

Aus der Klinik für Thorax- und Herz-Gefäßchirurgie  
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar  
Direktor: Prof. Dr. med. Hans-Joachim Schäfers

**Postoperative Erholung: Ist die partielle Sternotomie besser als die  
komplette?**

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes  
2020

vorgelegt von: Louise Tibiletti  
geb. am 12.07.1996 in Mulhouse (Frankreich)

Tag der Promotion: 18.11.2020  
Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Michael D. Menger  
Berichterstatter: Prof. Dr. Hans-Joachim Schäfers  
Prof. Dr. Dr. Robert Bals

# Zusammenfassung

## **Postoperative Erholung: Ist die partielle Sternotomie besser als die komplette?**

Die komplette Sternotomie ist aktuell der Standard in der Herzchirurgie. In den letzten Jahren sind minimalinvasive Operationen als Alternative propagiert worden. Diese Studie beschäftigt sich mit dem Vergleich zwischen der kompletten und der partiellen Sternotomie. Dabei wurde auch die obere mit der unteren Sternotomie verglichen. Zielparameter waren Schmerz, Lungenfunktion, Kraft und Lebensqualität. Die Fragestellung war, ob die postoperative Erholung der Patienten durch eine partielle Sternotomie verbessert werden kann (beurteilt durch die vier Hauptparameter) und ob Unterschiede zwischen den beiden limitierten Zugangswegen bestehen.

In einer Kohorte bestehend aus 80 Patienten wurden die Parameter 1 Tag präoperativ, 6 Tage postoperativ und 1 Monat postoperativ erhoben: Zur Beurteilung der Schmerzen wurde die numerische Rating-Skala benutzt, für die Lungenfunktion ein Spirometer (forcierte Einsekundenkapazität und forcierte Vitalkapazität) und für die Kraft Provokationstests mit einer Hantel (Abduktions- und Adduktionstest). Die Lebensqualität wurde 1 Monat postoperativ anhand des Fragebogens SF36 beurteilt.

Der Schmerz, die Lungenfunktion, die Kraft und die Lebensqualität haben sich bei den Patienten mit kompletter und mit partieller Sternotomie im Laufe der drei Untersuchungen gleichermaßen entwickelt. Während die meisten perioperativen Parameter keinen Unterschied gezeigt haben, war die Transfusionsrate höher nach kompletter Sternotomie und die Reoperationsrate wegen Blutungen höher nach partieller Sternotomie.

Beim Vergleich der oberen mit der unteren partiellen Sternotomie tendierte der Schmerz postoperativ zu höheren Werten nach oberer Sternotomie (dies zeigte sich auch mit einem höheren Wert in der Skala der körperlichen Schmerzen des Fragebogens SF36) und die Lungenfunktion war in dieser Patientengruppe signifikant niedriger im Vergleich zu den Patienten nach unterer Sternotomie. Die Kraft und die perioperativen Daten zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Vergleichsgruppen.

Zusammenfassend konnten wir kein Unterschied zwischen kompletter und partieller Sternotomie für den postoperativen Allgemeinzustand der Patienten feststellen. Jedoch zeigte sich eine bessere Erholung der Patienten nach unterer Sternotomie im Vergleich mit denen nach oberer Sternotomie.

# Abstract

## **Postoperative recovery: is the partial sternotomy better than the full sternotomy?**

Full sternotomy is currently the standard procedure in heart surgery. Over the last years, minimally invasive surgery have been proposed as an alternative solution. This study deals with the comparison between full and partial sternotomy. Partial upper and lower sternotomy are also compared. The matters at hand were if the postoperative recovery of the patients can be improved through a partial sternotomy (judged by the four above-named parameters) and if there are differences between both partial sternotomy accesses. Main parameters of this study were pain, lung function, strength and life quality. In the 80 patients cohort, the parameters were assessed 1 day before surgery, as well as 6 days and 1 month after surgery: for the evaluation of the pain the numeric rating-scale were used, for the assessment of the lung function a spirometer (forced expiratory volume in one second and forced vital capacity) was utilized and for the acquisition of the strength, tests with a dumbbell (in abduction and adduction) were employed. The life quality was judged 1 month after surgery with the survey SF36.

Pain, lung function, strength and life quality showed no differences in the three examinations between patients after full and partial sternotomy. Most of the perioperative parameters showed no significant differences, only the transfusion rate was higher after full sternotomy and the reoperation rate was higher after partial sternotomy because of bleeding.

In the comparison between partial upper and lower sternotomy, pain was higher after upper sternotomy (as assessed in the scale physical pain in the survey SF36) and the lung function in this patient group was significantly lower compared to patients after lower sternotomy. Strength and perioperative data showed no differences between both groups.

All in all, we found no differences between full and partial sternotomy for the postoperative condition of the patients. However our study showed a better recovery of the patients after a lower sternotomy compared to patients after an upper sternotomy.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	2
Abstract .....	3
Inhaltsverzeichnis .....	4
Abkürzungsverzeichnis .....	6
1. Einleitung.....	7
1.1. Entwicklung in der Herzchirurgie .....	7
1.2. Klassische Zugangswege in der Herzchirurgie .....	7
1.2.1 Die bilaterale Thorakotomie.....	7
1.2.2. Die mediane Sternotomie .....	7
1.3. Minithorakotomien .....	9
1.3.1. Laterale Thorakotomie .....	9
1.3.2. Obere partielle Sternotomie .....	9
1.3.3. Untere partielle Sternotomie .....	10
1.4. Datenlage zum Vergleich komplette und partielle Sternotomie .....	11
1.4.1. Schmerz .....	11
1.4.2. Lungenfunktion .....	12
1.4.3. Lebensqualität .....	12
1.4.4. Perioperative Daten .....	12
1.5. Stand der Forschung, Studienziele und Fragestellung .....	13
2. Material und Methodik .....	15
2.1. Studienaufbau .....	15
2.2. Patientenkohorte .....	15
2.3. Datenerhebung.....	16
2.4. Operationen .....	16
2.5. Follow-up Methodik .....	17
2.5.1. Schmerzmessung.....	17
2.5.2. Lungenfunktionstest.....	17
2.5.3. Belastungskapazität durch Krafttests.....	17
2.5.4. Lebensqualität anhand des Fragebogens SF36 .....	19
2.5.5. Statistische Methodik.....	19
3. Ergebnisse.....	21
3.1. Übersicht der Kohorte .....	21
3.2. Schmerz .....	24
3.3. Lungenfunktion .....	26

