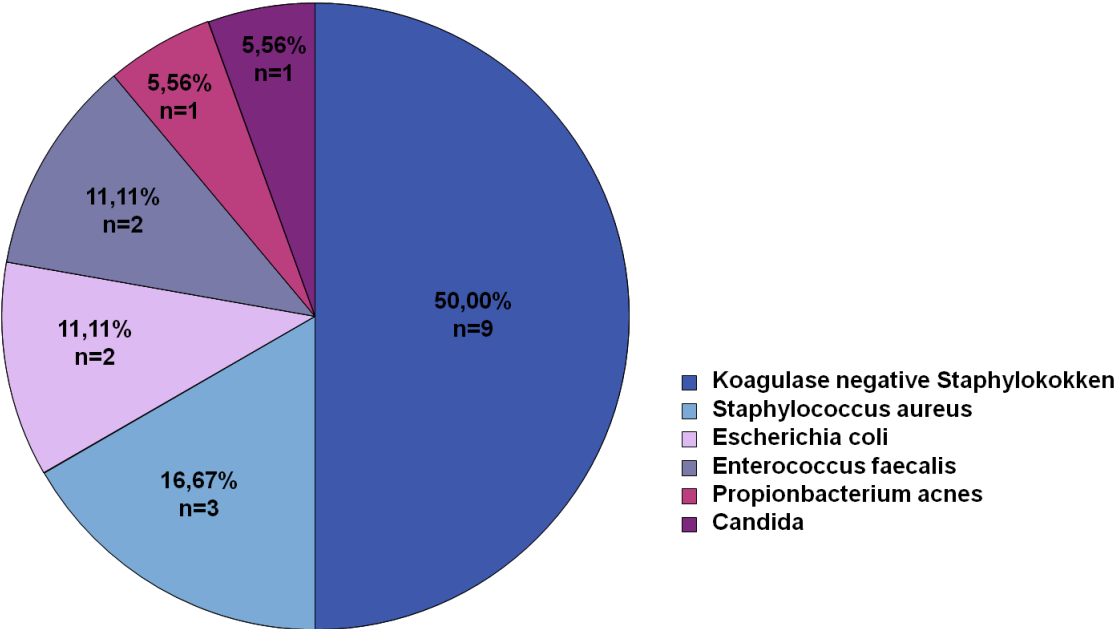


Abbildung 51: Erregerhäufigkeit bei postoperativ sternaler Wundinfektion

### 3.1.5.3.3. Auftreten postoperativer sternaler Wundinfekte

Das Auftreten sternaler Wundinfekte nach plattenosteosynthetischer Versorgung (12/44) ließ sich zeitlich untergliedern in:

- ➔ früh-postoperative Wundinfekte (n=5)
- ➔ spät-postoperative Wundinfekte (n=7)

Innerhalb der Gruppen ergab sich folgendes Verteilungsmuster:

**Tabelle 11:** Zeitliche Entwicklung sternaler Wundinfekte – gruppenspezifische Darstellung

| Zeitliches Auftreten sternaler Wundinfekte postoperativ | Gruppe I (n=5) | Gruppe II (n=1) | Gruppe III (n=6) |
|---|----------------|-----------------|------------------|
| früh-postoperativer Wundinfekt %<br>(Anzahl)            | 20,0<br>(1)    | 0,0<br>(0)      | 66,7<br>(4)      |
| spät-postoperativer Wundinfekt %<br>(Anzahl)            | 80,0<br>(4)    | 100,0<br>(1)    | 33,3<br>(2)      |

Der zeitliche Abstand zwischen sternaler Plattenrefixierung und Entwicklung eines früh- bzw. spät-postoperativen Wundinfektes stellte sich im Gesamtkollektiv wie folgt dar:

**Tabelle 12:** Abstand zwischen sternaler Verplattung und Auftreten eines Wundinfektes

| Auftreten sternaler Wundinfekte in Tagen | MW ± SD   | Median | Maximum | Minimum |
|--|-----------|--------|---------|---------|
| früh-postoperativ                        | 12 ± 5    | 14     | 16      | 5       |
| spät-postoperativ                        | 220 ± 376 | 61     | 1085    | 22      |

#### **3.1.5.3.4. Potentielle Einflussfaktoren auf die Entwicklung postoperativer sternaler Wundinfekte**

Der Qui Quadrat Test ergab, dass die Koexistenz der genannten Komorbiditäten keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten sternaler Wundinfektionen nach plattenosteosynthetischer Versorgung hatte. Auch das Vorhandensein mehrerer Komorbiditäten zeigte in diesem Patientenkollektiv keinen relevanten Zusammenhang mit dem Auftreten postoperativer sternaler Wundinfekte.

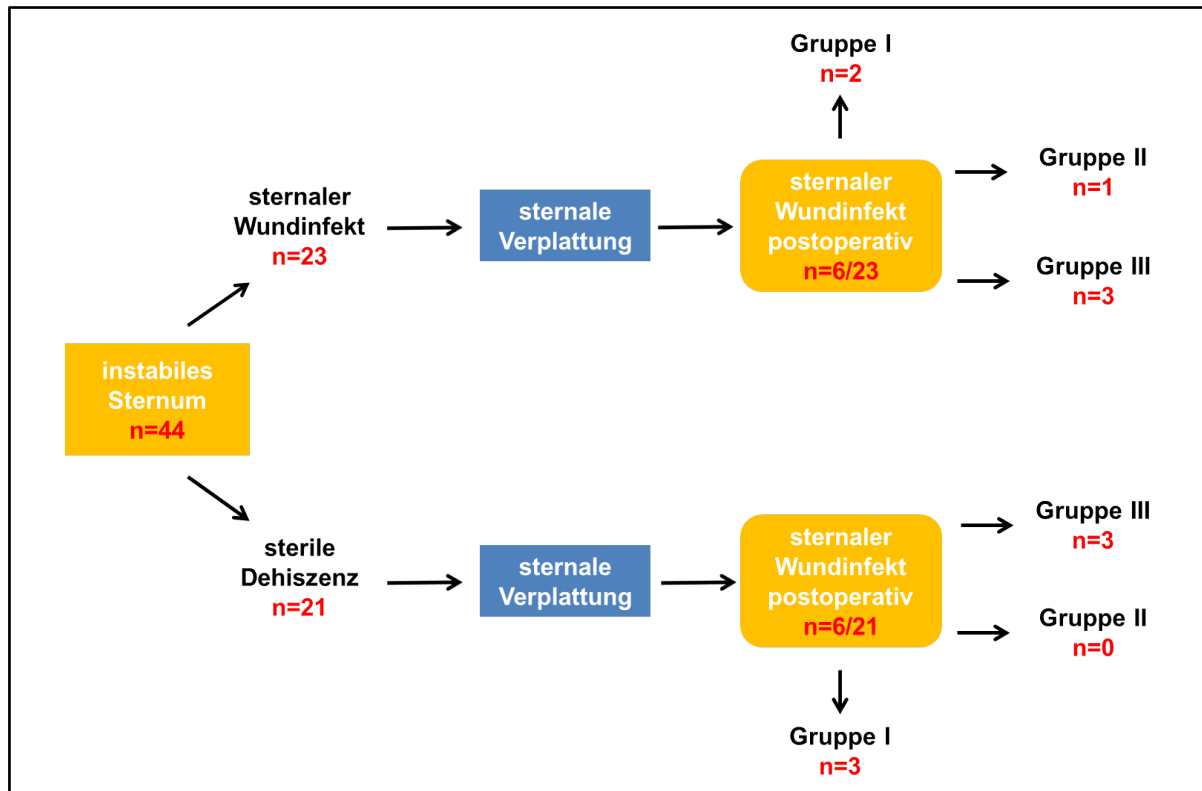
Die Betrachtung des sternalen Zugangsweges als potentieller Risikofaktor für die Entstehung eines Wundinfektes konnte ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang aufzeigen. Nach medianer Sternotomie kam es in 25,7% der Fälle und nach partieller Sternotomie in 33,3% der Fälle zur Entwicklung eines Wundinfektes nach Plattenosteosynthese.

Eine signifikante Korrelation hinsichtlich der Art des kardiochirurgischen Ersteingriffes und des Auftretens eines postoperativen Sternuminfektes konnte nicht gezeigt werden. Den Wundinfektionen nach plattenosteosynthetischer Versorgung gingen 6 ACVB's, 2 AKE's, 1 AKE mit Raffung der Aorta ascendens, 2 kombinierte ACVB's und AKE's, sowie 1 ACVB mit Carotis TEA voraus. Insgesamt erhielten somit 9 der 12 Patienten mit postoperativem sternalem Wundinfekt eine Bypassversorgung.

Intraoperativ wurde bei 9 von 44 Patienten eine ausgiebige Sternumresektion und/oder Rippenteilresektion durchgeführt. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen einer vorausgehenden Sternum- bzw. Rippenteilresektionen und der Entwicklung eines postoperativen sternalen Wundinfektes festgestellt werden:

- ➔ 55,6% entwickelten einen postoperativen Wundinfekt nach Resektion (5/9)
- ➔ 44,4% entwickelten keinen postoperativen Wundinfekt nach Resektion (4/9)

Der Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein eines präoperativen Sternuminfektes als Ursache für eine sternale Instabilität und der Entwicklung eines postoperativen Wundinfektes nach Plattenosteosynthese wird in folgendem Schema veranschaulicht:



**Abbildung 52:** Verlauf sternaler Wundinfektionen prä- und postoperativ

Von 23 Patienten mit initial vorhandenem sternalem Wundinfekt entwickelten erneut 6 Patienten eine postoperative sternale Infektion. In 4 der 6 Fälle ließen sich dieselben Erreger wie bereits präoperativ nachweisen:

- ➔ **n=3** Staphylococcus aureus
- ➔ **n=1** Escherichia coli

Bei 2 der 6 Patienten ließ sich präoperativ kein Keimnachweis erzielen. Postoperativ konnte in beiden Fällen der Nachweis koagulase negativer Staphylokokken (KNS) erbracht werden.

Von 21 Patienten mit initial vorhandener steriler Dehiszenz entwickelten ebenfalls 6 Patienten eine postoperative sternale Wundinfektion.

Das Vorhandensein eines präoperativen Wundinfektes als Ursache der sternalen Instabilität hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung eines postoperativen Wundinfektes nach sternaler Plattenosteosynthese.

### 3.2. Plattenrevision

#### 3.2.1. Häufigkeit der Plattenrevision

Insgesamt musste bei **19** von 44 Patienten (43,2%) das Osteosynthesematerial nach Implantation entfernt werden.

Tabellarische Darstellung der Explantationshäufigkeiten innerhalb der Gruppen:

**Tabelle 13:** Explantationshäufigkeit innerhalb der Gruppen

| Patientendaten    | Gruppe I (n=20) | Gruppe II (n=13) | Gruppe III (n=11) |
|-------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| Plattenrevision % | 40,0            | 30,8             | 63,6              |
| (Anzahl)          | (8)*            | (4)              | (7)               |

\*Bei einem Patient erfolgte lediglich eine Teilimplantation des Osteosynthesematerials

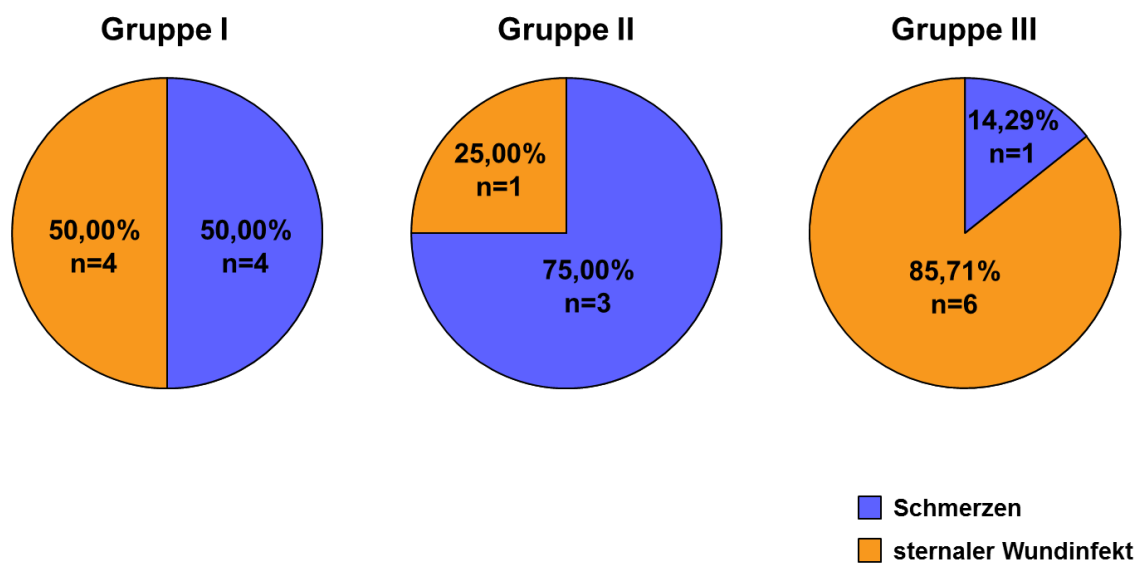
Innerhalb der Gruppen ließ sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Explantationshäufigkeit feststellen. In Gruppe III wurde bei mehr als der Hälfte der Patienten das Osteosynthesematerial entfernt.

### 3.2.2. Indikation zur Plattenrevision

Die Indikation zur Materialrevision war gegeben bei dem Vorhandensein

- ➔ sternaler Schmerzen (n=8)
- ➔ sternaler Wundinfektionen (n=11)

Innerhalb der Gruppen zeigte sich folgendes Verteilungsmuster:



**Abbildung 53:** Ursachen der Plattenrevision – gruppenspezifische Darstellung

Explantationen aufgrund einer Schmerzproblematik waren in Gruppe I in 50,00%, in Gruppe II in 75,00% und in Gruppe III in 14,29% notwendig. Wegen dem Vorhandensein sternaler Wundinfekte wurden in Gruppe I 50,00%, in Gruppe II 25,00% und in Gruppe III 85,71 % der Explantationen durchgeführt.

Der statistische Vergleich hinsichtlich der Explantationsursachen ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen.



### 3.2.3. Zeitabstand zwischen Plattenimplantation und Plattenrevision

Der Zeitabstand zwischen Plattenimplantation und Plattenrevision stellte sich innerhalb der Gruppen wie folgt dar:

**Tabelle 14:** Zeitabstand zwischen Plattenimplantation und Plattenrevision in Tagen – gruppenspezifische Darstellung

| Gruppen           | MW ± SD   | Median | Minimum | Maximum |
|-------------------|-----------|--------|---------|---------|
| Gruppe I (8/20)   | 149 ± 118 | 111    | 30      | 360     |
| Gruppe II (4/13)  | 744 ± 742 | 464    | 223     | 1825    |
| Gruppe III (7/11) | 267 ± 435 | 16     | 9       | 1058    |

Der Vergleich der Mittelwerte ergab einen signifikanten Unterschied zwischen Gruppe I und Gruppe II (p-Wert 0.028).

In Gruppe III zeigte sich eine deutliche Abweichung des Mittelwertes (267) vom Median (16). Die Entfernung des Osteosynthesematerials in Gruppe III erfolgte aufgrund

- 1.) eines früh-postoperativen Wundinfektes innerhalb der ersten **46 Tage** (n=5)
- 2.) eines spät-postoperativen Wundinfektes nach **1058 Tagen** (n=1)
- 3.) einer Schmerzproblematik nach **715 Tagen** (n=1)

### 3.2.4. Materialdefekte

Bei der Explantation der sternalen Fixationssysteme zeigte sich in allen drei Gruppen jeweils ein Patient mit einem Defekt des Osteosynthesematerials:

- 1.) In Gruppe I waren bei 1 Patienten **2 von 4** Querplatten medial frakturiert
- 2.) In Gruppe II waren bei 1 Patienten **1 von 2** Längsplatten medial frakturiert
- 3.) In Gruppe III waren bei 1 Patienten **6 von 6** Sternumkabel gerissen, wobei die Platten intakt waren

**3.3. Nachuntersuchung**

**3.3.1. Sternale Stabilität nach plattenosteosynthetischer Versorgung**

**3.3.1.1. Klinische Beurteilung der sternalen Stabilität**

Die Untersuchung der klinischen Stabilität des Sternums ergab folgende gruppenspezifischen Ergebnisse:

**Tabelle 15:** Klinische Stabilität des Sternums – gruppenspezifische Darstellung

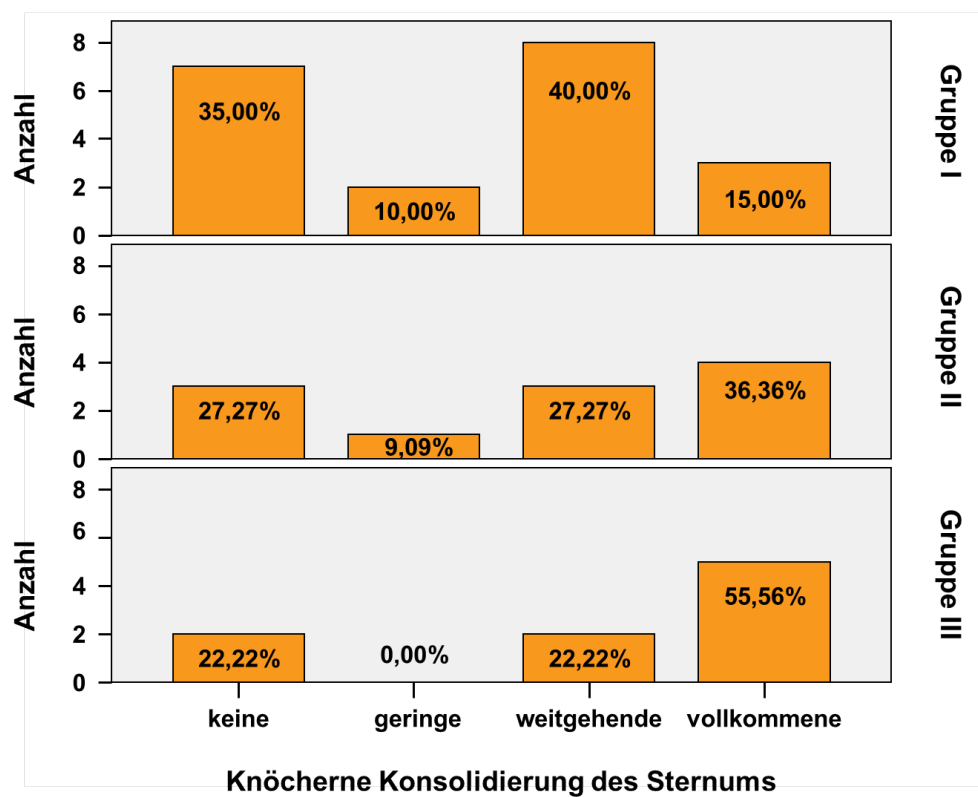
| <b>Sternale Stabilität</b>  | <b>Gruppe I<br/>(n=20)</b> | <b>Gruppe II<br/>(n=13)</b> | <b>Gruppe III<br/>(n=11)</b> |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| klinisch stabiles Sternum % | 100,0                      | 100,0                       | 90,9                         |
| (Anzahl)                    | (20)                       | (13)                        | (10)                         |

Bei insgesamt 43 von 44 Patienten (97,7%) wurde eine klinische Stabilität des Sternums erreicht. Lediglich bei einem Patient aus Gruppe III konnte aufgrund einer großflächigen Sternumresektion keine absolute Stabilität erzielt werden.