3.4.	Kraft.....	30
3.5.	Lebensqualität.....	34
3.6.	Perioperative Daten .....	36
3.6.1.	Operationsdauer .....	36
3.6.2.	Kardiopulmonale Bypassdauer und Klemmzeit .....	38
3.6.3.	Liegedauer auf Intensivstation .....	38
3.6.4.	Krankenhausaufenthalt .....	38
3.6.5.	Blutverlust und Transfusionen .....	39
3.6.6.	Beatmungszeit.....	39
3.6.7.	Reintubation.....	39
3.6.8.	Postoperative Komplikationen .....	40
3.7.	Vergleich nach Geschlecht und Alter .....	43
4.	Diskussion.....	45
4.1.	Schmerz .....	46
4.2.	Lungenfunktion .....	46
4.3.	Kraft.....	48
4.4.	Lebensqualität und Kosmetik .....	49
4.5.	Perioperative Daten .....	50
4.5.1.	Operationsdauer .....	50
4.5.2.	Kardiopulmonale Bypassdauer und Klemmzeit .....	51
4.5.3.	Liegedauer auf Intensivstation und Krankenhausaufenthalt .....	51
4.5.4.	Blutungen und Transfusionen .....	52
4.5.5.	Beatmung .....	53
4.5.6.	Reoperation wegen Blutung.....	53
4.5.7.	Komplikationen .....	53
4.6.	Schwächen der Arbeit .....	54
4.7.	Schlussfolgerung.....	55
4.7.1.	Vergleich von kompletter mit partieller Sternotomie.....	55
4.7.2.	Vergleich von oberer mit unterer Sternotomie .....	56
	Abbildungsverzeichnis.....	57
	Tabellenverzeichnis .....	59
	Literaturverzeichnis.....	60
	Danksagung .....	62

# Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AI	Aortenklappeninsuffizienz
AKE	Aortenklappenersatz
AS	Aortenklappenstenose
FEV <sub>1</sub>	Forcierte Einsekundenkapazität
FVC	Forcierte Vitalkapazität
h	Stunde
kg	Kilogramm
KHK	Koronare Herzkrankheit
l	Liter
MKR	Mitralklappenrekonstruktion
min	Minuten
ml	Milliliter
SF36	Short Form 36
Tab.	Tabelle
TKR	Trikuspidalklappenrekonstruktion
VAS	Visuelle Analogskala
VHF	Vorhofflimmern

# 1. Einleitung

## 1.1. Entwicklung in der Herzchirurgie

Der erste chirurgische Eingriff am Herzen wurde von Rehn 1896 durchgeführt. In den darauffolgenden 30 Jahren wurden Eingriffe an den Herzklappen (Tuffier 1912 an der Aortenklappe, Cutler 1923 und Suttar 1926 an der Mitralklappe) vorgenommen. Wichtige diagnostische Verfahren in der Herzchirurgie wurden in den nachfolgenden Jahren entwickelt: 1923 wurde der erste Rechtsherzkatheter, 1961 die erste Koronarangiographie und 1966 die erste Echokardiographie durchgeführt. [24]

1953 wurde die Herz-Lungen-Maschine zum ersten Mal eingesetzt; Sie ist bis heute für alle Herzoperationen anwendbar und wird standardmäßig benutzt. Durch diese große Entwicklung konnte 1961 der erste Ersatz einer Herzklappe unternommen werden, 1967 die erste Bypassoperation sowie die erste Herztransplantation. Fünf Jahre nach dem ersten Einsatz wurde die Herz-Lungen-Maschine in Deutschland von Zenker und Borst eingeführt. Während des zweiten Weltkrieges trat eine rasche Entwicklung der Herzchirurgie in Deutschland auf; Diese Disziplin gehört seitdem zum klinischen Alltag. Heutzutage werden in 80 verschiedenen Zentren 82000 Eingriffe pro Jahr in Deutschland durchgeführt. In den letzten 20 Jahren sind neue minimalinvasive Verfahren entstanden und werden immer weiter entwickelt. [24]

## 1.2. Klassische Zugangswege in der Herzchirurgie

### 1.2.1 Die bilaterale Thorakotomie

Die bilaterale Thorakotomie wurde Anfang der 1950er-Jahren für die Lungentransplantation eingeführt. Dieser Zugangsweg wird aber wegen seiner sehr hohen Schmerzintensität heutzutage nicht mehr verwendet. [9]

### 1.2.2. Die mediane Sternotomie

Standardmethode für die Herzoperationen ist derzeit die mediane komplette Sternotomie. Bei diesem Verfahren wird die Mittellinie zwischen Jugulum und Xiphoid markiert und mit einer Säge das Sternum ausgehend vom Xiphoid bis zum Jugulum durchtrennt. [24]

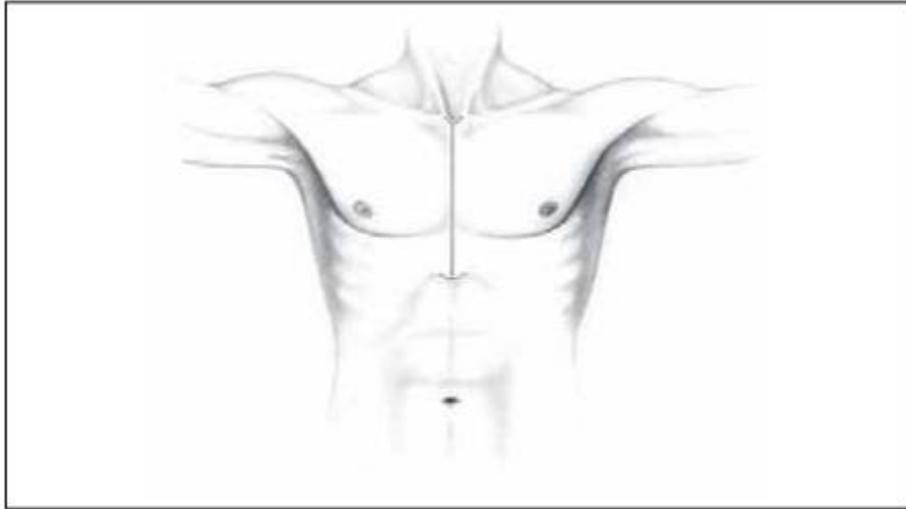


Abb.1 Skizze der Inzision bei einer medianen kompletten Sternotomie. [24]

Diese Methode bietet sowohl Vorteile als auch Nachteile.

Der größte Vorteil der medianen Sternotomie ist die Möglichkeit, alle Operationen am Herzen durchführen zu können. Außerdem ist dieses Verfahren bei allen Patienten anwendbar. [22]

Darüber hinaus ist die geringe Schmerzintensität positiv zu bewerten. Patienten berichten 12 h nach der Extubation über Schmerzen bei 3,1 auf der VAS (Visuelle Analogskala). [29] Schmerzen haben einen großen Einfluss auf die Lungenfunktion: Dadurch dass die stärksten Schmerzen in der ersten postoperativen Woche auftreten und die Patienten schmerzbedingt flacher atmen, entwickeln sich restriktive Lungenvolumina. [32] Die durch Schmerzen begünstigte Hypoventilation reduziert die Fähigkeit der Patienten, das Lungensekret zu eliminieren. Dies führt zur Formation von Atelektasen und zur Verschlechterung des Gasaustauschs. [28] Eine reduzierte Aktivität und körperliche Beeinträchtigungen fördern ebenfalls die Lungenfunktionsverschlechterung unmittelbar nach der Operation. [32] In der Studie von Shenkman et al. ist die präoperative forcierte Vitalkapazität (FVC) von 98 % nach 3 Wochen auf 63 % gesunken und nach 3,5 Monaten auf 75 % angestiegen. Die forcierte Einsekundenkapazität ( $FEV_1$ ) ist innerhalb von 3 Wochen von 95 % auf 61 % gefallen und nach 3,5 Monate auf 70 % angestiegen. [26] Westerdahl et al. haben gezeigt, dass die  $FEV_1$  und die FVC nach einem Jahr um 4-5 % gegenüber präoperative Werte erniedrigt waren. Diese Werte reflektieren trotz allem eine gute Erholung der Lunge nach einer medianen Sternotomie. [32]

Ein anderer Vorteil der medianen Sternotomie ist die geringe Rate an verzögerter Wundheilung und Wundinfektion (<2 %). [36] Eine stabile Fixation ist postoperativ wichtig, weil Sternumdehiszenz (schmerzvolle Trennung ohne Infektion), Osteomyelitis (superfizielle Wundinfektion) und Mediastinitis (tiefe Infektion der Thoraxhöhle) durch eine inadäquate Immobilisation des Sternums auftreten können. Patienten mit Osteoporose (schwache und brüchige Knochen), Diabetes mellitus (insuffiziente Blutzirkulation) und Lungenemphysem (große Hustenkraft) haben durch die Prädisposition für eine unzureichende Knochenheilung ein erhöhtes Risiko für Komplikationen. [20] Husten und bestimmte

Bewegungen üben Druck auf das Sternum aus, besonders im Bereich des Xyphoids; Nach einer Sternotomie können diese Kräfte mit der Knochenheilung interferieren. [15]

Ein relativer Nachteil der medianen Sternotomie ist die Lebensqualitätseinschränkung. In retrospektiven Studien wurde anhand des Fragebogens SF36 (Short Form 36) festgestellt, dass die Lebensqualität unmittelbar nach der Operation niedriger ist als präoperativ. [31] Dies könnte man darauf zurückführen, dass durch die operative Durchtrennung und die Refixierung des Sternums die Kraft in den Armen reduziert sein könnte. Die zusätzliche ärztliche Anweisung nach einer Herzoperation keine große Last zu heben sowie keine anstrengende Tätigkeiten auszuführen könnte zur Einschränkung der Rehabilitation und der damit verbundenen Lebensqualität führen. [11] Nach einem Jahr hat sich in der Studie von Westerdahl et al. jedoch die Lebensqualität der Patienten gegenüber präoperativ verbessert: Z.B. hat sich der Wert für die körperliche Rollenfunktion von 39,8 auf 79,0 verbessert; Die Vitalität ist von 54,8 auf 73,6 angestiegen. [32]

### 1.3. Minithorakotomien

Ziel der minimalinvasiven Operationen ist es, die Stabilität des Sternums zu erhöhen und somit die Schmerzen zu minimieren. Durch die geringere Schmerzen könnte sich die Lungenfunktion postoperativ besser regenerieren. Dies könnte eine schnellere Mobilisation ermöglichen und die postoperative Lebensqualität der Patienten verbessern. [5]

#### 1.3.1. Laterale Thorakotomie

Die anterolaterale Minithorakotomie wird als minimalinvasives Verfahren in der Herzchirurgie angewendet. Das Sternum bleibt bei diesem Zugangsweg intakt. [31]

Bei dieser Operationsmethode muss oft die Minithorakotomie wegen Blutungen in einer medianen Sternotomie umgesetzt werden. Die Sternuminstabilität liegt dabei bei 11 %. [25]

#### 1.3.2. Obere partielle Sternotomie

Die obere partielle Sternotomie ist die am häufigsten durchgeführte minimalinvasive Operation.

Für die obere partielle Sternotomie wird das Sternum meistens bis zum vierten Interkostalraum links median eröffnet. Die distale ascendierende Aorta und die Hohlvenen werden kanuliert. [23] Bei der J-förmigen oberen partiellen Sternotomie verläuft die Hautinzision (ca. 7 bis 8 cm) vom oberen Teil der zweiten Rippe in der Mitte des Sternums bis zum oberen Teil der vierten Rippe. Bei den Patienten, die an der Aorten- oder Mitralklappe operiert werden, wird die Inzision im ersten rechten Interkostalraum verlängert. [27]

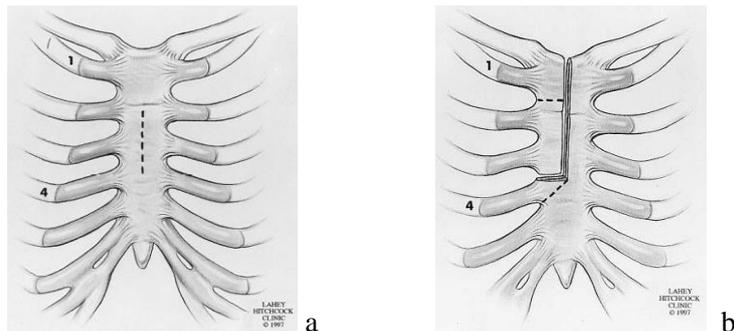


Abb.2 Skizze der Haut- (a) und der Knocheninzision (b) bei einer oberen partiellen Sternotomie. [27]

Ein Vorteil der oberen partiellen Sternotomie ist insbesondere der gute Zugang zur Aortenklappe. [23] Sie kann in den linken, rechten sowie in beiden Interkostalräume verlängert werden. Die Vorteile bei der Extension in den linken Interkostalraum sind Folgenden: Das Herz liegt mehr auf der linken als auf der rechten Seite des Thorax und die Mitralklappe ist besser erreichbar. [23]

Andere angegebene Vorteile dieser Methode könnten die Kosmetik (kürzere Narbe, auch wenn die Narbe bei bekleideten Menschen trotzdem den sichtbaren Teil des Sternums betrifft) und die frühe Mobilisierung sein. Ebenso könnte dadurch eine gute Erhaltung der Atemmechanik erreicht werden. Dieses Verfahren bietet auch die Möglichkeit der Konversion zu einer kompletten Sternotomie, wenn nötig. [21]

Nachteile sind Folgenden: Das Herz ist nicht vollständig sichtbar, die Kanülierung, das Entlüften des Herzens und die Platzierung eines Schrittmachers sind schwieriger als bei einer kompletten Sternotomie und die Kontrolle bei Blutung ist limitiert. [21] Eine schlechte Entlüftung könnte die Rate an neurologischen Symptomen erhöhen. [10] Patienten, die ein Bypass oder eine Reoperation benötigen, werden meistens aus Sicherheitsgründen durch eine komplette Sternotomie behandelt. [23]