**3.3.1.2. Computertomographische Beurteilung der sternalen Stabilität**

40 Patienten erhielten eine postoperative CT-gestützte Untersuchung des Sternums. Trotz der erzielten klinischen Stabilität in 97,7%, konnte bei insgesamt 30% keine knöchernerne Konsolidierung des Sternums erreicht werden.

Die CT-gestützte postoperative Untersuchung des Sternums ergab folgendes gruppenspezifisches Ergebnis:



**Abbildung 54:** Beurteilung der knöchernen Konsolidierung – gruppenspezifische Darstellung

Im Gruppenvergleich konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich der knöchernen Konsolidierung gezeigt werden.

### 3.3.2. Schmerzen nach plattenosteosynthetischer Versorgung

#### 3.3.2.1. Postoperatives Schmerzempfinden

##### 3.3.2.1.1. Häufigkeit postoperativer Schmerzen

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung gaben insgesamt **54,5 %** (24/44) der Patienten retrospektiv ein unmittelbar postoperatives Schmerzgeschehen an.

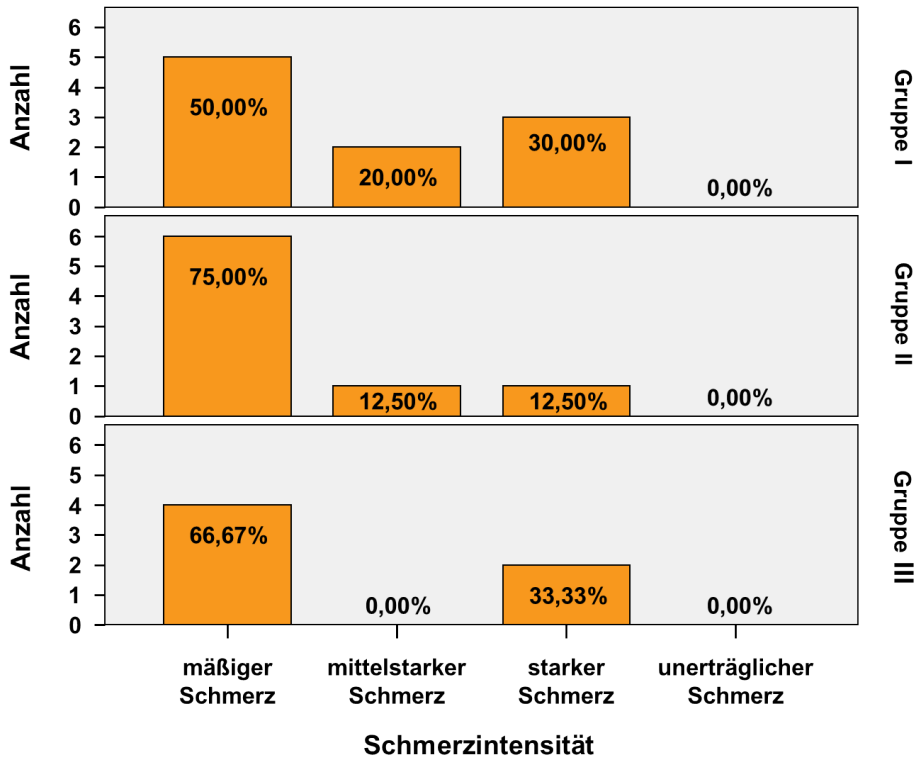
Innerhalb der Gruppen ließ sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Auftretens unmittelbar postoperativer Schmerzen aufzeigen:

**Tabelle 16:** Schmerzempfinden postoperativ – gruppenspezifische Darstellung

| Schmerzangabe zum Zeitpunkt der anamnestischen Nachuntersuchung | Gruppe I<br>(n=20) | Gruppe II<br>(n=13) | Gruppe III<br>(n=11) |
|---|--------------------|---------------------|----------------------|
| postoperatives Schmerzempfinden %                               | 50,0               | 61,5                | 54,5                 |
| (Anzahl)  | (10)               | (8)                 | (6)                  |

**3.3.2.1.2. Schmerzintensität postoperativer Schmerzen**

Die Intensität postoperativer Schmerzen stellte sich folgendermaßen da:



**Abbildung 55:** Schmerzintensität bei postoperativem Schmerzempfinden - gruppenspezifische Darstellung

Innerhalb der Gruppen zeigte sich diesbezüglich kein signifikanter Unterschied.

### 3.3.2.2. Aktuelles Schmerzempfinden

#### 3.3.2.2.1. Häufigkeit aktueller Schmerzen

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung gaben **43,2%** (19/44) aktuelle Schmerzen an.

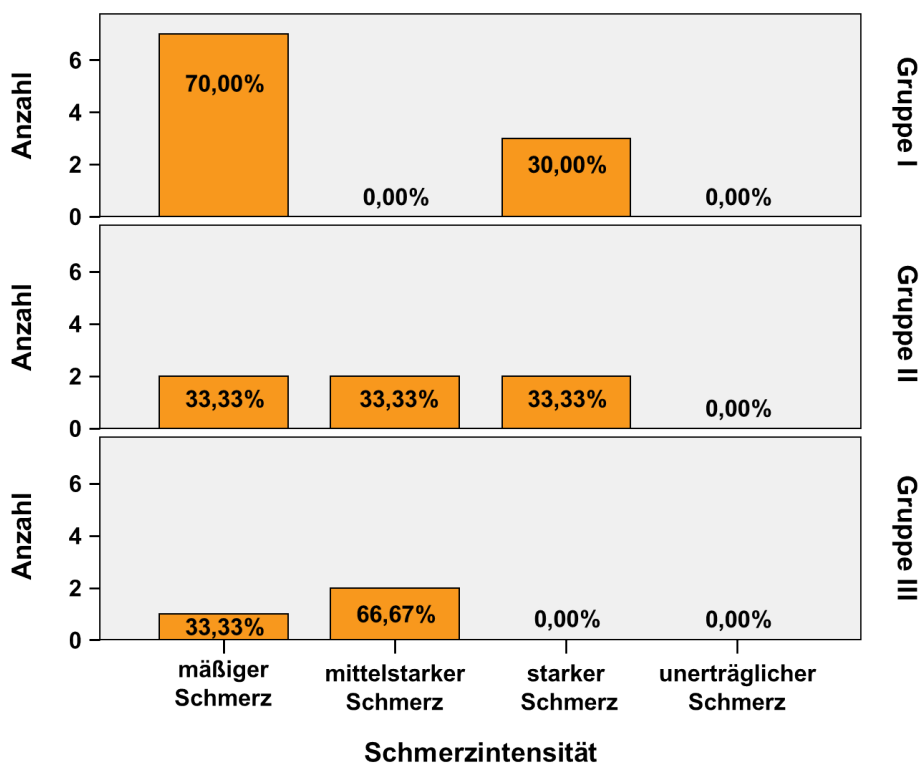
Innerhalb der Gruppen ließ sich diesbezüglich keine Signifikanz aufzeigen:

**Tabelle 17:** Schmerzempfinden aktuell– gruppenspezifische Darstellung

| Schmerzangabe zum Zeitpunkt der anamnestischen Nachuntersuchung | Gruppe I (n=20) | Gruppe II (n=13) | Gruppe III (n=11) |
|---|-----------------|------------------|-------------------|
| aktuelles Schmerzempfinden %                                    | 50,0            | 46,2             | 27,3              |
| (Anzahl)  | (10)            | (6)              | (3)               |

#### 3.3.2.2.2. Schmerzintensität aktueller Schmerzen

Die Intensität aktueller Schmerzen zeigte sich gruppenspezifisch wie folgt:

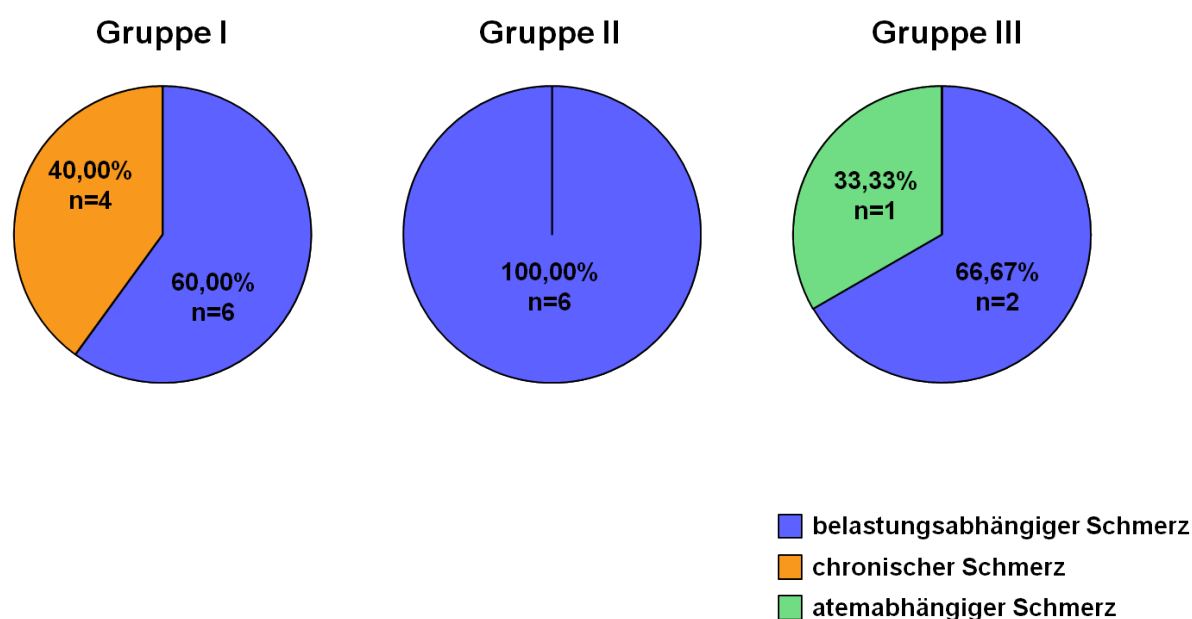


**Abbildung 56:** Schmerzintensität bei aktuellem Schmerzempfinden – gruppenspezifische Darstellung

Innerhalb der Gruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Schmerzintensität bei aktuell vorhandenen Schmerzen.

### 3.3.2.2.3. Schmerzart aktueller Schmerzen

Bei aktuell beschriebenen Schmerzen stellte sich die Schmerzart innerhalb der Gruppen folgendermaßen dar:



**Abbildung 57:** Schmerzart bei aktuell vorhandenen Schmerzen - gruppenspezifische Darstellung

Von insgesamt 19 Patienten mit zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung beschriebenen aktuellen Schmerzen, zeigten

- 74% (n=14) einen belastungsabhängigen Schmerz
- 21% (n=4) einen chronischen Schmerz
- 5% (n=1) einen atemabhängigen Schmerz

Im Gruppenvergleich ließ sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Schmerzart aufzeigen (p-Wert 0.072).

### 3.3.2.2.4. Differenzierung in Schmerzuntergruppen

Patienten mit aktuell vorhandenen Schmerzen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (n=19) wurden in weitere Untergruppen gegliedert. Es bestand eine aktuelle Schmerzproblematik bei:

- ➔ Vorhandenem Osteosynthesematerial **n=12**
- ➔ Zustand nach Plattenrevision wegen eines sternalen Wundinfektes **n=2**
- ➔ Zustand nach Plattenrevision wegen sternaler Schmerzen **n=5**

Gruppenspezifisch stellte sich dies wie folgt dar:

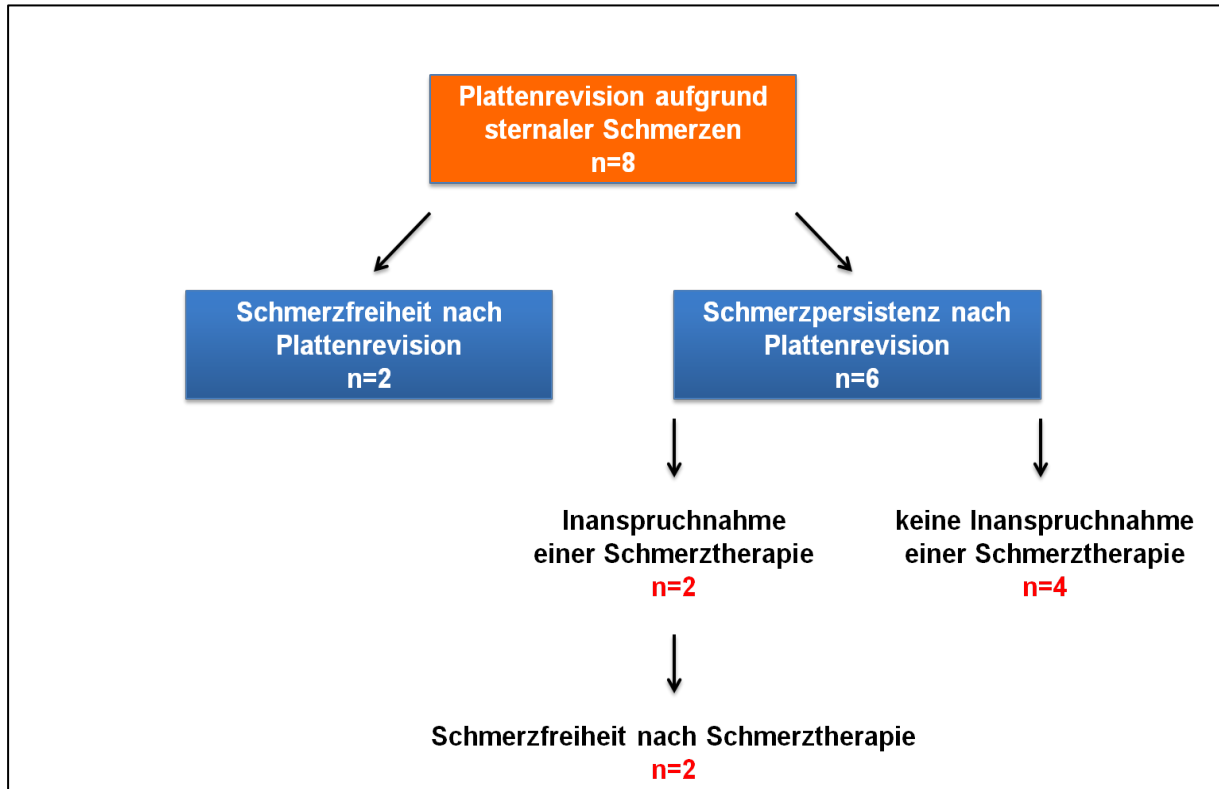
**Tabelle 18:** Differenzierung in Schmerzuntergruppen

| Schmerzproblematik zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung                                  | Gruppe I | Gruppe II | Gruppe III |
|--|----------|-----------|------------|
| aktuelle Schmerzproblematik bei bestehendem Osteosynthesematerial                      | n=6      | n=4       | n=2        |
| aktuelle Schmerzproblematik bei Zustand nach Explantation aufgrund eines Wundinfektes  | n=1      | n=1       | n=0        |
| aktuelle Schmerzproblematik bei Zustand nach Explantation aufgrund sternaler Schmerzen | n=3      | n=1       | n=1        |

Bei **3** Patienten (n=1 Gruppe I, n=2 Gruppe II) wurde im Rahmen der Nachuntersuchung die Indikation zur Plattenrevision bei bestehender Schmerzproblematik gestellt. 2 Patienten (n=1 Gruppe I, n=1 Gruppe II) waren nach Entfernung des Osteosynthesematerials schmerzfrei, bei einem Patient (n=1 Gruppe II) persistierten die Schmerzen nach Explantation.



Insgesamt stellte sich somit der Schmerzverlauf bei Patienten mit Plattenrevision aufgrund einer sternalen Schmerzproblematik wie folgt dar:



**Abbildung 58:** Schmerzverlauf vor und nach Explantation bei Patienten mit Plattenrevision aufgrund einer sternalen Schmerzproblematik

Von insgesamt 8 Patienten die wegen einer sternalen Schmerzproblematik explantiert wurden, waren postoperativ nur 2 Patienten schmerzfrei. 6 Patienten beschrieben postoperativ weiterhin persistierende Schmerzen. 2 der 6 Patienten nahmen das Angebot einer Schmerztherapie in Anspruch, mit dem Ergebnis der Schmerzfreiheit.

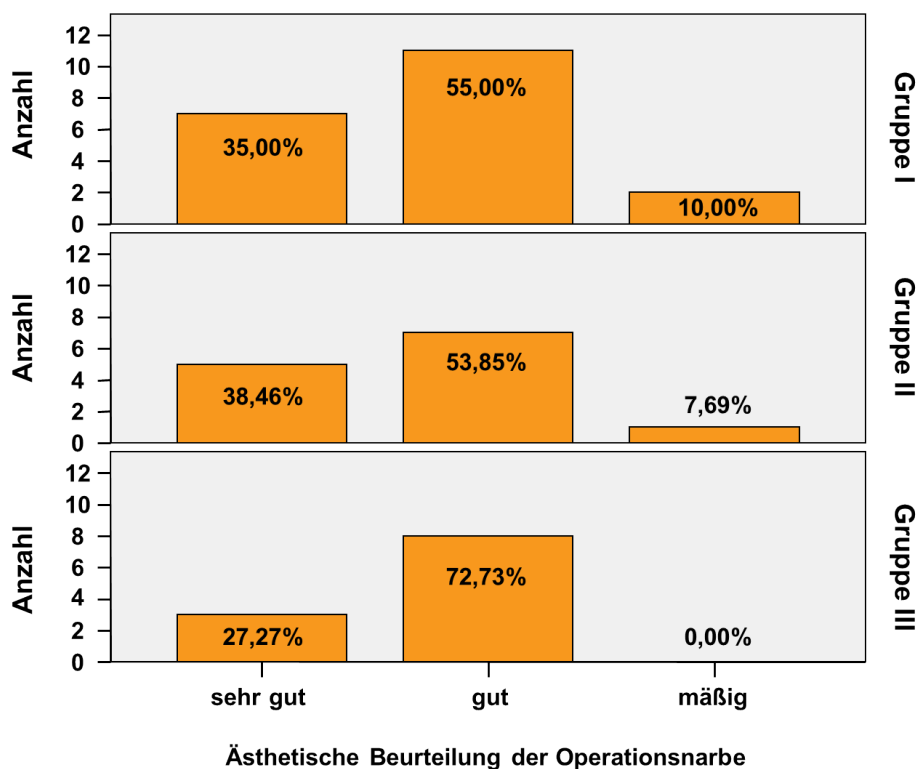
### 3.3.3. Klinische Untersuchungsergebnisse der Brustwand

Die klinische Untersuchung des Operationsgebietes ergab folgende, nicht signifikante Ergebnisse:

**Tabelle 19:** Untersuchungsergebnisse Brustwand – gruppenspezifische Darstellung

| Untersuchungsergebnisse der Brustwand | Gruppe I (n=20) | Gruppe II (n=13) | Gruppe III (n=11) |
|---------------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| thorakale Hypästhesie %               | 65,0            | 84,0             | 90,9              |
| thorakale Dysästhesie %               | 0,0             | 7,7              | 0,0               |
| thorakale Hyperästhesie %             | 0,0             | 0,0              | 0,0               |
| Durchblutungsstörungen %              | 0,0             | 7,7              | 9,1               |

Die ästhetische Beurteilung der Operationsnarbe ergab folgendes, gruppenspezifisch nicht signifikantes Ergebnis:



**Abbildung 59:** Ästhetische Beurteilung der Operationsnarbe – gruppenspezifische Darstellung

## 4. DISKUSSION

### 4.1. Management sternaler Instabilität

Das Auftreten einer sternalen Dehiszenz mit oder ohne Infektion stellt eine seltene aber schwerwiegende Komplikation nach medianer Sternotomie dar [43]. Voraussetzung für einen komplikationslosen postoperativen Verlauf, ist die stabile Fixierung sternaler Anteile [95]. Um dies zu gewährleisten gibt es verschiedene Sternumverschluss-Techniken. Im Regelfall wird das Sternum nach medianer Sternotomie erfolgreich mittels Drahtcerclagen verschlossen [42]. Die Entwicklung einer sternalen Dehiszenz nach primärem Sternumverschluss kann durch das Vorhandensein folgender Risikofaktoren begünstigt werden [24, 38, 71, 78]:

- Osteoporose
- COPD
- Adipositas
- Diabetes mellitus
- regelmäßige Cortisongabe
- sternale Minderperfusion aufgrund einer Doppelmammaria-Entnahme
- durch den Thoraxsperrer bedingte Querfrakturen
- lange Operationszeiten
- postoperatives Durchgangssyndrom
- postoperative Blutungen, Rethorakotomie bei Blutungen
- verminderte Nierenfunktion
- pAVK
- Immunsuppression
- postoperativ notwendige Herz-Druckmassagen

Meist lässt sich diese durch erneute Reverdrahtung erfolgreich therapieren [95]. Außerdem stehen technisch modifizierte Verfahren der Sternumverdrahtung, wie die von Robicsek, zur Verfügung [69]. Im Falle multipler transversaler Frakturen, gescheiterter Versuche der konventionellen Reverdrahtung oder ausgiebiger

Knochendebridements, müssen andere Therapieoptionen angewandt werden, um eine stabile Knochenheilung zu erreichen [75].