### 1.3.3. Untere partielle Sternotomie

Bei der unteren partiellen Sternotomie verläuft die Hautinzision von der Articulatio manubriosternalis bis zum oberen Xiphoidrand. Die Durchtrennung des Knochens verläuft vom Rand des Xiphoids bis zum ersten Interkostalraum, und wird dann auf der rechten und linken Seite horizontal verlängert. Nachdem der Corpus sterni und ein Drittel des Manubriums geöffnet sind, wird ein Retraktor benutzt. Die Kanülierung entspricht die der oberen partiellen Sternotomie. Die Manubrium-sparende Operation zeigt einen suffizienten Zugang zum oberen retrosternalen Raum und einen guten myokardialen Schutz. Klassische Operationstechniken können ebenso angewandt werden. [8]

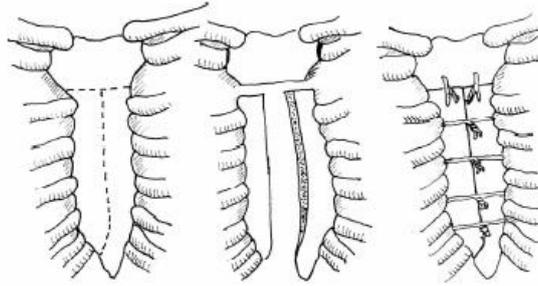


Abb.3 Skizze der Knocheninzision und der Knochennähte bei einer unteren partiellen Sternotomie. [8]

Der Vorteil der unteren partiellen Sternotomie ist die Möglichkeit an der Trikuspidal-, Mitral- und Aortenklappe zu operieren; Ventrikelseptumdefekte sowie Atriumseptumdefekte können ebenfalls korrigiert werden (auch als Kombination). [8] Das Manubrium sterni wird bei der unteren partiellen Sternotomie intakt gelassen und dies ermöglicht den Erhalt der Stabilität der oberen Thoraxöffnung. [3] Diese Manubrium-sparende Methode ist besonders für junge Patienten vorteilhaft, weil dadurch eine halsnahe Wunde vermieden werden kann. Die untere partielle Sternotomie bietet somit einen großen kosmetischen Vorteil. Dadurch, dass die Haut bei der unteren partiellen Sternotomie über das Xiphoid intakt belassen wird, und das Xiphoid selbst nicht durchgetrennt wird, ist das Wundinsuffizienzrisiko niedriger (besonders bei älteren Patienten, Diabetiker oder Adipositas-Patienten). [8]

Die untere partielle Sternotomie kann, wie die obere partielle Sternotomie, nach rechts, nach links sowie quer eröffnet werden. Nachteil bei der Eröffnung nach links ist die Gefahr die linke Arteria mammaria zu verletzen. [8]

#### 1.4. Datenlage zum Vergleich komplette und partielle Sternotomie

Eine Cochrane hat sich 2017 mit dem Vergleich einer partiellen mit einer kompletten Sternotomie für einen Aortenklappenersatz (AKE) auseinandergesetzt. Folgende Erkenntnisse aus den sieben randomisierten Studien konnten festgestellt werden.

##### 1.4.1. Schmerz

Drei Studien der Cochrane haben sich mit dem postoperativen Schmerz in der Frühphase der Rehabilitation (bis 12 h postoperativ) befasst. Daraus wurde festgestellt, dass die Schmerzen sich nach partieller sowie nach kompletter Sternotomie nicht unterscheiden. [14]

#### 1.4.2. Lungenfunktion

In vier randomisierten Studien der Cochrane wurde die Lungenfunktion erfasst. Dabei wurde die FEV<sub>1</sub> als Testparameter benutzt und bis 7 Tage postoperativ gemessen. Die Lungenfunktion war durchschnittlich postoperativ leicht höher nach oberer als nach kompletter Sternotomie. [14]

#### 1.4.3. Lebensqualität

Bellach et al. konnten beweisen, dass der Schmerz eine große Auswirkung auf die Lebensqualität hat und ein « Indikator für die allgemeine subjektive Befindlichkeit » ist. [4] Schmerz und Lebensqualität reflektieren die physikalische und psychologische Gesundheit des Patienten nach der Operation. Beide sind direkte Marker des Operationserfolgs. [31]

Nur eine Studie der Cochrane beschäftigte sich mit der Lebensqualität anhand des Fragebogens SF36, die von Borger et al. [7] Diese zeigte keinen Unterschied zwischen partieller und kompletter Sternotomie. Im Fragebogen SF36 erreichten die Patienten nach partieller Sternotomie einen Score von 51 von 100 und nach kompletter Sternotomie von 49. [14]

#### 1.4.4. Perioperative Daten

Die perioperative Mortalität wurde von allen Studien der Cochrane ausgewertet. In zwei Studien (Dogan et al. [10] sowie Moustafa et al. [18]) sind keine Ereignisse aufgetreten. Es konnte insgesamt kein Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt werden. Insgesamt sind sechs Patienten von 254 nach partieller Sternotomie und sechs Patienten von 257 nach kompletter Sternotomie innerhalb von 30 Tage nach der Operation verstorben. [14]

Fünf Studien der Cochrane haben sich mit der kardiopulmonalen Bypassdauer beschäftigt. Die Variabilität der Dauer war abhängig vom operierenden Chirurgen hoch. Unterschiede bis zu 15 min sind meistens klinisch nicht relevant. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen partieller und kompletter Sternotomie. Der Durchschnittswert lag bei den partiellen Sternotomien zwischen 68,8 min und 115 min, bei den kompletten Sternotomien zwischen 71,3 min und 107 min, je nach Studie. [14]

Die Klemmzeit wurde von sechs Studien erfasst. Unterschiede bis 10 min sind klinisch nicht relevant. Für die partielle Sternotomie lagen die Werte der myokardialen Ischämie zwischen 41 min und 71 min, je nach Studie; Für die komplette Sternotomie waren die Werte zwischen 46 min und 72 min. Es konnte kein Unterschied festgestellt werden. [14]

Liegedauer auf Intensivstation und Krankenhausaufenthalt wurden von fünf Studien erfasst. Durch verschiedene Protokolle und Entlassungskriterien waren diese Ergebnisse sehr heterogen. Für die Liegedauer auf Intensivstation konnte ein Unterschied festgestellt werden: Die Patienten sind nach partieller Sternotomie ca. 1/2 Tag weniger als nach kompletter Sternotomie auf Intensivstation

geblieben. Im Schnitt sind die Patienten nach minimalinvasiver Chirurgie zwischen 0,3 und 1,8 Tage unter direkter Beaufsichtigung geblieben, während die Patienten nach kompletter Sternotomie zwischen 1,2 und 2,1 Tage auf Intensivstation geblieben sind. Die Patienten sind, je nach Studie, zwischen 6 und 9,3 Tage nach partieller Sternotomie stationär geblieben, nach kompletter Sternotomie zwischen 6,2 und 17,7 Tage. Ein signifikanter Unterschied konnte jedoch zwischen beiden Gruppen nicht festgestellt werden. [14]