Eine Möglichkeit stellt die sternale Revision mittels Muskelplastiken und/oder vaskularisierter Gewebstransplantate dar [44]. Diese Art des sekundären Thoraxverschlusses ist vor allem geeignet im Falle osteomyelitisch, chondritisch oder stark exudativ veränderter Sterna, die eine ausgiebige Wundsanierung mit Exzision aller nekrotischen und avitalen Anteile notwendig macht. Voraussetzung für eine optimale Wundheilung ist das Vorhandensein ausreichend vaskularisierter Gewebsanteile, die in Form von Muskellappen zur Verfügung stehen [39].

Zur Deckung sternaler Defekte wird am häufigsten der M. pectoralis major genutzt. Die unmittelbare Nähe zum Sternum und eine hervorragende Gefäßversorgung (Arteria thoracoacromialis, Arteria thoracica interna) bieten optimale Voraussetzungen für eine adäquate Wundheilung nach Reverdrahtung der sternalen Anteile [39]. El Gamel et al. beschrieb die M. pectoralis Plastik in Kombination mit einer vorangehenden sternalen Reverdrahtung als ein einfaches Verfahren mit geringer Letalität (0%) und Morbidität (13%) [18].

Im Falle großflächiger Defekte des unteren Sternumdrittels, z. B. nach ausgiebigem Wunddebridement, reicht der M. pectoralis für eine adäquate Defektdeckung nicht aus [39]. In solchen Fällen eignet sich besser eine Plastik mit dem M. latissimus dorsi. Als größter thorakaler Flächenmuskel kann dieser als gestielter und freier Lappen zur Deckung großflächiger sternaler Defekte genutzt werden [4, 12].

Lässt sich aufgrund eines großflächigen Sternumdefektes neben der plastischen Deckung keine knöcherne Stabilisierung durch Drahtcerclagen erzielen, so besteht die Gefahr der Thoraxinstabilität [40]. Langzeituntersuchungen ergaben, dass 40% der Patienten nach Muskelplastiken bei fehlender knöcherner Stabilität unter chronischen Schmerzen leiden [100]. Maßgeblich für eine schnelle Knochenheilung und eine damit verbundene Schmerzlinderung ist die Reduktion der Beweglichkeit knöcherner Fragmente [14]. Claes et al. veranschaulichte die Auswirkung einer verminderten interfragmentären Beweglichkeit auf den Verknöcherungsprozess und wies eine Zunahme der Knochenbildung sowie eine Abnahme der Bindegewebsproduktion im Bereich des Frakturspaltes auf [14].

Biomechanische Studien konnten einen signifikanten Vorteil sternaler Verplattungssysteme gegenüber der konventionellen Verdrahtung im Hinblick auf die Sternumstabilität aufweisen [58, 59]. Bereits in den 80er Jahren zeigten sich die Vorteile einer knöchernen Verplattung in anderen chirurgischen Disziplinen, wie bspw. der Orthopädie oder der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie [31, 47, 74, 101]. Klinisch konnte insbesondere Folgendes nachgewiesen werden:

- ➔ Abnahme knöcherner Wundheilungsstörungen bzw. Komplikationen [31, 47, 74, 101]
- ➔ verkürzter Krankenhausaufenthalt postoperativ [90]
- ➔ schnellere Wiedererlangung der Funktionalität [31, 90]

In der Herzchirurgie wurden industriell hergestellte Sternum-Plattenosteosynthese-Systeme erst vor knapp 10 Jahren eingeführt. Momentan stehen Fixationssysteme sowohl für den primären, als auch für den sekundären Thoraxverschluss zur Verfügung. Für den primären Thoraxverschluss nach medianer Sternotomie werden meist kleine H-förmige Sternumplatten (z.B. Sterna Lock System<sup>®</sup>) eingesetzt.

Zur sekundären Refixierung stehen folgende Systeme zur Verfügung, wie sie auch in unserer Studie angewandt wurden:

- ➔ das Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup>
- ➔ das Modulare Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup>

Im Folgenden soll auf die Vor- und Nachteile dieser Sternum-Plattenosteosynthese-Systeme eingegangen werden.

## **4.2. Material und Methodik**

### **4.2.1. Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup>**

#### **4.2.1.1. Das „Locking-Prinzip“**

Das Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup> basiert auf dem sogenannten „Locking-Prinzip“. Darunter versteht man die winkelstabile Fixation des Osteosynthesematerials im Knochen. Das Zusammenspiel des Spezialgewindes im Schraubenkopf der Verriegelungsschraube und dem dazu komplementären Gewinde in der Verriegelungsplatte ermöglicht die stabile Verankerung des Schraubenkopfes senkrecht zur Osteosyntheseplatte [28, 41]. Dieses System entspricht dem Wirkprinzip eines Fixateur extern mit dem Unterschied der internen Anwendung [28, 94]. Durch das Verschrauben des Schraubenkopfes in das Gewinde des Plattenlochs ist die Schraube sowohl sicher in der Platte wie auch im Knochen fixiert. Dies bewirkt eine Aufhebung von Scherkräften [28, 41]. Ein wesentlicher Vorteil der Winkelstabilität ist die Vermeidung eines Anpressdruckes der Osteosyntheseplatten auf den Knochen, wobei die periostale Blutversorgung aufrecht erhalten wird [28, 61].

Durch die Winkelstabilität entfällt die Notwendigkeit einer exakten Anpassung der Osteosyntheseplatten an die Kontur des Knochens [28]. Das stabile Konstrukt aus Verriegelungsplatte und –schraube ermöglicht eine gleichmäßige Kräfteverteilung entlang des plattenosteosynthetisch versorgten Knochens. Somit lässt sich auch eine stabile Fixierung in weniger solidem Gewebe, wie Knorpel oder osteoporotisch geschwächtem Knochen, erzielen [20].

Die winkelstabile Fixation verhindert außerdem ein Schraubendurchdrehen im Knochen und eine damit verbundenen Materiallockerung.

#### 4.2.1.2. Verletzungsgefahr und Materiallockerung

Beim Anbringen der Osteosyntheseplatten besteht das potentielle Risiko mediastinal bzw. substernal gelegene Strukturen wie Pleura, Lunge, Intercostalnerven, Gefäße (Arteria thoracica interna) oder Bypassgrafts zu verletzen [94]. Um dies zu verhindern sollte die zu platzierende Schraube nicht zu lang sein und die vorausgehende Bohrung nicht zu tief erfolgen [30, 94]. Durch den Gebrauch eines Tiefenmessgerätes kann der sternale Durchmesser von kranial nach kaudal bestimmt und durch Auswahl der entsprechenden Schraube das Verletzungsrisiko limitiert werden [84].

Die potentielle Gefahr mediastinal befindliche Strukturen zu verletzen ist jedoch auch bei anderen sternalen Verschlussmethoden gegeben, so zum Beispiel bei der Verdrahtung nach Robicsek. Diese macht eine ausgiebige Präparation des substernal gelegenen Gewebes notwendig, um die longitudinale Platzierung der Stahldrähte zu ermöglichen. Hierbei besteht ebenfalls das Risiko Strukturen, vor allem Gefäße, wie bspw. die Arteria thoracica interna oder Bypässe, zu beschädigen. Im Gegensatz dazu kann bei sternaler Fixierung mittels Plattenosteosynthese eine Adhäsiole in dieser Form völlig vermieden werden [63].

Bei der Methode nach Robicsek besteht außerdem die Gefahr der sternalen Minderperfusion, weil die longitudinale Sternumverdrahtung eine Kompression von Kollateralgefäßen der Arteria thoracica interna bewirken kann [18, 71, 81]. Bei der sternalen Plattenosteosynthese bleibt die sternale Blutversorgung weitgehend intakt.

Bei zu kurz gewählten Schrauben besteht das Risiko der Schrauben- sowie Plattenlockerung. Dies wiederum kann das erneute Auftreten einer sternalen Dehiszenz bedingen [27, 30, 58].

Ein möglicher Nachteil von Osteosyntheseplatten im Vergleich zu konventionellen Drahtcerclagen liegt in deren Materialdicke. Während Drahtcerclagen einen Durchmesser von ca. 0,7 bis 0,9 mm aufweisen, haben die für den sternalen Verschluss verwendeten Platten eine Höhe von ca. 2,4 mm und eine Breite von ca. 8 mm. Geäußerte Bedenken bezüglich einer möglichen Plattenperforation ließen sich jedoch nicht bestätigen, da durch die Mobilisation des M. pectoralis beidseits das platzierte Osteosynthesematerial sicher überdeckt wird [50].

Werden bei der sternalen Plattenosteosynthese Metalle unterschiedlicher Wertigkeit, wie beispielsweise Titan und Reinstahl kombiniert, kann es prinzipiell zu elektromagnetischen Wechselwirkungen kommen [94]. Der direkte Kontakt zweier verschiedener Metalle führt zur Entwicklung einer elektrischen Potentialdifferenz. Dieses Prinzip wird als Galvanisches Element bezeichnet. Hierbei entsteht ein sogenannter Korrosionsstrom. Das unedlere Metall (Anode) wird oxidiert und die positiven Ionen abgegeben [5]. Aufgrund dieses Phänomens sind Entzündungsreaktionen des Körpers prinzipiell nicht ausgeschlossen. Zu Beginn unserer Studie erfolgte zunächst die Kombination von Titanplatten mit Stahldrähten. In keinem Fall zeigte sich eine inflammatorische Reaktion. Voss et al. begründet dies damit, dass die Kontaktfläche zwischen Stahl und Titan zu klein sei, um entsprechende elektrochemische Wirkungen zu erzielen [94]. Mitra et al. verwendete eine ähnliche Technik und fand ebenfalls keine Komplikationen [50]. Da langfristig eine derartige Reaktion jedoch nicht sicher auszuschließen ist, wurden im weiteren Verlauf nur noch Titandrähte zur Refixierung der longitudinalen Plattensysteme eingesetzt.

#### **4.2.1.3. Plattenanordnung**

Das Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup> ist zur transversalen Verplattungen konzipiert. Diese Plattenausrichtung wurde in Gruppe I angewandt. In Abweichung davon wurden die Platten in Gruppe II longitudinal angeordnet. Wie bei der transversalen Stabilisierung wurden bei der longitudinalen Fixation winkelstabile Titanplatten verwendet, in diesem Fall durchgehend ohne Emergency-Öffnungsstift. Nach longitudinaler Verplattung erfolgte in unserem Fall die Adaption beider Sternumhälften durch Stahl- bzw. Titandrähte, die parasternal oder im Bereich der Rippenköpfe gestochen wurden. Eine ähnliche Vorgehensweise der longitudinalen Plattenosteosynthese wurde 1998 von Smoot et al. beschrieben [82]. Im Vergleich zu unserem Verfahren wurden hier Stahlplatten des Synthes<sup>®</sup> Small Fragment Sets<sup>®</sup> verwendet (Synthes, Paoli, PA) [82], wobei die Technik der Verdrahtung wie in unserer Studie erfolgte.



Mitra et al. nutze zur longitudinalen Stabilisierung Titan-Rekonstruktionsplatten aus dem Synthes<sup>®</sup> Mandibular Trauma Set<sup>®</sup> (Synthes, Paoli, PA) in Kombination mit Stahldrähten [50]. Ein wesentlicher Unterschied zu den Fixationsplatten unserer Studie war die nicht vorhandene Winkelstabilität der Rekonstruktionsplatten. Außerdem erfolgte die Positionierung der Stahldrähte nur um die Fixationsplatten herum ohne das Sternum in die Verdrahtung einzubeziehen. Die gleiche Technik wurde von Chase et al., unter Verwendung modifizierter Mandibular Rekonstruktionsplatten aus Stahl, angewendet (Synthes U.S.A., Paoli, PA) [10].

#### **4.2.1.4. Vor- und Nachteile der transversalen Verplattung**

Die Fixierung langer transversaler Osteosyntheseplatten macht eine weitgehende Mobilisation des M. pectoralis beidseits notwendig [27, 94]. Durch diese Präparation ergibt sich eine Art „Totraum“ unterhalb des Muskels, der die Entstehung postoperativer Serome begünstigt [21, 94]. Dieses Problem kann durch die Wahl der Plattenlänge beeinflusst werden: je kürzer die Platte, desto weniger Pectoralismuskulatur muss mobilisiert werden und desto geringer ist das Risiko einer postoperativen Seromentwicklung [21, 94]. Mit wachsender Erfahrung in der Anwendung des Systems zeigte sich, dass auch bei kürzerer Plattenlänge eine ausreichende Sternumstabilität erzielt werden kann [94].

Ein weiterer Aspekt der Plattenlänge ist die Auswirkung auf die costale Beweglichkeit: je länger die Platten, desto unbeweglicher die Rippen [94]. Dies kann bewegungs- und vor allem atemabhängige thorakale Schmerzen hervorrufen [94]. Außerdem besteht bei zu lang gewählten Osteosyntheseplatten die Gefahr der Schrauben- sowie Plattenlockerung. Bedingt durch die laterale Plattenpositionierung und den anatomisch gebogenen Verlauf der Rippen entsteht eine atemabhängige Drehkraft, die zu einer Lockerung der Schrauben führen kann [13, 27, 94].

Andererseits sollten die transversal positionierten Titanplatten auch nicht zu kurz sein. Ozaki et al. verglich 1998 in einer in vitro Studie die Effizienz des konventionellen Sternumverschlusses durch Drahtcerclagen, mit der einer plattenosteosynthetischen Versorgung [58].

Bei der mechanischen Testung kurzer transversaler 4 Loch-Platten zeigten sich knöcherne Minifrakturen im Bereich des Sternumrandes, die zu einer Schraubenlockerung und letztendlich zu einem Versagen der osteosynthetischen Versorgung führten. Ursächlich dafür machte Ozaki die sternumrandnahe Positionierung der Schrauben. Nach Modifizierung des Materials durch Ozaki et al. entstanden H-förmige Platten die in randfernen Abschnitten angebracht wurden und die im Vergleich zur konventionellen Verdrahtung eine signifikant stabilere Sternumrefixation ermöglichten [58].

Um einen ausreichenden Halt der transversal positionierten Platten zu erzielen, sollte stets eine bikortikale Bohrung zur sicheren Fixierung der Schrauben durchgeführt werden [88]. Je weiter lateral die Plattenbefestigung erfolgt, desto schwieriger wird es jedoch den genauen Diameter der Rippen zu bestimmen [94]. Die im Vergleich zum Sternum wesentlich dünnere Rippencorticalis macht somit eine höhere Zielgenauigkeit bei bikortikalen Bohrungen erforderlich. Außerdem ist die Verletzungsgefahr bei costalen Bohrungen erhöht, da die darunter liegenden Strukturen, nicht wie beim Sternum, eingesehen werden können [94]. Aus diesem Grund empfiehlt Plass et al. im Zweifel nur eine monokortikale Fixierung durchzuführen [63].

Zusammenfassend eignet sich das System besonders beim Vorliegen sternaler Knochenverluste, z.B. nach ausgedehnter Sternumresektion. Kurze transversale Platten oder Sternumkörperplatten können zur Therapie partieller Dehiszenzen im Bereich des kranialen und kaudalen Sternalpols, sowie geringgradiger Dehiszenzen des Corpus sterni eingesetzt werden.

#### **4.2.1.5. Vor- und Nachteile der longitudinalen Verplattung**

Die longitudinale Verplattung eignet sich vor allem zur Stabilisierung transversaler Frakturen [95]. Insbesondere bei vorausgegangener Sternumteilresektion fungieren longitudinale Platten als eine Art „Neosternum“ [94]. Die plattenosteosynthetische Versorgung mit longitudinal angeordneten Platten empfiehlt sich auch bei osteoporotischem Knochen zur Vermeidung von Cerclagenaustrissen [82].

Durch die longitudinale Verplattung entsteht ein stabiles sternales Konstrukt, das zu einer gleichmäßigen Kräfteverteilung entlang der Platten führt und den Anforderungen einer erneuten Refixierung beider Sternumhälften mittels Stahl- bzw. Titandrähten besser standhält [50, 82].

Die Fixierung longitudinal ausgerichteter Platten sollte ebenfalls durch bikortikale Bohrungen erfolgen. Im Vergleich zur transversalen Fixierung bietet das longitudinale System den Vorteil, die Bohrungen unter visueller sowie digitaler Kontrolle durchzuführen. Dadurch lässt sich ein potentiell Verletzungsrisiko deutlich reduzieren [94]. Ein weiterer Vorteil gegenüber der transversalen Fixation ist die deutlich geringer ausgeprägte Pectoralismobilisation.

Ein Nachteil der longitudinalen Verplattung besteht darin, dass zusätzlich vorhandene sterno-costale Frakturen nicht ausreichend therapiert werden können. Voraussetzung für eine longitudinale Verplattung ist das Vorhandensein ausreichend sternalen Knochensubstanz.