Fünf Studien der Cochrane haben sich mit dem perioperativen Blutverlust befasst. Der Mittelwert des Blutverlustes aller Studien nach partieller Sternotomie war 158 ml geringer als in der Gruppe mit kompletter Sternotomie. Dies könnte durch den kleineren Schnitt bedingt sein. Nach partieller Sternotomie lagen die Durchschnittswerte des Blutverlustes der verschiedenen Studien zwischen 183 ml und 479 ml, nach kompletter Sternotomie zwischen 280 ml und 590 ml. [14]

Die Beatmungszeit wurde von sechs Studien beschrieben. Die Heterogenität war jedoch groß, da die Extubationsprotokolle in den Krankenhäusern sehr unterschiedlich sein können. Nach partieller Sternotomie sind die Patienten im Schnitt, je nach Studie, 2 h bis 13 h, während die Patienten nach kompletter Sternotomie 5,3 h bis 13,2 h beatmet worden sind. Ein signifikanter Unterschied zeigte sich nicht. [14]

Sieben Studien der Cochrane erfassten die Reoperationsrate aufgrund von Blutungen. In einer Studie (Aris et al. [1]) sind keine Ereignisse aufgetreten. Insgesamt sind pro Gruppe 12 Patienten reoperiert worden (von 254 Patienten mit partieller und 257 mit kompletter Sternotomie). Es zeigte sich also kein Unterschied. [14]

Nur in drei der sieben Studien der Cochrane traten Wundinfektionen auf. Insgesamt hatten vier Patienten nach limitierter Sternotomie eine Wundinfektion und sechs Patienten nach kompletter Sternotomie. Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen konnte nicht nachgewiesen werden. [14]

Postoperatives Vorhofflimmern (VHF) wurde von drei Studien der Cochrane erfasst. Eine große Heterogenität ist durch verschiedene Kanülierungs- sowie Kardioplegiemöglichkeiten bedingt. Neun von 120 Patienten mit partieller Sternotomie und 21 von 120 Patienten mit kompletter Sternotomie entwickelten postoperativ VHF. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied. [14]

## 1.5. Stand der Forschung, Studienziele und Fragestellung

In Studien konnte bereits gezeigt werden, dass Sternotomien schmerzarme Prozeduren sind und dadurch die Patienten von einer guten Erholung der Lungenfunktion profitieren. Jedoch ist die Lebensqualität der Patienten nach der Operation beeinträchtigt, vermutlich durch eine Einschränkung der Kraft und der Limitierungen bei Alltagstätigkeiten. Nach partieller und nach kompletter Sternotomie waren die Schmerzintensität und die Lebensqualität vergleichbar. Die Lungenfunktion war nach limitierter Sternotomie leicht höher. Es wurde ebenfalls nachgewiesen, dass partielle Sternotomien kein erhöhtes perioperatives Risiko im Vergleich zu kompletten Sternotomien aufweisen und sogar Vorteile zeigen

könnten: Eine kürzere Liegedauer auf Intensivstation und ein verminderter Blutverlust konnten nachgewiesen werden. Die kardiopulmonale Bypassdauer, die Klemmzeit, der Krankenhausaufenthalt, die Beatmungszeit und die Komplikationsrate waren übereinstimmend.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Vor- und Nachteile (besonders für Schmerz, Kraft, Lungenfunktion und Lebensqualität) der limitierten Sternotomieformen untereinander und mit denen der kompletten Sternotomie zu vergleichen. Folgende Fragen werden wir in dieser Arbeit beantworten.

1. Sind bei den partiellen Sternotomien durch die erhaltene Stabilität einer Sternumhälfte die Schmerzen geringer als nach kompletter Sternotomie?
2. Wie ist die Lungenfunktion im eigenen Patientengut nach kompletter, oberer und unterer Sternotomie?
3. Wird sich die Kraft nach unterer Sternotomie durch das Belassen der oberen Sternumhälfte besser erholen als bei den anderen Operationsmethoden?
4. Ist die Lebensqualität nach partieller Sternotomie durch den kleineren Zugang und die entsprechende kleinere Narbe besser als nach kompletter Sternotomie?
5. Korrelieren die Parameter Schmerz, Kraft, Lungenfunktion und Lebensqualität miteinander?
6. Wie ist die Operationsdauer, die Liegedauer auf Intensivstation und im Krankenhaus, der Blutverlust, die Beatmungszeit nach kompletter, oberer und unterer Sternotomie?
7. Wie häufig und welche postoperative Komplikationen treten nach kompletter, oberer und unterer Sternotomie auf?

## 2. Material und Methodik

### 2.1. Studienaufbau

Diese Arbeit ist eine prospektive Studie, in dem einerseits komplette und partielle Sternotomie, andererseits im Rahmen der partiellen Sternotomien obere und untere partielle Sternotomie anhand verschiedener Parametern verglichen wurden.

Die Daten wurden von Mai 2018 bis September 2019 gesammelt. Präoperative sowie postoperative Angaben zum Schmerz, zur Lungenfunktion, zur Kraft und zur Lebensqualität wurden eingeschlossen. Diese wurden dann zur Einschätzung der Rehabilitation der Patienten im postoperativen Verlauf benutzt. Die Erhebung der Werte erforderte somit drei Untersuchungen pro Patienten: Am Tag vor der Operation, 6 Tage und 30 Tage nach der Operation.

Die erhobenen Messwerte und Ergebnisse der Patienten wurden in einer Tabelle zusammengefasst und miteinander verglichen. Zielsetzung der statistischen Auswertung der daraus resultierenden Datenbank war die Ermittlung, ob eine partielle Sternotomie den Schmerz, die Lungenfunktion, die Kraft und die Lebensqualität im Vergleich zur kompletten Sternotomie verbessern würde, und ob obere und untere partielle Sternotomie im postoperativen Verlauf Unterschiede zeigen.

### 2.2. Patientenkohorte

In der Studie wurden Patienten der Klinik für Thorax- und Herz-Gefäßchirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes eingeschlossen, welche unter stationären Bedingungen aufgrund von Klappenfehlfunktionen, koronarer Herzkrankheit oder angeborenen Herzfehlern operativ versorgt werden mussten.