#### **4.2.2. Modulares Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup>**

##### **4.2.2.1. Unterschiede zum Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup>**

Das Modulare Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup> der Firma Synthes erschien ca. 3 Jahre nach Einführung des Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup>. Das System stellt eine Mischung aus plattenosteosynthetischer Versorgung und sternaler Kabelfixation dar und unterscheidet sich in folgenden Punkten vom Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup>:

- Verwendung von Stahlplatten
- Platten ohne Winkelstabilität
- Befestigung durch Hohlschrauben mit größerem Durchmesser (4,5 mm)
- zusätzliche transversale Plattenbohrungen zur Kabelfixation
- ausschließlich Verplattung in longitudinaler Ausrichtung möglich
- Adaption der Sternumhälften mittels Stahlkabel

#### 4.2.2.2. Vor- und Nachteile des Modularen Sternum-Kabelsystems<sup>®</sup>

Das Modulare Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup> eignet sich besonders zur Rekonstruktion multipler Querfrakturen. Die longitudinale Verplattung beider Hemisterna ermöglicht eine Verstärkung des frakturierten Knochens und führt zu einer gleichmäßigen Kräfteverteilung entlang der Sternumhälften. Die Fixierung der Stahlplatten mittels großer Hohlschrauben ermöglicht eine zusätzliche Verstärkung des Knochens und gewährleistet eine sichere intraossäre Kabelführung, durch die ein Einschneiden in den Knochen verhindert wird [92].

Die mehrfachverdrillte Kabelstruktur bewirkt eine höhere Flexibilität und Widerstandsfähigkeit des Stahlkabels. Dadurch werden stärkere Zugkräfte zwischen den sternalen Fragmenten ermöglicht ohne die Gefahr des Kabelbruchs [92, 95]. Daraus leitet sich der theoretische Vorteil einer raschen Kallusbildung und einer effizienten indirekten Frakturheilung ab [92].

Weitere Vorteile des Systems ergeben sich aus der Verschlusstechnik. Prinzipiell bestehen zwei Möglichkeiten der Kabelfixierung:

- 1.) Beide Kabelenden kommen suprasternal in einem Parallelendstück zum Liegen und werden mittels einer Klemmhülse sicher fixiert [87].
- 2.) Ein Kabelende fixiert sich von selbst in einer der Hohlschrauben, wobei das andere Kabelende nach Passage eines transversalen Plattenlochs durch eine Klemmhülse parasternal befestigt wird [87].

Beide Methoden ermöglichen eine sichere und stabile Fixierung der Kabelenden, wodurch die Verletzungsgefahr von suprasternalem Weichteilgewebe reduziert wird. Im Gegensatz hierzu kommen bei der Verwendung von Drahtcerclagen die spitzen Stahllenden nach Verdrillung ungesichert zum Liegen, wodurch sich das Verletzungsrisiko erhöht [95].

In Gruppe III erfolgte die Kabelfixierung ausschließlich durch die zweitgenannte Variante, da hierbei der Verschlusskomplex aus Kabelende und Klemmhülse parasternal platziert wird. Verglichen mit der suprasternalen Positionierung weist die parasternale Fixierung ein noch geringeres Verletzungsrisiko des sternalen Weichteilgewebes auf.

Ein wesentlicher Nachteil des Modularen Sternum-Kabelsystems<sup>®</sup> ist die Notwendigkeit einer kompletten Freilegung beider Sternumhälften. Dabei kann es grundsätzlich zu schweren Herz- und Lungenverletzungen kommen.

Ein weiteres Problem ergibt sich aus der nicht vorhandenen Winkelstabilität der Stahlplatten. Um eine stabile Fixation der Platten auf dem Knochen zu gewährleisten, ist ein ausreichender Anpressdruck notwendig. Hierbei besteht allerdings die Gefahr periostale Gefäße zu komprimieren, was eine sternale Minderversorgung und letztendlich eine zusätzliche Schädigung des Knochens hervorrufen kann.

### **4.3. Ergebnisse**

#### **4.3.1. Patientenprofil**

##### **4.3.1.1. Präoperative Patientendaten**

Das beschriebene Patientenkollektiv wies ein typisches Risikoprofil für die Entwicklung postoperativer sternaler Wundheilungsstörungen auf [6, 7, 15, 38, 52, 55, 67, 78]: Neben einem hohen Alter sowie einem vorrangig männlichen Geschlecht (79,5%), zeigte sich ein charakteristisches Komorbiditätsprofil mit Nebenbefunden wie Diabetes mellitus, arterielle Hypertonie, Hyperlipidämie, Nikotinabusus, COPD, pAVK, Niereninsuffizienz und Adipositas. Bei einem Großteil der Patienten erfolgte eine bypasschirurgische Versorgung unter Verwendung eines bzw. beider Mammariagefäße, was ebenfalls als prädisponierend für die Entstehung sternaler Wundkomplikationen gilt [6, 38, 67, 91]. Der im frühpostoperativen Verlauf verstorbene Patient unterschied sich bezüglich des Risikoprofiles nicht vom Restkollektiv.

Die Therapie der Sternuminstabilität mittels Plattenosteosynthese erfolgte entweder mit (n=23) oder ohne (n=21) begleitende Infektion. Obwohl sich retrospektiv keine Signifikanz (p-Wert 0.096) bezüglich der Ursachenverteilung darstellen ließ, zeigte sich innerhalb der Gruppen ein deutlicher Unterschied: In Gruppe I erfolgte die sternale Verplattung in 65,00% aufgrund einer sterilen Dehiszenz, wohingegen in Gruppe II und III nur 27,27% bzw. 38,46% der Patienten eine sterile Sternuminstabilität aufwiesen. Tendenziell zeigten sich somit die meisten sternalen Wundinfektionen in Gruppe II und III. Eine fehlende Signifikanz, trotz eindeutiger prozentualer Unterschiede, lässt sich durch die geringe Stichprobengröße innerhalb der Gruppen erklären.

Bei sternalen Wundinfektionen wurden am häufigsten KNS (47,37%) sowie *Staphylococcus aureus* Stämme (21,05%) nachgewiesen. Das gleiche Keimspektrum zeigte sich auch bei anderen Autoren [10, 13, 21].

Außerdem ergab die retrospektive Datenanalyse in Gruppe I mit 30% einen signifikant niedrigeren Anteil an multiplen sternalen Querfrakturen als in Gruppe II mit 84,6% (p-Wert 0.002). Auch in Gruppe III konnten mit 63,3% deutlich mehr Sternumfrakturen als in Gruppe I festgestellt werden (p-Wert 0.128). Dieser Unterschied lässt sich darauf zurückführen, dass eine Verplattung in longitudinaler Ausrichtung, wie sie in Gruppe II und III angewandt wurde, besser zur Stabilisierung transversaler Frakturen geeignet ist [95].

Der Zeitabstand zwischen dem kardiochirurgischem Ersteingriff und der sternalen Osteosynthese unterschied sich innerhalb der Gruppen ebenfalls signifikant (p-Wert 0.022). Bei Patienten in Gruppe I fand die plattenosteosynthetische Versorgung im Durchschnitt  $343 \pm 546$  Tage nach Durchführung des Ersteingriffes statt. In Gruppe II und III erfolgte die sternale Rekonstruktion wesentlich früher, nämlich  $144 \pm 282$  bzw.  $173 \pm 295$  Tage nach Sternotomie. Das lässt sich darauf zurückführen, dass die Indikation zur plattenosteosynthetischen Versorgung in Gruppe I mit einem Anteil von 35,00% wesentlich seltener mit einer Infektion assoziiert war, als in Gruppe II und III mit 61,54% bzw. 72,73%. Somit kamen in Gruppe I mehr Patienten mit chronisch instabilem Sternum zur Operation. Beispielhaft sei der Fall eines Patienten in Gruppe I geschildert: Nach initialem 5-fach ACVB kam es zu einer sternalen Dehiszenz, die nach 3 frustrierten Versuchen der konventionellen Reverdrahtung bei nahezu kompletter Sternektomie durch eine M. pectoralis Plastik und ein Meshgraft plastisch gedeckt wurde. Bei ausgeprägter sternaler Schmerzproblematik wurde schließlich nach 2373 Tagen eine plattenosteosynthetische Versorgung in transversaler Ausrichtung durchgeführt. Dieser Fall ist gleichfalls exemplarisch für die Anwendung einer sternalen Plattenosteosynthese zur Therapie einer besonders komplizierten Sternumdehiszenz.

Andere Autoren wiesen ebenfalls eine große Spanne zwischen Ersteingriff und Plattenosteosynthese auf [10, 21, 33]. So führte Fawzy et al. durchschnittlich 9 Tage nach herzchirurgischer Erstoperation die transversale Plattenosteosynthese mit einer Streuung von 4 bis zu 420 Tagen durch [21].

### **4.3.1.2. Intra- und postoperative Daten**

#### **4.3.1.2.1. Operativer Verlauf**

Die durchschnittliche Operationszeit der Plattenosteosynthese unterschied sich innerhalb der Gruppen signifikant ( $p$ -Wert  $<0,001$ ). Sie war in Gruppe I mit  $94\pm 26$  am kürzesten und in Gruppe II und III mit  $153\pm 43$  bzw.  $165\pm 59$  Minuten am längsten. Dieser Unterschied lässt sich auf das operativ insgesamt komplexere Verfahren in Gruppe II und III zurückführen. Außerdem machte das Vorhandensein eines sternalen Wundinfektes in diesen Gruppen ein zeitintensiveres Wunddebridement notwendig. Vergleichbar der Operationstechnik in unserer Gruppe I, nutzte Fawzy et al. bei 40 Patienten ebenfalls das Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup> zur transversalen Stabilisierung mit 3 Querplatten und einer Sternumkörperplatte. Die durchschnittliche Operationszeit wurde in dieser Untersuchung mit 122 Minuten angegeben [21]. Die um  $\frac{1}{4}$  kürzere Operationszeit bei unseren Patienten ist darauf zurückzuführen, dass in 7 Fällen der alleinige Gebrauch von Sternumkörper-Verriegelungsplatten zur transversalen Befestigung eingesetzt wurde. Im Gegensatz zur transversalen Verplattung von Rippe zu Rippe ist dabei eine weitaus geringere Pectoralismobilisation notwendig.

#### **4.3.1.2.2. Postoperativ-stationärer Verlauf**

Die Intubationszeit nach sternaler Verplattung war ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Durchschnittswerte von  $3,39\pm 3,69$  h in Gruppe I,  $4,25\pm 5,91$  h in Gruppe II bzw.  $4,65\pm 5,33$  h in Gruppe III, entsprachen den Angaben anderer Autoren [10, 13, 21]. Fawzy et al. extubierte die ersten Patienten seiner Serie zur Vermeidung unwillkürlicher Bewegungen absichtlich erst nach 48 Stunden, um die sternale Belastung so gering wie möglich zu halten. Nachdem Fawzy mit diesem Vorgehen keinen Vorteil erzielen konnte, erfolgte die Extubation der weiteren Patienten seines Kollektivs unmittelbar postoperativ [21]. Die längste Intubationszeit in unserem Patientenkollektiv lag bei 23 h. Dabei handelte es sich um den am 30. postoperativen Tag verstorbenen Patienten, der bereits präoperativ aufgrund seiner Multimorbidität über mehrere Wochen intensivpflichtig war.



Obwohl die postoperative Intubationsdauer im Gruppenvergleich keinen signifikanten Unterschied aufwies, gestaltete sich der postoperative Verlauf auf der Intensiv- bzw. Pflegestation unterschiedlich lang: So konnten die Patienten aus Gruppe III durchschnittlich erst nach  $24 \pm 26$  Tagen entlassen werden, wohingegen Patienten aus Gruppe I und II im Mittel bereits nach  $7 \pm 3$  bzw.  $13 \pm 13$  Tagen die Klinik verließen. In Gruppe III bestanden deutlich längere intensivmedizinische Verläufe, die im Durchschnitt  $4,6 \pm 7,7$  Tage bis maximal 23 Tage dauerten. Ursächlich hierfür war die Entwicklung postoperativer sternaler Wundinfekte ( $n=6$ ) in Gruppe III, die sich überwiegend (66,7%) frühpostoperativ manifestierten. Dies zog ein zeitnahes Wundmanagement mit Reexploration und Revision des Plattenmaterials nach sich. Postoperative sternale Wundinfekte traten in Gruppe I und II signifikant weniger auf.

Die in der Literatur beschriebenen Angaben bezüglich der Entlassungsfähigkeit nach transversaler sowie longitudinaler Verplattung ohne Kabelfixation entsprachen in etwa den von uns angegebenen Daten in Gruppe I und II [10, 13], oder wiesen längere Verläufe auf [21, 33], wie bspw. bei Huh et al., der seine Patienten im Mittel 15 Tage nach Sternumosteosynthese entließ [33]. Zum Kabelsystem existiert bisher keine vergleichbare Literatur.

#### **4.3.1.2.3. Postoperative Komplikationen**

Die Komplikation des subpectorale Seroms trat bereits bei dem ersten plattenosteosynthetisch versorgten Patienten auf. Bei diesem wurde die Drainage unmittelbar nach Sistieren der Fördermenge entfernt. Damit entfiel auch die Sogwirkung zwischen der Thoraxwand und der mobilisierten Pectoralmuskulatur. Es ist zu vermuten, dass zu diesem Zeitpunkt die „Verklebung“ der Gewebeschichten noch unzureichend ausgeprägt war und somit die Entwicklung des Seroms ermöglichte. Unter dieser Vorstellung erfolgte der Drainagenzug bei allen weiteren Patienten erst 24 h nach vollständigem Sistieren der Sekretion. Mit diesem Vorgehen entwickelte sich kein weiterer Fall einer Seromformation. Auch bei Cicillioni et al., der das Auftreten postoperativer Seromformationen mit einer Inzidenz von 10% (5/50) beschrieb, zeigte sich nach konsequent langer Drainagenpersistenz keine weitere Seromentwicklung [13]. Somit ist anzunehmen, dass nicht die Verplattung per se,

sondern die hierzu notwendige Mobilisation des M. pectoralis für die Entwicklung postoperativer Serome verantwortlich ist [13, 21, 94]. So zeigte sich in einer Serie von 74 Patienten, bei denen die sternale Rekonstruktion ausschließlich mittels Pectoralis Muskelplastiken durchgeführt wurde, eine noch höhere Inzidenz der Seromformation von insgesamt 24% [32].

In diesem Zusammenhang ergibt sich ein weiterer relevanter Aspekt in der Prävention postoperativer subpectoraler Serome: Je länger die zu fixierenden Querplatten, desto weitreichender die Freilegung des M. pectoralis major und desto größer die geschaffene Wundhöhle unterhalb des Muskels. Dies erhöht das Risiko einer postoperativen Seromformation. Entscheidend ist demnach die Platten so kurz wie möglich zu wählen, um die Muskelmobilisation so gering wie nötig zu halten [94]. Alternativ beschrieb Fawzy et al, der ebenfalls in 2,5% der Fälle eine Seromformation feststellen konnte, den Verschluss der Gewebeschichten durch Fixierung des Muskelgewebes an den Titanplatten. Auf diese Weise sollte die Ausbildung großer Serome verhindert werden [21].

Bei einem Patient aus Gruppe II erfolgte 4 Wochen nach sternaler Verplattung eine operative Revision aufgrund eines prästernal kindskopfgroßen Hämatoms, nachdem der Patient zuvor wegen einer Nahrungsaspiration reanimiert werden musste. Intraoperativ zeigte sich eine Blutung im Bereich des 4. Interkostalraumes rechts parasternal, ohne Hinweis auf eine ursächliche Beteiligung des Osteosynthesematerials. Der initiale Versuch die Blutungsquelle zu ligieren scheiterte aufgrund einer ausgeprägten Fragilität des Gewebes bei Zustand nach sternalem Wundinfekt. Erst die Versorgung durch einen Teflonfilz mit French Glue brachte die Blutung zum Stillstand. Trotz der vorangegangenen Herz-Druck-Massage zeigte sich das Sternum vollkommen stabil.

Schimmer et al. beschrieb 2007 eine ähnliche Komplikation. Nach transversaler Stabilisierung mit 3 12-Lochplatten zeigte sich nach einem unauffälligen postoperativen Verlauf eine rasch progrediente prästernale, schmerzhafte Schwellung. Diese entwickelte sich plötzlich nach Durchführung physiotherapeutischer Maßnahmen. Intraoperativ zeigte sich bei intaktem Plattenmaterial eine subcutane Gefäßblutung. Schimmer und Kollegen führten die

Blutungskomplikation in diesem Fall auf eine Gefäßverletzung, ausgelöst durch die Spitzen eines Emergency-Öffnungstiftes, zurück [77].

Auch andere Autoren beschrieben das seltene Auftreten postoperativer Blutungskomplikationen nach sternaler Plattenosteosynthese und konnten, wie auch in unserem Fall, keinen Zusammenhang mit dem Osteosynthesematerial feststellen [13, 21].

#### **4.3.1.2.4. Postoperative Wundinfektionen**

Postoperativ entwickelten 27,3% (n=12) der Patienten nach plattenosteosynthetischer Versorgung einen sternalen Wundinfekt. In Gruppe III zeigte sich die höchste Infektionsrate mit 54%, wohingegen im Vergleich nur 25% der Patienten aus Gruppe I (p-Wert 0.123) und 7,7% der Patienten aus Gruppe II (p-Wert **0.023**) eine postoperative Wundheilungsstörung aufwiesen.

41,7% (n=5) der Wundinfektionen entwickelten sich im frühpostoperativen Verlauf ( $12 \pm 5$  Tage). Der Großteil davon manifestierte sich in Gruppe III (n=4). Dabei kam es in 3 Fällen, trotz der kräftigen Verankerungspunkte der relativ großen Hohlschrauben, zu Ausrissen des intakten Kabel- bzw. Plattenmaterials durch den infizierten Knochen mit der Folge schwerster Sternumdestruktionen. Bei einem weiteren Patient zeigte sich ein Durchriss aller Sternumkabel bei regelrecht fixierten Platten. In allen 4 Fällen musste letztendlich eine plastische Defektdeckung durchgeführt werden.

Die theoretischen Vorzüge des Modularen Sternum-Kabelsystems<sup>®</sup>, nämlich eine sichere Stabilisierung durch kaliberstarke Hohlschrauben in Verbindung mit longitudinalen Platten zur Vermeidung eines Materialdurchreißen, konnten unter dem Auftreten sternaler Infektionen nicht in die Praxis umgesetzt werden. Retrospektiv ergeben sich einige materialbezogene Aspekte, die unserer Meinung nach das häufige Auftreten von Infektionen beim Einsatz dieses Systems beeinflussten. Ein wesentlicher Punkt ist sicherlich die fehlende Winkelstabilität der Stahlplatten. Durch den erforderlichen Anpressdruck der Platten auf den Knochen können periostale Blutgefäße komprimiert und somit die Entwicklung sternaler

Wundkomplikationen durch eine Minderversorgung des Knochens begünstigt werden. Zusätzlich wird das Sternum durch jede Bohrung traumatisiert und die Knochenstruktur geschwächt. Die Hohlschrauben mit einem Durchmesser von 4,5 mm verursachen im Vergleich zu den wesentlich kleineren Titanschrauben (Diameter 3,00 mm) ein deutlich größeres Trauma. Ebenfalls einflussnehmend auf die Entwicklung sternaler Wundinfekte könnten die mehrfachverdrillten Stahlkabel sein. Durch die Verdrillung wird eine wesentlich größere Oberfläche geschaffen, die eine Anhaftung und Besiedlung potentieller Keime erleichtert. Auch das verwendete Plattenmaterial kann Einfluss auf den Wundheilungsprozess haben. Verglichen mit dem Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup> bestehen Platten und Schrauben des Modularen Sternum-Kabelsystems<sup>®</sup> aus Edelstahl. Bereits Cicillioni et al. führte seine niedrige postoperative Infektionsrate von 2,7% (1/50) nach sternaler Plattenosteosynthese unter anderem auf die potentiell „bakteriostatische“ Wirkung des verwendeten Plattenmaterials, nämlich Titan zurück [13]. Generell ließen sich in der orthopädischen und unfallchirurgischen Literatur wesentliche Vorteile von Titanimplantaten gegenüber Stahlimplantaten aufzeigen. So konnten Studien eine deutlich höhere Korrosionsrate mit Freisetzung potentiell toxischer sowie allergischer Stoffe bei Stahlimplantaten, verglichen mit bioverträglicheren Titanimplantaten feststellen [37]. Auch in tierexperimentellen Studien konnte die Überlegenheit von Titanimplantaten in Bezug auf die Widerstandsfähigkeit gegenüber bakteriellen Infektionen gezeigt werden: Nach perkutaner Beimpfung mit *Staphylococcus aureus* zeigte sich bei Stahlimplantaten eine 75%ige Infektionsrate, während bei Titanimplantaten nur in 35% der Fälle eine Infektion festgestellt werden konnte [3]. In Zusammenschau der beschriebenen Aspekte hat unserer Meinung nach der Einsatz des Modularen Sternum-Kabelsystems<sup>®</sup> wesentlich zur postoperativen Infektmanifestation beigetragen.

Die Infektmanifestation nach Anwendung des Sternum-Fixationssystems aus Titan<sup>®</sup> zeigte sich insbesondere im spätpostoperativen Verlauf (220±376 Tage). Bei den meisten Patienten handelte es sich um eine Reinfektion bei initial infektiöser Sternuminstabilität, wobei *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* oder KNS Erreger waren. Der Vorteil der späten Infektmanifestation bestand darin, dass bereits eine ausreichende Sternumstabilität bestand, so dass die Wunden jeweils nach

Plattenexplantation und Infektbehandlung sekundär mittels Pectoralisplastik verschlossen werden konnten. In 3 Fällen musste jedoch bei bestehender Sternumosteomyelitis eine plastische Defektdeckung durchgeführt werden. Lediglich bei einem Patienten aus Gruppe II zeigte sich frühpostoperativ eine prästernale Wundheilungsstörung (KNS), die bei unvollständigem Verknöcherungsprozess unter Belassen des Osteosynthesematerials erfolgreich mittels Vakuumpumpentherapie und Jet Lavage behandelt wurde.

Gaudreau et al. analysierte retrospektiv die Komplikationen nach plattenosteosynthetischer Versorgung mit dem Fixationssystem aus Titan bei initial infektiöser Sternuminstabilität und beschrieb die Problematik der sternalen Reinfektion mit einer Inzidenz von 9,8%. Als signifikante Prädiktoren konnte dieser eine prolongierte Intubationsdauer (>48h) sowie das bereits präoperative Vorhandensein eines Methicilin resistenten Staphylococcus aureus feststellen. Außerdem zeigten Patienten mit sternaler Reinfektion nebenbefundlich häufiger eine Adipositas, einen Diabetes mellitus, eine COPD sowie einen Nikotinabusus [23]. Bezogen auf die von Gaudreau beschriebenen Faktoren konnte in unserem Patientenkollektiv folgendes festgestellt werden: Patienten mit einer postoperativen Wundheilungsstörung nach Verplattung (n=12) wiesen nur geringfügig häufiger einen Nikotinkonsum auf, als Patienten ohne Wundheilungsstörung nach Verplattung (n=22) (66,7% vs. 53,1%). Vergleicht man jedoch Patienten, die postoperativ eine Wundheilungsstörung bei initial steriler Instabilität (n=6) entwickelten mit denen, die nach Verplattung eine Reinfektion (n=6) zeigten, so ließ sich feststellen, dass in der Reinfektgruppe deutlich mehr Patienten einen Nikotinabusus (83% vs. 50%) und einen Diabetes mellitus (83% vs. 33%) aufwiesen.

Gaudreau et al. beschrieb weiterhin, dass bei 2/3 seiner Patienten mit Reinfektion der gleiche Erregernachweis wie bereits präoperativ erzielt werden konnte [23]. Diese Konstellation zeigte sich auch in unserem Patientenkollektiv. Bei 4 von 6 Patienten mit sternaler Reinfektion konnten die gleichen Keime wie präoperativ nachgewiesen werden. Hierbei zeigte sich in 3 Fällen eine Staphylococcus aureus und in 1 Fall eine Escherichia coli Reinfektion. In 2 Fällen ließ sich präoperativ kein Erreger isolieren, postoperativ zeigten sich jeweils KNS. Möglicherweise handelte es sich hierbei um eine Erregerpersistenz bei unvollständiger Erregereradikation und

nicht um eine rezidivierende Neumanifestation. Andererseits wurde erst nach adäquater Wundbehandlung mit Debridement, Vacuumpumpentherapie, Jet Lavage und Antibiose eine sternale Verplattung bei absolut blanden Wundverhältnissen sowie negativen Abstrichergebnissen durchgeführt. Dieselbe Problematik schilderte auch Gaudreau et al., was er damit erklärt, dass trotz niedriger Entzündungsparameter (CRP), negativer Blutkulturen bzw. Abstrichergebnisse und eines augenscheinlich optimal vaskularisierten Wundgrundes die vollständige Infekteradikation nicht garantiert werden kann [23]. Nach Gottlieb et al. sollte eine rigide Sternumfixation erst bei einer Keimmenge kleiner  $10^5$  pro Gramm/Gewebe durchgeführt werden [24]. Hierbei stellt sich außerdem die Frage, ob bei den Patienten mit initial steriler Instabilität und postoperativer Wundheilungsstörung möglicherweise ein bereits präoperativ vorhandenes Infektgeschehen demaskiert wurde. Dies wäre insbesondere in den Fällen mit schwerer postoperativer Infektmanifestation denkbar. In diesem Zusammenhang empfahl Gaudreau et al. erst nach dreimalig negativem Abstrich – und Blutkulturergebnis von blanden Wundverhältnissen als Voraussetzung für eine sternale Plattenosteosynthese auszugehen. Außerdem sei eine regelmäßige Keimmengenbestimmung angezeigt, um die Schwere und den Verlauf eines sternalen Infektgeschehens zu dokumentieren. Dies könnte ebenfalls helfen, den richtigen Zeitpunkt für eine sternale Refixierung zu bestimmen [23].

An postoperativen Keimen ließen sich in unserem Fall vor allem KNS (50%) und *Staphylococcus aureus* Stämme (16.67%) nachweisen. Dies entspricht dem Keimspektrum anderer Autoren [13, 23]. Bezüglich der Inzidenz postoperativer Wundinfekte nach Verplattung beschrieben andere Autoren teilweise niedrigere Zahlen [10, 13, 21, 33], so wie Fawzy et al., der in einem Kollektiv von 40 Patienten lediglich in 2 Fällen (5%) eine Infektion feststellen konnte. Allerdings zeigte sich bei 6 seiner Patienten eine oberflächliche Wunddehiszenz, die mittels konservativer Therapie unter Belassen des Osteosynthesematerials behandelt wurde [21]. Die gleiche Problematik schilderte auch Chase et al., der in 5 von 30 Fällen eine oberflächliche Wunddehiszenz und in 3 weiteren Fällen eine revisionsbedürftige Wundinfektion verzeichnen konnte [10]. Schols et al. beschrieb neben der Komplikation der Reinfektion (4/20) auch das Auftreten sternaler Fistelbildung bei 3 Patienten [80].

### 4.3.2. Materialrevision

Postoperativ wurde insgesamt bei 43,2% der Patienten (n=19) das Plattenmaterial aufgrund sternale Schmerzen oder einer Infektmanifestation entfernt. Innerhalb der Gruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Explantationshäufigkeit (40% Gruppe I, 30,8% Gruppe II, 63,6% Gruppe III). Die prozentuale Verteilung eines sternalen Schmerzsyndroms als Grund für die Revision zeigte zwar numerisch große Unterschiede (50% Gruppe I, 75% Gruppe II, 14,29% Gruppe III), eine Signifikanz ließ sich jedoch aufgrund der geringen Stichprobengröße nicht nachweisen. Es zeigte sich aber eine Signifikanz hinsichtlich des zeitlichen Explantationsverlaufs zwischen Gruppe I (MW 149 Tage, Median 111 Tage) und Gruppe II (MW 744 Tage, Median 464 Tage). Der signifikant spätere Explantationszeitpunkt in Gruppe II (p-Wert 0.028) lässt sich durch den weitaus größeren Anteil schmerzindizierter Explantationen (75%) in dieser Gruppe erklären. Verglichen mit infektbedingten Plattenentfernungen, erfolgte die operative Revision bei sternalem Schmerzsyndrom erst nach Ausschöpfung sämtlicher konservativer Maßnahmen, wie z.B. analgetischer Therapie, Physiotherapie oder Akkupunktur. In Gruppe III erfolgte durchschnittlich 267 Tage (Median 16) nach Implantation die Revision des Plattenmaterials. In 85,71% der Fälle wurden die Platten wegen einer Infektion entfernt, wobei der Großteil zeitnah explantiert wurde (9, 9, 14, 16, 46 Tage postoperativ). Verantwortlich für den höheren Durchschnittswert war jedoch der Verlauf bei zwei Patienten, bei denen die Platten erst 715 Tage bzw. 1085 Tage postoperativ entfernt wurden.

Die Notwendigkeit der Materialentfernung wurde bereits von anderen Autoren beschrieben, wobei die Inzidenz mit 8% - 45% angegeben wird [10, 13, 21, 23, 27, 33, 64, 80]. Bei 3 unserer Patienten mit transversaler Verplattung von Rippe zu Rippe zeigte sich bei schmerzindizierter Plattenexplantation eine Lockerung der lateral fixierten Schrauben im Rippenknochen. Die Verankerung des Schraubenkopfes in der Platte sowie das Sternum an sich waren hierbei absolut stabil. Bei zu lang gewählten Platten kann eine Schraubenlockerung durch atemabhängige Drehkräfte, sowie eine Blockierung der Rippen und damit verbunden eine thorakale Schmerzsymptomatik hervorgerufen werden [13, 27, 94]. Die Platten wurden im weiteren Verlauf so kurz wie möglich gewählt, womit sich weitere

Ereignisse dieser Art verhindern ließen. Ein Schraubenversagen, im Sinne eines knöchernen Schraubendurch- bzw. Ausreißen, zeigte sich bei Raman et al. in 2 Fällen unter Verwendung des Sterna Lock Systems<sup>®</sup>. Ursächlich dafür machte Raman eine inadäquate bikortikale Fixierung aufgrund unzureichend langer Schrauben [64]. Ein Schraubenausreißen konnte bei keinem unserer Patienten festgestellt werden.

Bei 2 weiteren Fällen (n=1 Gruppe I, n=1 Gruppe 2) wurde bei Entfernung der Sternumplatten ein Plattenbruch vorgefunden. Bei einem Patient (Gruppe I) lag der BMI bei 40. Ein Zusammenhang zwischen ausgeprägter Adipositas und Plattenfrakturen bei sternaler Anwendung wurde auch von Song, Huh und Snyder beschrieben [33, 83, 84]. Trotz des Plattenbruches war das Sternum jeweils stabil. Bei einem weiteren Patienten (Gruppe III) zeigte sich bei infektbedingter Materialexplantation ein Durchriss aller Sternumkabel bei intakt fixierten Stahlplatten. Als ursächlich hierfür wird der destruierende infektiöse Prozess angesehen.

In der Orthopädie nimmt die Materialrevision nach erfolgreicher Knochenheilung ca. 30% aller elektiv-chirurgischer Operationen ein [8]. In unserem Fall war die Materialexplantation aufgrund einer Infektion bzw. eines Schmerzsyndroms eindeutig indiziert. Es stellt sich aber die Frage, ob eine Plattenentfernung nach erfolgreicher Restabilisierung auch ohne bestehende Beschwerdeproblematik überhaupt notwendig ist. Hypothetisch könnte damit eine potentielle Fremdkörperreaktion verhindert werden. In der kardiochirurgischen Literatur existieren diesbezüglich keine Empfehlungen. Die aktuellen Leitlinien der Fachgesellschaft für Unfallchirurgie sprechen Empfehlungen hinsichtlich der Notwendigkeit einer Materialentfernung aus. Demnach wäre ein Belassen des Osteosynthesematerials, bezogen auf die sternale Instabilitätsproblematik nach kardiochirurgischen Eingriffen, sinnvoll im Falle eines hohen Lebensalters, eines schlechten Allgemeinzustandes, einer riskanten bzw. komplikationsreichen Revisionsoperation sowie des Vorhandenseins reiner Titanimplantate. Eine Materialexplantation sollte neben der eindeutigen Indikation bei Infektionen, Schmerzsymptomatik, Materiallockerung oder Perforationsgefahr vor allem im Falle junger kardiochirurgischer Patienten erfolgen [2].



### 4.3.3. Effektivität der sternalen Plattenosteosynthese

#### 4.3.3.1. Sternumstabilität

Das klinische Follow-up zur Beurteilung der sternalen Stabilität erfolgte durchschnittlich  $2,35 \pm 1,70$  Jahre (Median 2,12) nach Verplattung und ergab in 97,7% (43/44) ein klinisch stabiles Sternum. In einem Fall (Gruppe III) konnte nach frühpostoperativer Explantation und Wunddebridement bei ausgedehnter Infektion keine adäquate Thoraxstabilität erzielt werden. Bei 3 weiteren Patienten (Gruppe III) mit frühpostoperativer Infektmanifestation ließ sich hingegen nach Wundmanagement und plastischer Defektversorgung eine klinische Thoraxstabilität erreichen. In allen weiteren Explantationsfällen ( $n=15$ ) konnte durch die sternale Plattenfixation bereits vor Entfernung des Osteosynthesematerials eine Stabilisierung der dehiszenten Sternumfragmente bewirkt werden. Eine erfolgreiche Refixierung mittels konventioneller Methoden wäre bei unserem Patientenkollektiv äußerst unwahrscheinlich gewesen, insbesondere da vielfach Versuche der konventionellen Sternumrefixation mittels Reverdrahtung scheiterten. Selbst in einer Studie von Olbrecht et al., in welcher 86% der Patienten zur Therapie komplizierter Sternumdehiszenzen eine Verdrahtung nach Robicsek erhielten, fand sich eine 14%ige Reoperationsrate und in 20% eine persistierende Sternuminstabilität [56].

Ergänzend zur klinischen Beurteilung der Thoraxstabilität erfolgte durchschnittlich  $330 \pm 327$  Tage (Median 217) nach Plattenimplantation die computertomographische Begutachtung des Sternums. Die radiologische Befundung ergab bei insgesamt 30% keine, bei 7,5% eine geringe, bei 32,5% eine weitgehende und bei 30% eine vollständige knöcherne Konsolidierung der initial dehiszenten Sternumfragmente. Das Ausbleiben einer vollständigen knöchernen Konsolidierung nach Plattenosteosynthese darf jedoch nicht per se mit einer klinischen Sternuminstabilität gleichgesetzt werden. Unter alleiniger Verwendung einer CT-gestützten Bildgebung kann nicht ausreichend zwischen einem instabilen Osteotomiespalt (bestehende Fraktur), einer stabilen knorpeligen Verknöcherung (Synchondorse), wie bspw. physiologisch im Bereich des Manubrium oder des Xiphoids vorhanden, oder einer bindegewebigen Verwachsung im Sinne einer Pseudarthrose differenziert werden. In unserer Studie zeigte sich in 10 von 11 Fällen eine klinische Thoraxstabilität trotz

radiologisch fehlender Verknöcherung. Eine regelrechte Frakturheilung wäre bei 7 Patienten außerdem rein anatomisch nicht möglich gewesen, da bereits ein kompletter Sternumverlust bei Plattenimplantation vorlag. In diesen Fällen sorgten die Platten durch Fixation der Fragmente für eine Stabilisierung und ermöglichten zugleich die Ausbildung bindegewebiger Verwachsungen zwischen den sternalen bzw. costalen Anteilen. Selbst nach Plattenexplantation konnte somit durch die Entstehung von Pseudarthrosen eine ausreichende Stabilität erreicht werden. Auch bei Papadopoulos et al., der den Einfluss des sternalen Verknöcherungsprozesses auf die Entwicklung persistierender Schmerzen nach medianer Sternotomie untersuchte, zeigte sich in 32% eine inkomplette Reossifikation des Sternums [60]. Ein weiterer Aspekt bezüglich der knöchernen Regeneration nach primärer Verplattung wurde in einer Studie von Raman et al. an 70 Patienten dargestellt: Hierbei zeigte sich nach 3 Monaten nur bei 15% der Patienten eine vollständige knöcherne Konsolidierung, nach 6 Monaten waren es 70%. Dies widerlege die allgemeine Auffassung einer kompletten Sternumheilung innerhalb von 3 Monaten, mit entsprechenden sternumprotektiven Tätigkeitseinschränkungen. Eine qualitative Bewertung der Fixationsmethoden durch radiologische Beurteilung sei demnach auch erst zu einem späteren Zeitpunkt (>6 Monate) angezeigt [64].

#### **4.3.3.2. Schmerzproblematik**

Persistierende sternale Schmerzen sind eine häufige Komplikation nach kardiochirurgischen Eingriffen, die mit einer Inzidenz von ca. 28% - 61% beschrieben werden [17, 35, 36, 48, 60, 62]. Ursächlich hierfür ist in den meisten Fällen ein instabiles Sternum [53, 89]. Durch eine Refixierung der instabilen Sternumanteile wird die Beweglichkeit dehiszenter Fragmente verhindert, wodurch sternale Schmerzen unterbunden oder deren Intensität reduziert wird [10, 14, 29, 33, 64, 99]. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung gaben 54,5% unserer Patienten (Gruppe I 50%, Gruppe II 61,5%, Gruppe III 54,5%) Schmerzen unmittelbar nach der operativen Versorgung an. Hierbei wurden in den meisten Fällen Schmerzen von lediglich mäßiger Intensität beschrieben. Dabei ist anzumerken, dass Schmerzen nach operativen Eingriffen prinzipiell nicht vermeidbar sind und in anderen Studien mit

einer Inzidenz von ca. 80% angegeben werden [1]. Huh et al. beschrieb sogar bei allen Patienten unmittelbar nach Verplattung (n=14) ein mildes Schmerzempfinden [33].