Folgende Gruppen wurden verglichen:

-Komplette Sternotomie: 50 Patienten

-Partielle Sternotomie: 30 Patienten, bestehend aus 14 Patienten mit oberer und 16 Patienten mit unterer Sternotomie

Einschlußkriterien für die komplette Sternotomie waren:

- Klappenersatz und -rekonstruktion
- Bypass-Operationen
- Eingriffe an der Aorta
- Eingriffe am Vorhof
- Myektomie

Einschlußkriterien für die obere partielle Sternotomie waren:

- Aortenklappenrekonstruktion oder AKE

-Myektomie

-Thymektomie

Einschlußkriterien für die untere partielle Sternotomie waren:

-Klappenersatz und -rekonstruktion

-Eingriffe am Vorhof

Ausschlußkriterien für alle Gruppen waren:

-Notfallindikationen

-Endokarditis

-Teilnahme an einer anderen klinischen Prüfung

-Minderjährigkeit

-Einwilligungsunfähigkeit

-Mangelnde deutsche Sprachkenntnisse

Ausschlusskriterien für die partielle Sternotomie waren:

-Bypass-Operationen

-Eingriffe an der Aorta

### 2.3. Datenerhebung

Die präoperative und die zweite Untersuchung (6 Tage postoperativ) wurden auf Station durchgeführt; Der letzte Termin (1 Monat postoperativ) wurde im Rahmen der Routinekontrolluntersuchungen ambulant durchgeführt.

Die Erhebung aller perioperativen Daten erfolgte anhand des SAP (Datenbanksystem des Universitätsklinikums des Saarlandes, SAP Deutschland). Dabei berücksichtigt wurden die Art des Zugangs, die Operationsindikation, die Operationsdauer (in min), die kardiopulmonale Bypassdauer (in min), die Klemmzeit (in min), die Liegedauer auf Intensivstation (in Tage), der Krankenhausaufenthalt (in Tage), der Blutverlust (in ml), die Transfusionen, die Beatmungszeit (in h) sowie das Auftreten von Reintubationen, Reoperationen und postoperativen Komplikationen.

### 2.4. Operationen

Die komplette Sternotomie erfolgte durch einen medianen Schnitt vom Jugulum bis zum Xiphoid.

Die mediane Sternotomie wurde bei der oberen partiellen Sternotomie ausgehend vom Jugulum in den vierten Interkostalraum rechts fortgesetzt.

Bei der unteren partiellen Sternotomie verlief der Schnitt ausgehend vom Xiphoid in den ersten Interkostalraum links.

## 2.5. Follow-up Methodik

### 2.5.1. Schmerzmessung

Die Schmerzmessung erfolgte mittels der numerischen Rating-Skala bei jeder Untersuchung.

Die Patienten wurden aufgefordert, den aktuellen Schmerzgrad auf einer Skala von 0 bis 10 (0 entspricht kein Schmerz und 10 der schlimmste vorstellbare Schmerz) einzuschätzen.

### 2.5.2. Lungenfunktionstest

Anhand eines Spirometers wurden die FEV<sub>1</sub> und die FVC präoperativ, 6 Tage und 1 Monat postoperativ bestimmt.

Das benutzte Spirometer war „Spirobank II“ von MIR (Medical International Research). Folgende Informationen wurden aus der Bedienungsanleitung herausgenommen: Das Spirometer ist für eine Anwendung durch medizinisches Personal oder durch Patienten unter ärztlicher Aufsicht gedacht. Es ermöglicht die Durchführung von Spirometrie-Tests beim Erwachsenen. Dabei muss sich der Patient im Ruhezustand befinden, und eine komplette forcierte Ausatmung ausführen. Das Testergebnis ist davon abhängig, inwieweit der Patient das größtmögliche Luftvolumen einatmen kann und es schnellstmöglich komplett ausatmen kann. Die benutzte Einwegturbine muss nach der Untersuchung bei einem Patienten stets ausgewechselt werden. Spirobank II liefert beim FVC-Test Informationen zur Lungenfunktion, zum Ventilationsprofil, sowie zur Qualitätskontrolle und Reproduzierbarkeit der vom Patienten durchgeführten Spirometrie. Jeder Test kann wiederholt werden; Der beste Zyklus wird automatisch ermittelt. Der Test sollte im Stehen erfolgen und der Patient muss während der Ausatmungsphase den Oberkörper leicht nach vorne beugen, um mit den Bauchmuskeln das Ausströmen der Luft zu erleichtern. Der Patient muss zuerst langsam vollständig einatmen, dann kräftig ausatmen (über 6 Sekunden) und letztendlich kräftig einatmen. Für eine genaue Spirometrie muss die gesamte in der Lunge enthaltene Luft ausgeatmet werden.

### 2.5.3. Belastungskapazität durch Krafttests

Die Tests zur Belastungskapazität wurden bei jeder Untersuchung durchgeführt.

Für die Krafttests wurde ein 10 kg schweres Kurzhantel-Set, bestehend aus einer 2 kg schweren Stange, zwei Klemmenverschlüssen, vier 1 kg wiegende Scheiben und zwei 2 kg wiegende Scheiben, benutzt. Dieses Set ermöglichte die Einstellung mehrerer Gewichte und somit die genauere Einschätzung der Belastungskapazität im für den Patienten angepassten Schwierigkeitsgrad. Es wurden entweder die

Stange mit 2 kg auf jeder Seite (6 kg), die Stange mit 3 kg auf jeder Seite (8 kg) oder die Stange mit 4 kg auf jeder Seite (10 kg) benutzt.

Jede der unten abgezeichneten Übungen (eine Abduktions- und eine Adduktionsübung) wurde jeweils nur einmal pro Untersuchungstermin durchgeführt:

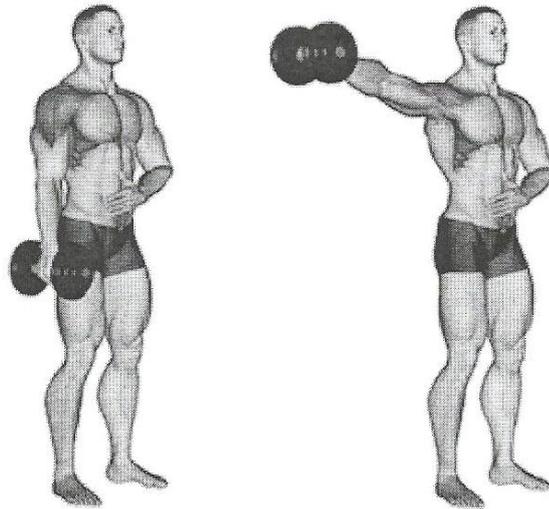


Abb. 4 Darstellung der Abduktionsübung: Im Stehen 90° Abduktion des gestreckten Armes mit Gewicht (Beteiligung des Musculus pectoralis major)