Neben der Ermittlung eines unmittelbar postoperativen Schmerzgeschehens, erfolgte in unserer Studie außerdem eine Schmerzevaluation im Langzeitverlauf. Vergleichbare Daten diesbezüglich fehlen jedoch. Lediglich Raman et al. betrachtete die Schmerzentwicklung nach primärer Plattenrekonstruktion (n=70) im Vergleich zur konventionellen Reverdrahtung über einen Zeitraum von 6 Monaten. Bei der Hälfte seiner Patienten zeigte sich hierbei, trotz allgemeiner Schmerzreduktion, eine konstante Beschwerdesymptomatik bei plötzlicher Thoraxexpansion wie Husten oder Nießen [64]. In unserem Patientenkollektiv gaben zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ( $2,35 \pm 1,70$  Jahre) noch 43% (Gruppe I 50%, Gruppe II 46,2%, Gruppe III 27,3%) eine sternale Schmerzsymptomatik mäßiger bis starker Intensität, trotz absoluter Thoraxstabilität, an. Doch wie lässt sich diese Schmerzpersistenz im Langzeitverlauf erklären?

In einem Großteil der Fälle (74%) handelte es sich hierbei vor allem um belastungsabhängige Schmerzen ohne Ruhekomponente. Diese treten insbesondere bei muskelbetonten Aktivitäten wie z.B. Kistenheben, Fensterputzen oder Schwimmen auf. Möglicherweise sind diese Schmerzen Folge muskuloskelettaler Genese nach ausgeprägter Pectoralismobilisation. Seltener wurden chronische Schmerzen in Ruhe und Belastung, sowie atemmodulierte Schmerzen angegeben.

Bei einigen Patienten wurde die Lebensqualität durch die sternale Schmerzsituation deutlich beeinträchtigt, so dass in 8 Fällen das Plattenmaterial explantiert wurde. In den restlichen Fällen stellte sich die Schmerzsituation als tolerabel dar, weshalb von einer Plattenrevision abgesehen wurde. Erstaunlicherweise zeigte sich nach schmerzindizierter Explantation lediglich bei 2 von 8 Patienten eine Schmerzfreiheit. Bei 6 Patienten lag weiterhin eine Schmerzpersistenz bei absolut stabilen Sternumverhältnissen vor. In diesen Fällen wurden den Patienten neben einer analgetischen Grundversorgung, Therapiealternativen mit Schwerpunkt Akkupunktur angeboten. 2 Patienten nahmen dies in Anspruch und erzielten hierdurch eine Schmerzfreiheit. Aus einer fehlenden Resonanz des restlichen Kollektivs lässt sich

schließen, dass das Schmerzgeschehen in diesen Fällen wahrscheinlich als durchaus erträglich empfunden wurde.

Auch andere Autoren erwähnten in einzelnen Fällen die Problematik der Schmerzpersistenz im postoperativen Verlauf, die sich entweder durch Plattenexplantation oder durch den Einsatz Nichtsteroidaler Antirheumatika beheben ließ oder im Gegenteil eine Konstanz trotz Materialrevision aufzeigte [13, 21, 33]. Das Problem der Schmerzpersistenz ist jedoch in einem noch viel höheren Maße bei alternativen Rekonstruktionsmaßnahmen gegeben: Nach Muskel- oder Omentumplastiken konnten beispielsweise bei 40% - 51% der Fälle persistierende sternale Schmerzen festgestellt werden [68, 100].

Das Problem des sternalen Schmerzsyndroms ist aber auch stabilitätsunabhängig [60]. Die Schmerzproblematik nach kardiochirurgischen Eingriffen stellt demnach ein multifaktorielles Geschehen dar [96], was durch viele Faktoren wie bspw. das Vorhandensein einer Costochondritis [96], Rippenfrakturen [96, 98], Nervenkompressionen, intrathorakale Narbenbildung und allergische Reaktionen beeinflusst werden kann [16, 22]. Neben diesen Aspekten wirkt sich auch das Patientenalter auf die Wahrnehmung postoperativer Schmerzen aus, wobei jüngere Patienten diesbezüglich eine höhere Inzidenz aufzeigen [60]. Auch in unserem Fall konnte bei den Patienten mit Schmerzproblematik trotz Explantation ein deutlich geringerer Altersdurchschnitt von  $58,38 \pm 14,22$  Jahren, verglichen mit einem Gesamaltersdurchschnitt von  $66,25 \pm 10,70$  Jahren festgestellt werden.

Die Schmerzpersistenz nach kardiochirurgischen Eingriffen ist ein häufiges und oftmals schwer zu bewältigendes Problem [17, 35, 36, 48, 60, 62]. Hierbei spielt vor allem auch die subjektive Schmerzempfindung eine wesentliche Rolle. Postoperativ anhaltende Schmerzen können in eine Chronifizierung übergehen, mit den Folgen schwerer physischer und psychischer Belastung bis hin zur Entwicklung eines schmerzbedingten Psychosyndroms. Dementsprechend sollten nach Ausschluss somatischer Ursachen alternative Therapieansätze in Erwägung gezogen werden. Hierbei stehen neben einer analgetischen Grundversorgung vor allem nicht medikamentöse Methoden (Akkupunktur) und psychotherapeutische Therapievarianten (Entspannungsverfahren) im Vordergrund [86].

#### 4.4. Schlussfolgerung

Die retrospektive Betrachtung des Langzeitverlaufs nach sternaler Plattenosteosynthese hat zu folgender Schlussfolgerung geführt:

- 1.) Trotz hoher Explantationsraten und teilweise inkompletter Reossifikation ließ sich in 97,7% der Fälle eine absolute Thoraxstabilität durch transversale und longitudinale Verplattung erzielen. Damit bestätigen unsere Ergebnisse die Annahme, dass die sternale Plattenosteosynthese eine adäquate Technik zur Restabilisierung sternaler Dehiszenzen nach medianer Sternotomie darstellt, selbst in komplizierten Fällen mit multiplen Frakturen, großflächigen Sternumresektionen oder frustranen Versuchen der konventionellen Reverdrahtung.
- 2.) Im Vergleich der sternalen Plattenfixationssysteme ergab sich hinsichtlich der postoperativen Wundinfektionsrate ein klarer Nachteil des Modularen Sternum-Kabelsystems<sup>®</sup> gegenüber dem Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup>. Retrospektiv ergaben sich diverse materialbezogene Aspekte, wie bspw. eine fehlende Winkelstabilität der Stahlplatten, die als ursächlich für das häufige Auftreten von Infektionen und in Folge dessen für ein Systemversagen angesehen werden.
- 3.) Die sternale Schmerzsymptomatik ist ein häufiges Problem nach kardiochirurgischen Eingriffen, das nicht in jedem Fall durch Restabilisierungsmaßnahmen behoben werden kann. Trotz thorakaler Stabilität zeigte sich bei uns im Langzeitverlauf eine Schmerzpersistenz von 43,2%. In Fällen intolerabler Schmerzsymptomatik müssen ergänzend zur Plattenrevision multimodale Analgesieprinzipien medikamentöser sowie nicht medikamentöser Art zum Einsatz kommen.

Die Studie hatte folgende Limitationen:

- ausschließlich retrospektive Betrachtung des Patientenkollektives
- geringe Stichprobengröße

In Zukunft bedarf es prospektiver Multicenter-Studien mit deutlich höheren Fallzahlen, um das Verfahren der sternalen Plattenosteosynthese zum sekundären Thoraxverschluss mit „klassischen“ Methoden der Reverdrahtung zu vergleichen. Darüber hinaus muss die Indikation zur Anwendung der sternalen Plattenosteosynthese standardisiert und deren optimale technische Anwendung definiert werden. Auch die Kosten-Effektivität sternaler Plattenosteosynthese muss durch weitere Studien valuiert werden.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Behandlung komplizierter sternaler Dehiszenzen nach medianer Sternotomie stellt in der Herzchirurgie immer noch eine große Herausforderung dar. Alternativ zu klassischen Refixationstechniken mit Drahtcerclagen, haben in den letzten Jahren plattenosteosynthetische Rekonstruktionen des Sternums an Bedeutung gewonnen. Für diese neue Technik konnten zwar Vorteile hinsichtlich der erzielten Sternumstabilität nachgewiesen werden, Langzeitergebnisse sind bisher jedoch völlig unbekannt. Ziel dieser Arbeit war es daher, den langfristigen Effekt nach sternaler Plattenosteosynthese genauer zu untersuchen.

Von Dezember 2005 bis Februar 2011 wurden 45 Patienten mit komplizierter Sternumdehiszenz, mit (52,27%) oder ohne (47,73%) Infektion, nach medianer Sternotomie plattenosteosynthetisch versorgt. Hierbei kamen 2 Systeme zum Einsatz:

- 1.) Das winkelstabile Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup>, mit welchem die Platten in transversaler (Gruppe I, n=21) oder in longitudinaler (Gruppe II, n=13) Ausrichtung angeordnet wurden. Die transversale Stabilisierung erfolgte durch gerade Titanplatten, die beidseits im Bereich der Rippen fixiert wurden oder durch Sternumkörper-Verriegelungsplatten. Bei der longitudinalen Plattenanordnung wurden die beiden Sternumhälften zunächst durch die Platten stabilisiert und anschließend der Thorax durch Drahtcerclagen und/oder kurze Querplatten verschlossen.
- 2.) Das nicht winkelstabile Modulare Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup>, bei dem Stahlplatten in longitudinaler Ausrichtung mit Hohlschrauben auf beiden Sternumhälften befestigt wurden (Gruppe III, n=11). Die Adaption der plattenosteosynthetisch verstärkten Hemisterna erfolgte dann durch den Gebrauch von Stahlkabeln, die durch die Hohlschrauben gezogen und fixiert wurden.

Zur Beurteilung der Langzeitergebnisse wurden folgende Nachuntersuchungen durchgeführt: Klinisch erfolgte eine ausführliche Anamneseerhebung sowie die klinische Überprüfung der Sternumstabilität und des Wundheilungsprozesses. Dabei

wurde das Vorhandensein sternaler Schmerzen ermittelt, wobei insbesondere die Schmerzart und die -intensität unmittelbar nach Plattenosteosynthese und im Langzeitverlauf evaluiert wurden. Zur Überprüfung des Osteosynthesematerials und des sternalen Konsolidierungsprozesses erfolgte postoperativ (MW 330±327 Tage) eine computertomographische Untersuchung des Sternums. Das Follow-up erfolgte durchschnittlich 2,35±1,70 Jahre nach Verplattung.

Die klinische Testung ergab in 97,7% der Fälle eine absolute Sternumstabilität, obwohl die computertomographische Untersuchung nach Plattenosteosynthese bei 30% keine, bei 7,5% eine geringe, bei 32,5% eine weitgehende und nur bei 30% der Patienten eine vollständige knöcherne Konsolidierung der initial dehiszenten Sternumfragmente belegte. Unmittelbar nach plattenosteosynthetischer Versorgung gaben 54,5% der Patienten retrospektiv vorrangig mäßige Schmerzen an. Im Langzeitverlauf verringerte sich dieser Anteil auf 43,0%, wobei belastungsabhängige Schmerzen im Vordergrund standen. Bei 8 Patienten (Gruppe I n=4, Gruppe II n=3, Gruppe III n=1) wurde aufgrund einer sternalen Schmerzproblematik die Entfernung des Osteosynthesematerials vorgenommen. Dies führte jedoch nur in 2 Fällen zu einer suffizienten Schmerzreduktion. Durch die Anwendung alternativer Schmerztherapien, wie beispielsweise Akkupunktur, konnte bei 2 dieser Patienten eine Schmerzfreiheit erreicht werden. Das Auftreten einer postoperativen sternalen Wundinfektion machte eine Materialrevision in 11 Fällen notwendig. Insgesamt entwickelten 27,3% der Patienten eine sternale Wundinfektion nach Plattenosteosynthese, wobei diese in Gruppe III mit 54,4% signifikant höher lag als in Gruppe I mit 25,0% oder in Gruppe II mit 7,7% (p-Wert 0.042).

Unsere Untersuchungen konnten klar belegen, dass der Einsatz sternaler Plattenosteosynthese-Systeme zu einer hervorragenden Thoraxstabilisierung führt. Trotzdem persistieren bei ca.  $\frac{2}{5}$  der Patienten im Langzeitverlauf meist leicht ausgeprägte Schmerzen. Im Falle schwerer Schmerzen führt selbst die Entfernung des Osteosynthesematerials nicht immer zur Beschwerdefreiheit. Betroffene Patienten sollten einer begleitenden fachärztlichen Schmerztherapie zugeführt werden. Das Sternum-Fixationssystem aus Titan<sup>®</sup> ist dem Modularen Sternum-Kabelsystem<sup>®</sup> durch eine kürzere Operationsdauer, eine geringere stationäre



Behandlungsdauer sowie durch eine niedrigere postoperative Wundkomplikationsrate deutlich überlegen.

---

**LITERATURVERZEICHNIS**

- [1] Apfelbaum J.L., Chen C., Mehta S.S., Gan T.J. Postoperative pain experience: results from a national survey suggest postoperative pain continues to be undermanaged. *Anesth Analg* 2003;97:534-540, table of contents.
- [2] Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF), (2008). S1-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU): Implantatentfernung-Langfassung. [http://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-004\\_S1\\_Implantatentfernung\\_abgelaufen.pdf](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-004_S1_Implantatentfernung_abgelaufen.pdf)  
Stand: 15.04.2012
- [3] Arens S., Schlegel U., Printzen G., Ziegler W.J., Perren S.M., Hansis M. Influence of materials for fixation implants on local infection. An experimental study of steel versus titanium DCP in rabbits. *J Bone Joint Surg Br* 1996;78:647-651.
- [4] Banic A., Ris H.B., Erni D., Striffeler H. Free latissimus dorsi flap for chest wall repair after complete resection of infected sternum. *Ann Thorac Surg* 1995;60:1028-1032.
- [5] Bannwarth H., Kremer B.P., Schulz A. "Basiswissen Physik, Chemie und Biochemie: Vom Atom bis zur Atmung - für Biologen, Mediziner und Pharmazeuten" Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 2011, 2. Auflage, 97-99.
- [6] Berdajs D., Zund G., Turina M.I., Genoni M. Blood supply of the sternum and its importance in internal thoracic artery harvesting. *Ann Thorac Surg* 2006;81:2155-2159.
- [7] Borger M.A., Rao V., Weisel R.D., Ivanov J., Cohen G., Scully H.E., David T.E. Deep sternal wound infection: risk factors and outcomes. *Ann Thorac Surg* 1998;65:1050-1056.
- [8] Bostman O., Pihlajamaki H. Routine implant removal after fracture surgery: a potentially reducible consumer of hospital resources in trauma units. *J Trauma* 1996;41:846-849.
- [9] Casha A.R., Yang L., Kay P.H., Saleh M., Cooper G.J. A biomechanical study of median sternotomy closure techniques. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;15:365-369.

- 
- [10] Chase C.W., Franklin J.D., Guest D.P., Barker D.E. Internal fixation of the sternum in median sternotomy dehiscence. *Plast Reconstr Surg* 1999;103:1667-1673.
- [11] Chepla K.J., Salgado C.J., Tang C.J., Mardini S., Evans K.K. Late complications of chest wall reconstruction: management of painful sternal nonunion. *Semin Plast Surg* 2011;25:98-106.
- [12] Choukairi F., Ring J., Thekkudan J., Enoch S. Management of sternal wound dehiscence. *Wounds UK* 2011;7:99-105.
- [13] Cicilioni O.J., Jr., Stieg F.H., 3rd, Papanicolaou G. Sternal wound reconstruction with transverse plate fixation. *Plast Reconstr Surg* 2005;115:1297-1303.
- [14] Claes L., Eckert-Hubner K., Augat P. The effect of mechanical stability on local vascularization and tissue differentiation in callus healing. *J Orthop Res* 2002;20:1099-1105.
- [15] Demmy T.L., Park S.B., Liebler G.A., Burkholder J.A., Maher T.D., Benckart D.H., Magovern G.J., Jr., Magovern G.J., Sr. Recent experience with major sternal wound complications. *Ann Thorac Surg* 1990;49:458-462.
- [16] Eastridge C.E., Mahfood S.S., Walker W.A., Cole F.H., Jr. Delayed chest wall pain due to sternal wire sutures. *Ann Thorac Surg* 1991;51:56-59.
- [17] Eisenberg E., Pultorak Y., Pud D., Bar-El Y. Prevalence and characteristics of post coronary artery bypass graft surgery pain (PCP). *Pain* 2001;92:11-17.
- [18] El Gamel A., Yonan N.A., Hassan R., Jones M.T., Campbell C.S., Deiraniya A.K., Lawson R.A. Treatment of mediastinitis: early modified Robicsek closure and pectoralis major advancement flaps. *Ann Thorac Surg* 1998;65:41-46; discussion 46-47.
- [19] El Oakley R.M., Wright J.E. Postoperative mediastinitis: classification and management. *Ann Thorac Surg* 1996;61:1030-1036.
- [20] Fawzy H., Alhodaib N., Mazer C.D., Harrington A., Latter D., Bonneau D., Errett L., Mahoney J. Sternal plating for primary and secondary sternal closure; can it improve sternal stability? *J Cardiothorac Surg* 2009;4:19.

- 
- [21] Fawzy H., Osei-Tutu K., Errett L., Latter D., Bonneau D., Musgrave M., Mahoney J. Sternal plate fixation for sternal wound reconstruction: initial experience (retrospective study). *J Cardiothorac Surg* 2011;6:63.
- [22] Fine P.G., Karwande S.V. Sternal wire-induced persistent chest pain: a possible hypersensitivity reaction. *Ann Thorac Surg* 1990;49:135-136.
- [23] Gaudreau G., Costache V., Houde C., Cloutier D., Montalin L., Voisine P., Baillot R. Recurrent sternal infection following treatment with negative pressure wound therapy and titanium transverse plate fixation. *Eur J Cardiothorac Surg* 2010;37:888-892.
- [24] Gottlieb L.J., Pielet R.W., Karp R.B., Krieger L.M., Smith D.J., Jr., Deeb G.M. Rigid internal fixation of the sternum in postoperative mediastinitis. *Arch Surg* 1994;129:489-493.
- [25] Grmoljez P.F., Barner H.H., Willman V.L., Kaiser G.C. Major complications of median sternotomy. *Am J Surg* 1975;130:679-681.
- [26] Grossi E.A., Culliford A.T., Krieger K.H., Kloth D., Press R., Baumann F.G., Spencer F.C. A survey of 77 major infectious complications of median sternotomy: a review of 7,949 consecutive operative procedures. *Ann Thorac Surg* 1985;40:214-223.
- [27] Hallock G.G., Szydlowski G.W. Rigid fixation of the sternum using a new coupled titanium transverse plate fixation system. *Ann Plast Surg* 2007;58:640-644.
- [28] Harder L., Kuster M. Osteosynthesen. In: "Orthopädie und Unfallchirurgie: für Praxis, Klinik und Facharztprüfung ; mit 155 Tabellen", Grifka J., Kuster M. (Hrsg.), Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 2011, 1. Auflage, 13-28.
- [29] Hendrickson S.C., Koger K.E., Morea C.J., Aponte R.L., Smith P.K., Levin L.S. Sternal plating for the treatment of sternal nonunion. *Ann Thorac Surg* 1996;62:512-518.
- [30] Hirose H., Yamane K., Youdelman B.A., Bogar L., Diehl J.T. Rigid sternal fixation improves postoperative recovery. *Open Cardiovasc Med J* 2011;5:148-152.

- 
- [31] Hoffman W.Y., Barton R.M., Price M., Mathes S.J. Rigid internal fixation vs. traditional techniques for the treatment of mandible fractures. *J Trauma* 1990;30:1032-1035; discussion 1035-1036.
- [32] Hugo N.E., Sultan M.R., Ascherman J.A., Patsis M.C., Smith C.R., Rose E.A. Single-stage management of 74 consecutive sternal wound complications with pectoralis major myocutaneous advancement flaps. *Plast Reconstr Surg* 1994;93:1433-1441.
- [33] Huh J., Bakaeen F., Chu D., Wall M.J., Jr. Transverse sternal plating in secondary sternal reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2008;136:1476-1480.
- [34] Julian O.C., Lopez-Belio M., Dye W.S., Javid H., Grove W.J. The median sternal incision in intracardiac surgery with extracorporeal circulation; a general evaluation of its use in heart surgery. *Surgery* 1957;42:753-761.
- [35] Kalso E., Mennander S., Tasmuth T., Nilsson E. Chronic post-sternotomy pain. *Acta Anaesthesiol Scand* 2001;45:935-939.
- [36] Kalso E., Perttunen K., Kaasinen S. Pain after thoracic surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 1992;36:96-100.
- [37] Krischak G.D., Gebhard F., Mohr W., Krivan V., Ignatius A., Beck A., Wachter N.J., Reuter P., Arand M., Kinzi L., Claes L.E. Difference in metallic wear distribution released from commercially pure titanium compared with stainless steel plates. *Arch Orthop Trauma Surg* 2004;124:104-113.
- [38] Loop F.D., Lytle B.W., Cosgrove D.M., Mahfood S., McHenry M.C., Goormastic M., Stewart R.W., Golding L.A., Taylor P.C. J. Maxwell Chamberlain memorial paper. Sternal wound complications after isolated coronary artery bypass grafting: early and late mortality, morbidity, and cost of care. *Ann Thorac Surg* 1990;49:179-186; discussion 186-177.
- [39] Lopez-Monjardin H., de-la-Pena-Salcedo A., Mendoza-Munoz M., Lopez-Yanez-de-la-Pena A., Palacio-Lopez E., Lopez-Garcia A. Omentum flap versus pectoralis major flap in the treatment of mediastinitis. *Plast Reconstr Surg* 1998;101:1481-1485.
- [40] Lopez Almodovar L.F., Bustos G., Lima P., Canas A., Paredes I., Buendia J.A. Transverse plate fixation of sternum: a new sternal-sparing technique. *Ann Thorac Surg* 2008;86:1016-1017.

- 
- [41] Lorich D.G., Gardner M.J. Plates. In: "AO principles of fracture management, Books and DVD", Rüedi T.P., Buckley R.E., Moran C.G. (Eds), Thieme Medical Publishers, New York, 2007, second edition, Volume 1, 227-247.
- [42] Losanoff J.E., Jones J.W., Richman B.W. Primary closure of median sternotomy: techniques and principles. *Cardiovasc Surg* 2002;10:102-110.
- [43] Losanoff J.E., Richman B.W., Jones J.W. Disruption and infection of median sternotomy: a comprehensive review. *Eur J Cardiothorac Surg* 2002;21:831-839.
- [44] Mansour K.A., Thourani V.H., Losken A., Reeves J.G., Miller J.I., Jr., Carlson G.W., Jones G.E. Chest wall resections and reconstruction: a 25-year experience. *Ann Thorac Surg* 2002;73:1720-1725; discussion 1725-1726.
- [45] McGregor W.E., Payne M., Trumble D.R., Farkas K.M., Magovern J.A. Improvement of sternal closure stability with reinforced steel wires. *Ann Thorac Surg* 2003;76:1631-1634.
- [46] McGregor W.E., Trumble D.R., Magovern J.A. Mechanical analysis of midline sternotomy wound closure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999;117:1144-1150.
- [47] Melone C.P., Jr. Rigid fixation of phalangeal and metacarpal fractures. *Orthop Clin North Am* 1986;17:421-435.
- [48] Meyerson J., Thelin S., Gordh T., Karlsten R. The incidence of chronic post-sternotomy pain after cardiac surgery--a prospective study. *Acta Anaesthesiol Scand* 2001;45:940-944.
- [49] Milton H. Mediastinal surgery. *Lancet* 1897;1:872-875.
- [50] Mitra A., Elahi M.M., Tariq G.B., Mir H., Powell R., Spears J. Composite plate and wire fixation for complicated sternal closure. *Ann Plast Surg* 2004;53:217-221.
- [51] Molina J.E. Primary closure for infected dehiscence of the sternum. *Ann Thorac Surg* 1993;55:459-463.
- [52] Molina J.E., Lew R.S., Hyland K.J. Postoperative sternal dehiscence in obese patients: incidence and prevention. *Ann Thorac Surg* 2004;78:912-917; discussion 912-917.

- 
- [53] Moon M.H., Kang J.K., Kim H.W., Jo K.H., Choi S.H., Song H. Pain after median sternotomy: collateral damage or mitigatable byproduct? *Thorac Cardiovasc Surg* 2013;61:194-201.
- [54] Nishida H., Grooters R.K., Merkley D.F., Thieman K.C., Soltanzadeh H. Postoperative mediastinitis: a comparison of two electrocautery techniques on presternal soft tissues. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990;99:969-976.
- [55] Noyez L., van Druten J.A., Mulder J., Schroen A.M., Skotnicki S.H., Brouwer R.M. Sternal wound complications after primary isolated myocardial revascularization: the importance of the post-operative variables. *Eur J Cardiothorac Surg* 2001;19:471-476.
- [56] Olbrecht V.A., Barreiro C.J., Bonde P.N., Williams J.A., Baumgartner W.A., Gott V.L., Conte J.V. Clinical outcomes of noninfectious sternal dehiscence after median sternotomy. *Ann Thorac Surg* 2006;82:902-907.
- [57] Ottino G., De Paulis R., Pansini S., Rocca G., Tallone M.V., Comoglio C., Costa P., Orzan F., Morea M. Major sternal wound infection after open-heart surgery: a multivariate analysis of risk factors in 2,579 consecutive operative procedures. *Ann Thorac Surg* 1987;44:173-179.
- [58] Ozaki W., Buchman S.R., Iannettoni M.D., Frankenburg E.P. Biomechanical study of sternal closure using rigid fixation techniques in human cadavers. *Ann Thorac Surg* 1998;65:1660-1665.
- [59] Pai S., Gunja N.J., Dupak E.L., McMahon N.L., Roth T.P., Lalikos J.F., Dunn R.M., Francalancia N., Pins G.D., Billiar K.L. In vitro comparison of wire and plate fixation for midline sternotomies. *Ann Thorac Surg* 2005;80:962-968.
- [60] Papadopoulos N., Hacibaramoglu M., Kati C., Muller D., Floter J., Moritz A. Chronic poststernotomy pain after cardiac surgery: correlation of computed tomography findings on sternal healing with postoperative chest pain. *Thorac Cardiovasc Surg* 2013;61:202-208.
- [61] Perren S.M. Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. *J Bone Joint Surg Br* 2002;84:1093-1110.
- [62] Perttunen K., Tasmuth T., Kalso E. Chronic pain after thoracic surgery: a follow-up study. *Acta Anaesthesiol Scand* 1999;43:563-567.

- 
- [63] Plass A., Grunenfelder J., Reuthebuch O., Vachenauer R., Gauer J.M., Zund G., Genoni M. New transverse plate fixation system for complicated sternal wound infection after median sternotomy. *Ann Thorac Surg* 2007;83:1210-1212.
- [64] Raman J., Lehmann S., Zehr K., De Guzman B.J., Aklog L., Garrett H.E., MacMahon H., Hatcher B.M., Wong M.S. Sternal closure with rigid plate fixation versus wire closure: a randomized controlled multicenter trial. *Ann Thorac Surg* 2012;94:1854-1861.
- [65] Raman J., Song D.H., Bolotin G., Jeevanandam V. Sternal closure with titanium plate fixation--a paradigm shift in preventing mediastinitis. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2006;5:336-339.
- [66] Raman J., Straus D., Song D.H. Rigid plate fixation of the sternum. *Ann Thorac Surg* 2007;84:1056-1058.
- [67] Ridderstolpe L., Gill H., Granfeldt H., Ahlfeldt H., Rutberg H. Superficial and deep sternal wound complications: incidence, risk factors and mortality. *Eur J Cardiothorac Surg* 2001;20:1168-1175.
- [68] Ringelman P.R., Vander Kolk C.A., Cameron D., Baumgartner W.A., Manson P.N. Long-term results of flap reconstruction in median sternotomy wound infections. *Plast Reconstr Surg* 1994;93:1208-1214; discussion 1215-1206.
- [69] Robicsek F., Daugherty H.K., Cook J.W. The prevention and treatment of sternum separation following open-heart surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1977;73:267-268.
- [70] Robicsek F., Daugherty H.K., Cook J.W., Selle J.G., Masters T.N., O'Bar P.R., Fernandez C.R., Mauney C.U., Calhoun D.M. Mycobacterium fortuitum epidemics after open-heart surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1978;75:91-96.
- [71] Robicsek F., Fokin A., Cook J., Bhatia D. Sternal instability after midline sternotomy. *Thorac Cardiovasc Surg* 2000;48:1-8.
- [72] Robicsek F., Hoffman P.C., Masters T.N., Daugherty H.K., Cook J.W., Selle J.G., Mauney C.U., Hinson P. Rapidly growing nontuberculous mycobacteria: a new enemy of the cardiac surgeon. *Ann Thorac Surg* 1988;46:703-710.
- [73] Robicsek F., Masters T.N., Littman L., Born G.V. The embolization of bone wax from sternotomy incisions. *Ann Thorac Surg* 1981;31:357-359.



- 
- [74] Rohrich R.J., Watumull D. Comparison of rigid plate versus wire fixation in the management of zygoma fractures: a long-term follow-up clinical study. *Plast Reconstr Surg* 1995;96:570-575.
- [75] Sargent L.A., Seyfer A.E., Hollinger J., Hinson R.M., Graeber G.M. The healing sternum: a comparison of osseous healing with wire versus rigid fixation. *Ann Thorac Surg* 1991;52:490-494.
- [76] Schimmer C., Bensch M., Sommer S.P., Hamouda K., Özkur M., Leyh R. Technik des Sternumverschlusses. *Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie* 2009;23:277-284.
- [77] Schimmer C., Keith P., Neukam K., Beissert M., Leyh R. Large thoracic wall hematoma following sternal reconstruction with transversal plate fixation after deep sternal wound infection. *Thorac Cardiovasc Surg* 2007;55:402-405.
- [78] Schimmer C., Reents W., Berneder S., Eigel P., Sezer O., Scheld H., Sahraoui K., Gansera B., Deppert O., Rubio A., Feyrer R., Sauer C., Elert O., Leyh R. Prevention of sternal dehiscence and infection in high-risk patients: a prospective randomized multicenter trial. *Ann Thorac Surg* 2008;86:1897-1904.
- [79] Schimmer C., Reents W., Elert O. Primary closure of median sternotomy: a survey of all German surgical heart centers and a review of the literature concerning sternal closure technique. *Thorac Cardiovasc Surg* 2006;54:408-413.
- [80] Schols R.M., Lauwers T.M., Geskes G.G., van der Hulst R.R. Deep sternal wound infection after open heart surgery: current treatment insights. A retrospective study of 36 cases. *Eur J Plast Surg* 2011;34:487-492.
- [81] Sharma R., Puri D., Panigrahi B.P., Viridi I.S. A modified parasternal wire technique for prevention and treatment of sternal dehiscence. *Ann Thorac Surg* 2004;77:210-213.
- [82] Smoot E.C., Weiman D. Paramedian sternal bone plate reinforcement and wiring for difficult sternotomy wounds. *Ann Plast Surg* 1998;41:464-467.
- [83] Snyder C.W., Graham L.A., Byers R.E., Holman W.L. Primary sternal plating to prevent sternal wound complications after cardiac surgery: early experience and patterns of failure. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2009;9:763-766.

- 
- [84] Song D.H., Lohman R.F., Renucci J.D., Jeevanandam V., Raman J. Primary sternal plating in high-risk patients prevents mediastinitis. *Eur J Cardiothorac Surg* 2004;26:367-372.
- [85] Stoney W.S., Alford W.C., Jr., Burrus G.R., Frist R.A., Thomas C.S., Jr. Median sternotomy dehiscence. *Ann Thorac Surg* 1978;26:421-426.
- [86] Striebel H.W. "Therapie chronischer Schmerzen: ein praktischer Leitfadens ; mit 16 Tabellen" Schattauer Verlag, Stuttgart, 2002, 4. Auflage, 1-2 u. 54-55.
- [87] Synthes GmbH, (2008). Operationstechnik: Modulares Sternum-Kabelsystem. Flexibilität und Festigkeit bei Verschluss und Rekonstruktion des Sternums. <http://www.synthes.com/sites/intl/IntlContent/Files/016.000.190.pdf>  
Stand: 19.04.2011
- [88] Synthes GmbH, (2010). Operationstechnik: Sternum-Fixationssystem aus Titan. Für die stabile interne Fixation des Sternums. <http://www.synthes.com/MediaBin/International%20DATA/016.000.009.pdf>  
Stand: 19.04.2011
- [89] Tamiya E., Asakawa M., Shibamoto M., Ito N., Ikenouchi H., Hada Y., Tanaka K., Murota Y., Ando T., Furuse A., Asano K.-i. Correlation of wound pain following open heart surgery (median sternotomy) and sternum misalignment assessed using X-ray computed tomography. *International Journal of Angiology* 2000;9:159-163.
- [90] Thaller S.R., Reavie D., Daniller A. Rigid internal fixation with miniplates and screws: a cost-effective technique for treating mandible fractures? *Ann Plast Surg* 1990;24:469-474.
- [91] Ulicny K.S., Jr., Hiratzka L.F., Williams R.B., Grunkemeier G.L., Flege J.B., Jr., Wright C.B., Callard G.M., Mitts D.L., Dunn E.J. Sternotomy infection: poor prediction by acute phase response and delayed hypersensitivity. *Ann Thorac Surg* 1990;50:949-958.
- [92] Voss B., Bauernschmitt R., Brockmann G., Krane M., Will A., Lange R. Complicated sternal dehiscence: reconstruction with plates, cables, and cannulated screws. *Ann Thorac Surg* 2009;87:1304-1306.
- [93] Voss B., Bauernschmitt R., Brockmann G., Lange R. Osteosynthetic thoracic stabilization after complete resection of the sternum. *Eur J Cardiothorac Surg* 2007;32:391-393.

- 
- [94] Voss B., Bauernschmitt R., Will A., Krane M., Kross R., Brockmann G., Libera P., Lange R. Sternal reconstruction with titanium plates in complicated sternal dehiscence. *Eur J Cardiothorac Surg* 2008;34:139-145.
- [95] Voss B., Lange R. Methods of sternal closure. In: "Cardiothoracic Surgery: Review", Franco K.L., Thourani V.H. (Eds), Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2011, first edition, 176-180.
- [96] Weber L.D., Peters R.W. Delayed chest wall complications of median sternotomy. *South Med J* 1986;79:723-727.
- [97] WHO. "Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation." WHO Technical Report Series 894, Geneva, 2000.
- [98] Woodring J.H., Royer J.M., Todd E.P. Upper rib fractures following median sternotomy. *Ann Thorac Surg* 1985;39:355-357.
- [99] Wu L.C., Renucci J.D., Song D.H. Sternal nonunion: a review of current treatments and a new method of rigid fixation. *Ann Plast Surg* 2005;54:55-58.
- [100] Yuen J.C., Zhou A.T., Serafin D., Georgiade G.S. Long-term sequelae following median sternotomy wound infection and flap reconstruction. *Ann Plast Surg* 1995;35:585-589.
- [101] Zachariades N., Papademetriou I., Rallis G. Complications associated with rigid internal fixation of facial bone fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 1993;51:275-278; discussion 278-279.

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1:  | Sternum-Fixationssystem aus Titan <sup>®</sup> - Systemübersicht.....   | 7  |
| Abbildung 2:  | Sternum-Verriegelungsplatten – Übersicht.....   | 8  |
| Abbildung 3:  | Titanplatte mit Emergency-Öffnungsstift vor Verriegelung .....  | 9  |
| Abbildung 4:  | Titanplatte mit Emergency-Öffnungsstift nach Verriegelung .....   | 9  |
| Abbildung 5:  | Einführen der Shortcut <sup>™</sup> Zangen .....  | 11 |
| Abbildung 6:  | Positionierung der Shortcut <sup>™</sup> Zangen .....   | 11 |
| Abbildung 7:  | Kürzen durch Shortcut <sup>™</sup> Zangen .....   | 11 |
| Abbildung 8:  | Platzierung des Schraubenlochs .....  | 12 |
| Abbildung 9:  | „Locking-Prinzip" - Verriegelungsplatte und Verriegelungsschraube.  | 13 |
| Abbildung 10: | „Locking-Prinzip" - winkelstabile Verankerung.....  | 13 |
| Abbildung 11: | Modulares Sternum-Kabelsystem <sup>®</sup> - Systemüberblick .....  | 14 |
| Abbildung 12: | Stahlplatte mit transversalen Bohrungen.....  | 15 |
| Abbildung 13: | Herausragen der Spatelklinge über Schraubenspitze .....   | 15 |
| Abbildung 14: | Kabelumführungsinstrument.....  | 16 |
| Abbildung 15: | Kabelfixation Variante 1: Fixierung der Kabelenden im<br>Parallelendstück .....   | 17 |
| Abbildung 16: | Kabelfixation Variante 2: Fixierung des Kabelendes in erster<br>Hohlschraube.....   | 18 |
| Abbildung 17: | Kabelfixation Variante 2: Einfädeln des Restkabels .....  | 18 |
| Abbildung 18: | Kabelfixation Variante 2: Fixierung durch Klemmhülse .....  | 18 |
| Abbildung 19: | Präoperative Computertomographie bei Dehiszenz im Bereich des<br>Manubriums .....   | 20 |
| Abbildung 20: | Postoperative Computertomographie nach Plattenosteosynthese....   | 20 |
| Abbildung 21: | Intraoperative Darstellung: Versorgung der Dehiszenz im Bereich<br>des Manubriums mit H-förmiger Verriegelungsplatte .....  | 20 |
| Abbildung 22: | Präoperative Computertomographie bei geringer Dehiszenz.....  | 21 |
| Abbildung 23: | Postoperative Computertomographie nach Plattenosteosynthese....   | 21 |
| Abbildung 24: | Intraoperative Darstellung: Stabilisierung des Xiphoids durch eine<br>winkelförmige Platte, Stabilisierung des Corpus sterni durch eine<br>doppel-T-förmige Platte, Stabilisierung des Manubriums durch eine<br>H-förmige Platte..... | 21 |