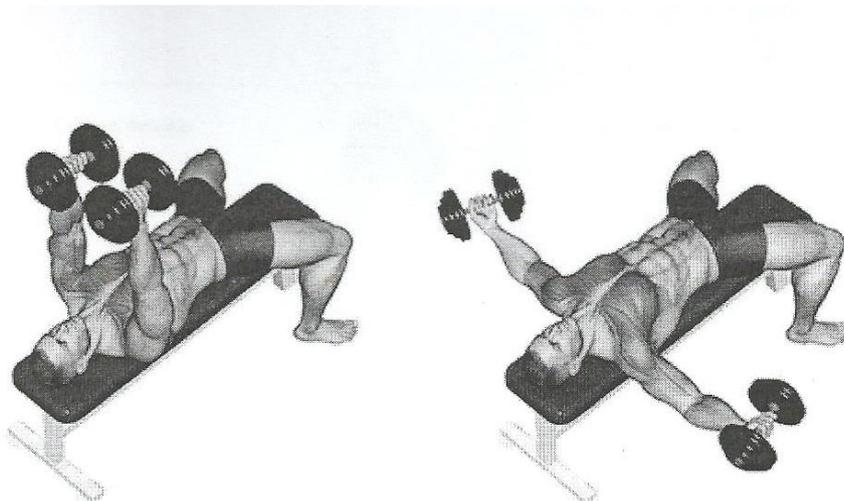


Abb. 5 Darstellung der Adduktionsübung: Im Liegen den gestreckten Arm mit Gewicht vor dem Brustkorb bis 90° Adduktion führen (Beiteiligung des Musculus deltoideus)

Das Gewicht, mit dem die Patienten die Übungen vollständig ausgeführt haben, wurde als maximales Gewicht aufgeschrieben. Wenn die Patienten 6 kg, 8 kg oder 10 kg heben konnten, wurde dies als Maximalgewicht in der Datenbank aufgenommen. Wenn die Patienten aber keine 6 kg heben konnten,

wurde die 10 kg schwere Hantel mit einem an einer Schlinge verankertem Federkraftmesser verbunden. Die Patienten haben das Gewicht durch Ziehen auf der Schlinge mit der stärkst möglichen Kraft gehoben, die dann auf den Federkraftmesser abgelesen und eingetragen wurde.

#### 2.5.4. Lebensqualität anhand des Fragebogens SF36

Die Lebensqualität wurde erst in der dritten Untersuchung anhand des Fragebogens SF36 erfasst. Sowohl die Gesamtergebnisse als auch die Gesamtpunktzahl in den jeweiligen acht Säulen wurden zusammengerechnet.

Die 36 Items des Fragebogens SF36 werden den folgenden Dimensionen zugeordnet:

- „Körperliche Funktionsfähigkeit“ (10 Items): Einschränkungen durch den Gesundheitszustand bei alltäglichen Tätigkeiten
  - „Körperliche Rollenfunktion“ (4 Items): Ausmaß, in dem der Gesundheitszustand die Arbeit oder andere tägliche Aktivitäten beeinträchtigt
  - „Körperliche Schmerzen“ (2 Items): Je ein Item zu Ausmaß von Schmerzen und zu schmerzbedingten Einschränkungen in Alltagsaktivitäten
  - „Allgemeine Gesundheitswahrnehmung“ (5 Items): Ein Item zur allgemeinen Einschätzung und vier Items zur Krankheitsanfälligkeit und Erwartungen zur Veränderung der eigenen Gesundheit
  - „Vitalität“ (4 Items): Häufigkeit des Erlebens von „Schwung“, Energie, Erschöpfung und Müdigkeit
  - „Soziale Funktionsfähigkeit“ (2 Items): Ausmaß, in dem die körperliche Gesundheit oder emotionale Probleme normale soziale Aktivitäten beeinträchtigen
  - „Emotionales Rollenverhalten“ (3 Items): Ausmaß, in dem emotionale Probleme die Arbeit oder andere tägliche Aktivitäten beeinträchtigen
  - „Psychisches Wohlbefinden“ (5 Items): Häufigkeit des Erlebens psychischer Beeinträchtigungen [13]
- Die Antworten, die durch die Patienten angegeben wurden, wurden als Score erfasst (zwischen 0 und 100); Je höher das Ergebnis, desto höher die Lebensqualität.

#### 2.5.5. Statistische Methodik

Zur Durchführung der statistischen Analysen wurde die Software IBM SPSS Statistics 25 (IBM, Armonk, USA) benutzt. Die Diagramme wurden anhand von SPSS und von Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) erstellt.

Zur Veranschaulichung der Geschlechtsverteilung, der Operationsindikationen und der postoperativen Komplikationen wurden Tabellen benutzt. Die Altersverteilung wurde anhand von Histogrammen dargestellt, das Fragebogen SF36 anhand von Balkendiagrammen. Liniendiagramme sind für den Schmerz, die Lungenfunktion und die Kraft eingesetzt worden, um die Entwicklung der drei Parameter über die Zeit zu verdeutlichen. Die Operationsdauer wurde durch Boxplots dargestellt, um den direkten

Vergleich beider Gruppen zu ermöglichen. Kreisdiagramme wurden für die Anzahl an postoperativen Komplikationen eingesetzt.

Der Einsatz von der deskriptiven Statistik sowie von den Häufigkeitstabellen ermöglichte die genauere Beschreibung der Abbildungen: Prozentwerte, Minima, Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen konnten angegeben werden. Dies erlaubte eine präzisere Analyse und Interpretation der Ergebnisse.

Zuletzt sind nicht-parametrische Tests durchgeführt worden. Je nach Art des Merkmals (qualitativ oder quantitativ), des Vorhandenseins einer Normalverteilung und des Vergleichs (verbunden oder unverbunden) müssen andere Tests vorgenommen werden. Da die analysierten Parameter in dieser Arbeit sich als nicht normalverteilt erwiesen haben und quantitativ sind, wurde ausschließlich der Mann-Whitney-U-Test angewandt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Übersicht der Kohorte

Die Gruppe der kompletten Sternotomie bestand aus 50 Patienten, davon waren 34 Männer (68 %) und 16 Frauen (32 %).

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	männlich	34	68,0	68,0	68,0
	weiblich	16	32,0	32,0	100,0
	Gesamt	50	100,0	100,0	

Tab.1 Geschlechtsverteilung in der Gruppe der kompletten Sternotomie

Dreißig Patienten wurden durch eine partielle Sternotomie operiert. Der Anteil an Frauen betrug 10 % (n=3) und 90 % (n=27) waren Männer.

Aus dieser Gruppe wurden je nach Zugangsweg zwei weiteren Gruppen gebildet. Einerseits bestand die Gruppe der oberen Sternotomie aus 14 Patienten (12 Männer, entsprechend 86 % der Gruppe, und zwei Frauen). Andererseits wurden 15 Männer (94 % der Gruppe) und eine Frau durch eine untere Sternotomie operiert.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	männlich	27	90,0	90,0	90,0
	weiblich	3	10,0	10,0	100,0
	Gesamt	30	100,0	100,0	

Tab.2 Geschlechtsverteilung in der Gruppe der partiellen Sternotomie

Das Durchschnittsalter der Patienten mit einer kompletten Sternotomie betrug  $64 \pm 11$  Jahre (41 bis 82 Jahre).