---

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 25: Präoperative Computertomographie bei ausgeprägter Instabilität ....   | 22 |
| Abbildung 26: Postoperative Computertomographie nach Plattenosteosynthese ....  | 22 |
| Abbildung 27: Intraoperative Darstellung: Zustand nach Wunddebridement .....  | 22 |
| Abbildung 28: Intraoperative Darstellung: Stabilisierung des Sternumkörpers<br>mittels 4-fach Verplattung von Rippe zu Rippe, sowie Stabilisierung<br>des Manubriums durch eine sternförmige Platte ..... | 22 |
| Abbildung 29: Präoperative Computertomographie bei sternalen Querfrakturen .....  | 24 |
| Abbildung 30: Postoperative Computertomographie nach Plattenosteosynthese ....  | 24 |
| Abbildung 31: Intraoperative Darstellung: Stabilisierung der Frakturen durch<br>longitudinale Verplattung .....   | 24 |
| Abbildung 32: Intraoperative Darstellung: zusätzliche Querstabilisierung durch<br>kurze Platten .....   | 24 |
| Abbildung 33: Präoperative Computertomographie bei multiplen Frakturen .....  | 25 |
| Abbildung 34: Postoperative Computertomographie nach Plattenosteosynthese ....  | 25 |
| Abbildung 35: Intraoperative Darstellung: ausgiebiges Knochendebridement und<br>longitudinale Verplattung .....   | 25 |
| Abbildung 36: Intraoperative Darstellung: zusätzliche Querstabilisierung mit einer<br>Loch-Querplatte .....   | 25 |
| Abbildung 37: Präoperative Computertomographie bei Sternumfrakturen .....   | 27 |
| Abbildung 38: Postoperative Computertomographie nach Verplattung und<br>Kabelfixation .....   | 27 |
| Abbildung 39: Intraoperative Darstellung: Stabilisierung der Querfrakturen durch<br>longitudinale Verplattung beider Hemisterna .....   | 27 |
| Abbildung 40: Intraoperative Darstellung: Adaption der Hemisterna durch Kabel ....  | 27 |
| Abbildung 41: CT Sternum in VR Technik, Ansicht von ventral .....   | 33 |
| Abbildung 42: CT Sternum in VR Technik, Ansicht von lateral .....   | 33 |
| Abbildung 43: CT Sternum in VR Technik, Ansicht von dorsal .....  | 33 |
| Abbildung 44: Untersuchungsbogen .....  | 36 |
| Abbildung 45: Fotodokumentation der Sternotomienarbe .....  | 37 |
| Abbildung 46: Anamnesebogen .....   | 38 |
| Abbildung 47: Alters- und Geschlechtsverteilung .....   | 43 |
| Abbildung 48: Kardiochirurgischer Ersteingriff .....  | 46 |
| Abbildung 49: Ursachen sternaler Instabilität – gruppenspezifische Darstellung ....   | 49 |

---

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 50: Erregerhäufigkeit bei präoperativ sternaler Wundinfektion.....  | 50 |
| Abbildung 51: Erregerhäufigkeit bei postoperativ sternaler Wundinfektion .....  | 54 |
| Abbildung 52: Verlauf sternaler Wundinfektionen prä- und postoperativ.....  | 57 |
| Abbildung 53: Ursachen der Plattenrevision – gruppenspezifische Darstellung .....   | 59 |
| Abbildung 54: Beurteilung der knöchernen Konsolidierung – gruppenspezifische<br>Darstellung.....  | 62 |
| Abbildung 55: Schmerzintensität bei postoperativem Schmerzempfinden -<br>gruppenspezifische Darstellung.....                                  | 64 |
| Abbildung 56: Schmerzintensität bei aktuellem Schmerzempfinden –<br>gruppenspezifische Darstellung.....                                       | 65 |
| Abbildung 57: Schmerzart bei aktuell vorhandenen Schmerzen -<br>gruppenspezifische Darstellung.....   | 66 |
| Abbildung 58: Schmerzverlauf vor und nach Explantation bei Patienten mit<br>Plattenrevision aufgrund einer sternalen Schmerzproblematik ..... | 68 |
| Abbildung 59: Ästhetische Beurteilung der Operationsnarbe –<br>gruppenspezifische Darstellung.....  | 69 |

**TABELLENVERZEICHNIS**

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Gewichtsklassifikation bei Erwachsenen anhand BMI .....   | 39 |
| Tabelle 2: Häufigkeit der Komorbiditäten innerhalb der Gruppen.....  | 44 |
| Tabelle 3: Anzahl der Komorbiditäten pro Patient .....   | 45 |
| Tabelle 4: Verteilungsmuster der Ersteingriffe innerhalb der Gruppen.....  | 47 |
| Tabelle 5: Kardiochirurgischer Zugangsweg – gruppenspezifische Darstellung ....  | 48 |
| Tabelle 6: Zeitabstand zwischen Ersteingriff und Verplattung in den Gruppen .....  | 48 |
| Tabelle 7: Sternumfrakturen – gruppenspezifische Darstellung .....   | 49 |
| Tabelle 8: Intraoperative Daten – gruppenspezifische Darstellung .....   | 51 |
| Tabelle 9: Stationärer Verlauf – gruppenspezifische Darstellung .....  | 51 |
| Tabelle 10: Postoperatives Auftreten sternaler Wundinfekte – gruppenspezifische<br>Darstellung .....                       | 53 |
| Tabelle 11: Zeitliche Entwicklung sternaler Wundinfekte – gruppenspezifische<br>Darstellung .....                          | 55 |
| Tabelle 12: Abstand zwischen sternaler Verplattung und Auftreten eines<br>Wundinfektes .....                               | 55 |
| Tabelle 13: Explantationshäufigkeit innerhalb der Gruppen .....  | 58 |
| Tabelle 14: Zeitabstand zwischen Plattenimplantation und Plattenrevision in<br>Tagen – gruppenspezifische Darstellung..... | 60 |
| Tabelle 15: Klinische Stabilität des Sternums – gruppenspezifische Darstellung ....  | 61 |
| Tabelle 16: Schmerzempfinden postoperativ – gruppenspezifische Darstellung ....  | 63 |
| Tabelle 17: Schmerzempfinden aktuell– gruppenspezifische Darstellung .....   | 65 |
| Tabelle 18: Differenzierung in Schmerzuntergruppen .....   | 67 |
| Tabelle 19: Untersuchungsergebnisse Brustwand – gruppenspezifische<br>Darstellung .....                                    | 69 |

## ANHANG



## DOKUMENTIERTE PATIENTENAUFKLÄRUNG



## Basisinformation zum Aufklärungsgespräch

Patientendaten/Aufkleber

## Computertomographie (CT)

- mit Kontrastmittel  
 ohne Kontrastmittel

Zu untersuchende Körperregion:

### Liebe Patientin, lieber Patient, liebe Eltern,

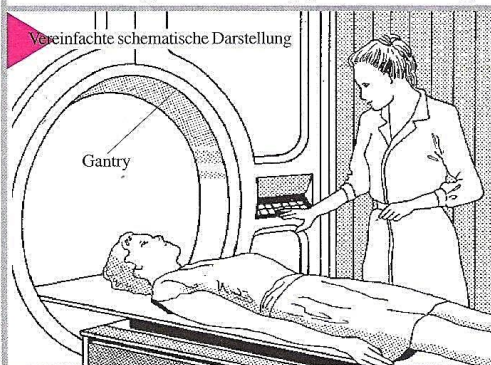
Ihre Ärztin/Ihr Arzt hat Ihnen eine Computertomographie vorgeschlagen, um damit eine Erkrankung genauer zu diagnostizieren oder sogar auszuschließen zu können. Vor der Untersuchung werden Sie über den Ablauf, die möglichen Risiken und Folgen, sowie die Alternativen der geplanten Maßnahme informiert, damit Sie sich entscheiden können. Dieses Aufklärungsblatt soll helfen, das **Gespräch mit dem Arzt** vorzubereiten und die wichtigsten Punkte zu dokumentieren.

### Wie wird eine Computertomographie durchgeführt?

Die Computertomographie (CT) ist eine spezielle Röntgenuntersuchung, mit der Körperregionen schichtweise geröntgt und als Querschnittsbilder dargestellt werden können. So lässt sich beispielsweise die Lage und Größe eines Krankheitsherdes (z.B. Tumor, Infektion) genau bestimmen, vor allem auch im Hinblick auf die umliegenden Organe. Dies ist für die Planung gezielter Behandlungsmaßnahmen oft von erheblicher Bedeutung.

Für die Untersuchung liegen Sie auf einer Liege, die sich langsam in die kegelförmige Öffnung (Gantry) des Computertomographen hineinbewegt. Die Öffnung ist relativ weit und Sie können jederzeit mit dem Arzt bzw. seinen Helfern sprechen. Deshalb brauchen Sie sich nicht eingeeengt fühlen und keine Angst vor der Röntgenröhre haben.

Während der Untersuchung sollten Sie ganz ruhig und entspannt liegen, Bewegungen vermeiden und die **Anweisungen zur Atmung** genauestens befolgen.



In manchen Fällen ist es notwendig, **Kontrastmittel** über eine Vene in das Blutgefäßsystem einzuspritzen, um aussagekräftigere Bilder zu erhalten. Während der Kontrastmitteleinspritzung kann es im Körper zu einem leichten, harmlosen Wärmegefühl kommen, das nach wenigen Sekunden verschwindet.

Bei Untersuchungen **des Beckens und/oder des Dickdarms** erhalten Sie **2 Stunden** vor der CT, bei Untersuchungen **des Magens und/oder Dünndarms direkt** vor der CT ein aufgelöstes Kontrastmittel zu trinken.

Bei Untersuchungen **des Dickdarms** ist es gelegentlich erforderlich, über ein Darmrohr Wasser (Hydro-CT) oder Paraffinöl in den Darm einzubringen.

Die Computertomographie ist völlig schmerzfrei und dauert in der Regel 10 bis 30 Minuten. Weitere 15 bis 30 Minuten sind für die Anfertigung, Auswertung und Beurteilung der Computer-Bilder nötig.

**Alternativen** zur Computertomographie können die Ultraschalluntersuchung (Sonographie), die Kernspintomographie (ein Verfahren, das mit Hilfe von Magnetfeldern und Radiowellen Bilder erzeugt), oder die Szintigraphie (Messung der Strahlenverteilung einer zuvor verabreichten radioaktiven Substanz) sein. Auf Ihren Wunsch informiert Sie Ihr Arzt gerne näher über die **Alternativen** und erklärt Ihnen auch, warum er in Ihrem Fall eine Computertomographie empfiehlt.

### Ist mit Komplikationen zu rechnen?

**Kein medizinischer Eingriff ist völlig frei von Risiken!** Die Computertomographie gilt im Allgemeinen als ein risikoarmes Routineverfahren. Die ggf. verabreichten **Kontrastmittel** werden normalerweise sehr gut vertragen. Dennoch können sie in Einzelfällen während oder auch kurz nach der Untersuchung zu Komplikationen führen. Zu nennen sind:

Reg. 09/2003/1  
PDF 05/2004

Dokumentierte Patientenaufklärung • Herausgeber: proCompliance Verlag GmbH • Fachgebietsherausgeber/Autor: Prof. Dr. med. V. Barth • Juristisch geprüft durch RAe Dr. jur. B. Joch, Dr. jur. A. Schwerdtfeger, Kanzlei Schwarz Kelwing Wicke Westpfahl, München • © 2003 by proCompliance Verlag, 91058 Erlangen • Nachdruck – auch auszugsweise – und fotokopieren verboten.  
 Bestell-Nr. 621-250 • Bestell-Adresse: proCompliance Verlag GmbH, Weinsstr. 70, 91058 Erlangen, Tel. 09131/93 406-40, Fax 93 406-70 • www.proCompliance.de





DOKUMENTIERTE PATIENTENAUFKLÄRUNG



Computertomographie (CT)

- Durchfall, Blähungen, Krämpfe, Übelkeit oder andere Beschwerden, wenn ein Kontrastmittel getrunken wurde, klingen in der Regel von selbst wieder ab. Übelkeit und Erbrechen können auch nach Injektion eines Kontrastmittels in die Blutbahn auftreten;
- **extrem selten:** Haut-, Weichteil- und Nerven-schäden (z.B. Spritzenabszess, Absterben von Gewebe, Nerven- und Venenreizung) infolge von Einspritzungen, die medikamentös oder operativ behandelt werden müssen und u.U. langandauernde oder dauerhafte Beschwerden (Narben, Taubheitsgefühle, Schmerzen) zur Folge haben können;
- **selten leichte allergische Reaktionen (Überempfindlichkeitsreaktionen)** auf das Kontrastmittel, die sich beispielsweise als Brechreiz, Juckreiz oder Hautausschlag äußern; sie klingen in den meisten Fällen von selbst wieder ab und bedürfen in der Regel keiner Behandlung;
- **sehr selten schwere allergische Reaktionen** mit Schleimhautschwellung im Kehlkopf, Herz- und Kreislaufversagen, Atemstörungen und Krämpfen, die eine sofortige intensiv-medizinische Behandlung erfordern. Sie können u.U. lebensbedrohlich sein oder infolge mangelnder Organdurchblutung zu bleibenden Schäden (z.B. Nierenversagen, Hirnschädigung, Krampfanfällen) führen;
- **extrem selten** kann es im Falle einer Kontrastmittelgabe bei schon vorab bestehenden Störungen der Niere bzw. Schilddrüse zur Verschlechterung (bis hin zum Versagen) der Nierentätigkeit bzw. zur Überfunktion der Schilddrüse kommen. Infusionen bzw. eine medikamentöse Behandlung können dann notwendig werden.

Die mit einer CT verbundene "Strahlenbelastung" ist so gering, dass Strahlenschäden nicht zu erwarten und auch lange Untersuchungszeiten oder wiederholte Untersuchungen möglich sind. Bei Kindern und Jugendlichen sind jedoch Hautschäden oder ein erhöhtes Krebsrisiko nicht vollständig auszuschließen, weshalb bei ihnen besonderes strahlensparend untersucht wird.

Im Falle einer Schwangerschaft besteht das Risiko einer Schädigung des ungeborenen Kindes durch die Röntgenstrahlen. **Teilen Sie deshalb bitte dem Arzt unbedingt mit, falls Sie schwanger sind oder auch nur den Verdacht hegen!**

**Worauf ist zu achten?**

**Vor der Untersuchung:**

**Bitte befolgen Sie die Anordnungen Ihres Arztes genauestens** (z.B. bzgl. Essen/Trinken, Medikamenteneinnahme). **Achtung Zuckerkranke:** Bestimmte Medikamente (metforminhaltige Antidiabetika) können zu Wechselwirkungen mit Kontrastmitteln führen und Störungen von Organfunktionen (z.B. der Nieren, u.U. bis hin zum Nierenversagen) verursa-

chen. **Fragen Sie Ihren Arzt, ob und für welchen Zeitraum Sie Ihre Medikamente absetzen müssen.**

Vor einer Untersuchung des **Brust-, Bauch- und/oder Beckenraumes** essen Sie bitte am Vortag der Untersuchung **nichts Blähendes** (Bohnen, Kohl, etc.) und nehmen Sie ggf. **verordnete Abführmittel** ein. Durch die Abführmaßnahmen kann die Wirksamkeit von evtl. eingenommenen Medikamenten wie auch der empfängnisverhütenden "Pille" aufgehoben sein; dies gilt auch bei Durchfall/Erbrechen nach der Untersuchung.

**Falls nicht anders angeordnet**, essen/trinken Sie mind. **2 Stunden** vor der Untersuchung **nicht mehr** und rauchen Sie mind. **1 Stunde** vorher **nicht mehr**.

**Nach der Untersuchung:**

**Falls nicht anders angeordnet**, sollten Sie nach einer Untersuchung mit Kontrastmittel **viel trinken**, um die Ausscheidung des Kontrastmittels zu beschleunigen.

Sollten noch am Untersuchungstag oder in den darauf folgenden Tagen plötzlich **Juckreiz, Niesreiz, Schmerzen, Übelkeit, Durchfall oder andere körperliche Symptome** auftreten, informieren Sie bitte sofort Ihren Arzt!

**Fragen zum Aufklärungsgespräch:**

Im Aufklärungsgespräch sollten Sie nach allem fragen, was Ihnen wichtig oder noch unklar erscheint. Hier haben Sie die Möglichkeit, Ihre Fragen zu notieren, damit Sie diese beim Gespräch nicht vergessen:

---



---



---

**Was der Arzt wissen sollte:**

Um Gefahrenquellen rechtzeitig erkennen und in Ihrem Fall spezielle Risiken besser abschätzen zu können, beantworten Sie bitte folgende Fragen:

1. Wurde bei Ihnen schon einmal eine **Kernspintomographie** oder eine **Röntgenuntersuchung** (einschließlich Computertomographie), v.a. des jetzt zu untersuchenden Körperbereichs, durchgeführt?  nein  ja  
Wenn ja, wann, wo, welches Organ?

---

Bitte ggf. Kernspin- oder Röntgenbilder/Röntgenpass mitbringen!

2. Traten bei früheren Röntgenuntersuchungen mit **Kontrastmittel** Probleme wie z.B. **Kreislaufreaktionen, Schock, Hautausschlag o.Ä.** auf?  nein  ja



## LEBENS LAUF

### Persönliche Daten

Name und Vorname: Grabert, Stephanie Sabrina  
Geburtsdatum: 09.11.1987  
Geburtsort: München  
Familienstand: ledig

### Schulischer Werdegang

1994-1998 Grundschule an der Oselstraße, München  
1998-2007 Städtisches Elsa-Brändström-Gymnasium München  
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

### Universitärer Werdegang

2007-2009 Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Abschluss: Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung  
2009-2013 Studium der Humanmedizin an der Technischen Universität München  
Abschluss: Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

### Berufliche Tätigkeit

2009-2012 Studienbegleitende Tätigkeit als Pflegehelfer im Deutschen Herzzentrum München, Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie  
Seit Februar 2014 Assistenzärztin in Weiterbildung zum Facharzt in der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie im Deutschen Herzzentrum München

## DANKSAGUNG

Ich danke Herrn Professor Dr. Rüdiger Lange, Direktor der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie des Deutschen Herzzentrums München, dass ich die vorliegende Arbeit in seiner Klinik durchführen konnte.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv. - Doz. Dr. Bernhard Voss, für die Überlassung des Themas sowie die hervorragende Betreuung, kompetente Beratung und außerordentliche Unterstützung während der gesamten Zeit.

Frau Dr. Ina Hettich, die ebenfalls in die Planung und Durchführung der Studie involviert war, danke ich recht herzlich für die ausgezeichnete organisatorische und fachliche Betreuung der klinischen Untersuchungen.

Ebenfalls gilt mein Dank den Mitarbeitern der kardiochirurgischen Ambulanz, insbesondere Frau Maria Bauer, die sich stets um die Bereitstellung der notwendigen Patientenakten bemühte und mir bei jeglichen Fragen eine absolute Hilfe war.

Bei dem ärztlichen Team der Klinik für Radiologie und Nuklearmedizin des Deutschen Herzzentrums München, insbesondere bei Herrn Dr. Albrecht Will, sowie bei den Medizinisch-Technischen Assistenten der Radiologie möchte ich mich herzlichst für die terminliche Flexibilität, die Bereitstellung der computertomographischen Aufnahmen und natürlich für die kompetente Befundung der sternalen Bildgebungen bedanken.

Herrn Dipl.-Stat. Alexander Hapfelmeier, Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie, danke ich für die allseits freundliche und engagierte Beratung bei der statistischen Auswertung der vorliegenden Arbeit.

Meiner Familie danke ich von ganzem Herzen für die unerschöpfliche Unterstützung und Motivation während der Anfertigung dieser Dissertation und des gesamten Studiums.