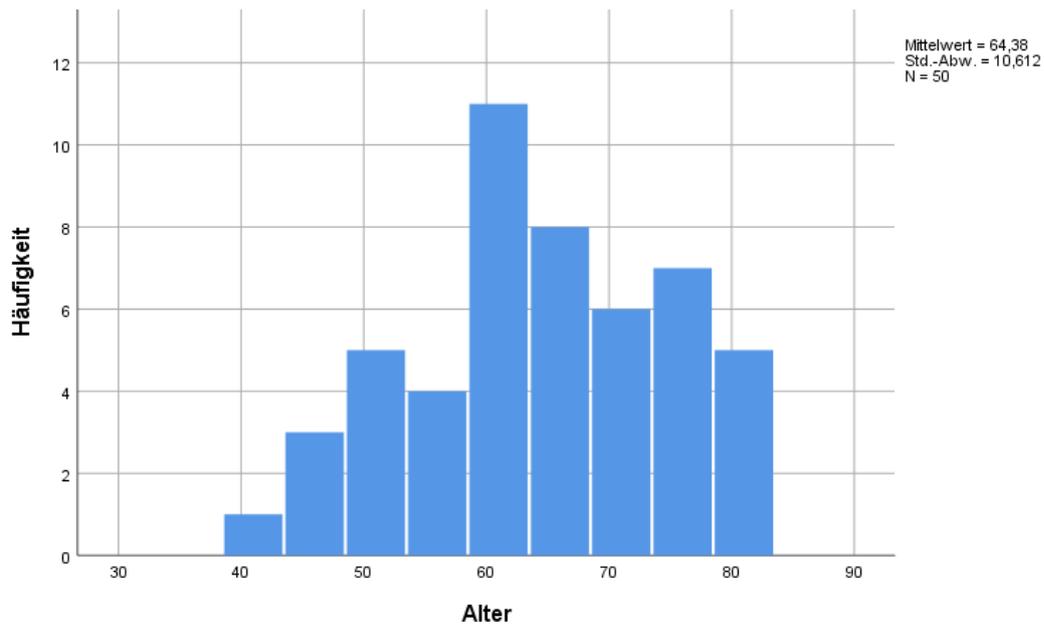


Abb.6 Histogramm der Altersverteilung in der Gruppe der kompletten Sternotomie

Bei den Patienten mit einer partiellen Sternotomie war das Durchschnittsalter  $56 \pm 14$  Jahre (19 bis 78 Jahre).

Das Durchschnittsalter der Patienten mit oberer Sternotomie war  $63 \pm 9$  Jahre (47 bis 78 Jahre), mit unterer Sternotomie  $50 \pm 14$  Jahre (19 bis 62 Jahre).

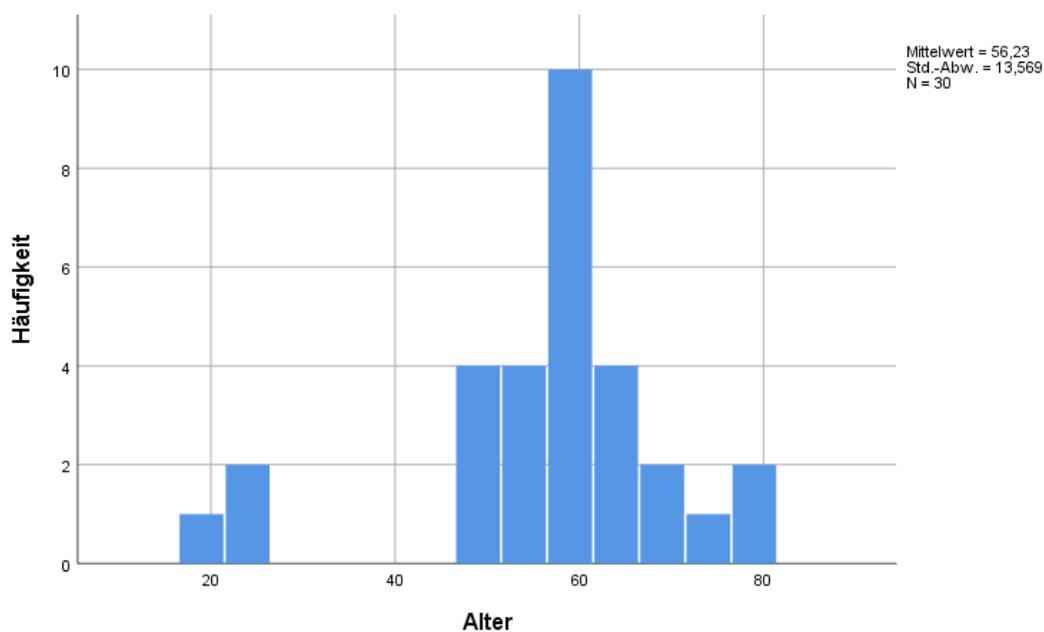


Abb.7 Histogramm der Altersverteilung in der Gruppe der partiellen Sternotomie

Die häufigste Operationsindikation (n=27) in der Gruppe mit kompletter Sternotomie war die koronare Herzkrankheit (KHK), gefolgt von dem Aneurysma der Aorta ascendens (n=14), der Aortenklappenstenose (AS) mit 13 Fällen und der Aortenklappeninsuffizienz (AI) mit 11 Fällen.

Operationsindikationen in der Gruppe mit kompletter Sternotomie	Häufigkeit
KHK	27
Aneurysma der Aorta ascendens	14
AS	13
AI	11
Mitralklappeninsuffizienz	7
Trikuspidalklappeninsuffizienz	7
VHF	5
Aneurysma der Aortenwurzel	4
Septale Hypertrophie	2
Kombiniertes Aortenklappenitium	2
Dilatierte proximale Aorta	1
Arteriitis	1
Mitralklappenprolaps	1
Ischämische Kardiomyopathie	1
Kombiniertes Mitralklappenitium	1
Chronische Aortendissektion	1
Thorako-abdominelles Aneurysma	1
Verkalkung der Aorta ascendens	1

Tab.3 Operationsindikationen und deren Häufigkeit in der Gruppe mit kompletter Sternotomie

In der Gruppe mit partieller Sternotomie war die AS die häufigste Operationsindikation (n=14), gefolgt von der AI (n=9).

Bei den Patienten mit oberer Sternotomie wurde die AS (n=12) und die septale Hypertrophie (n=2) am häufigsten operiert. In der Gruppe mit unterer Sternotomie war die AI mit acht Patienten die häufigste Diagnose, gefolgt von der Mitralklappeninsuffizienz mit sieben Patienten.

Operationsindikationen in der Gruppe mit partieller Sternotomie	Häufigkeit in der Gruppe mit oberer Sternotomie	Häufigkeit in der Gruppe mit unterer Sternotomie	Gesamte Häufigkeit
AS	12	2	14
AI	1	8	9
Mitralklappeninsuffizienz	0	7	7
Trikuspidalklappeninsuffizienz	0	4	4
VHF	0	2	2
Septale Hypertrophie	2	0	2
Mediastinale Raumforderung	1	0	1
AV-Block 1. Grades	0	1	1
Mitralklappenprolaps	0	1	1

Tab.4 Operationsindikationen und deren Häufigkeit in der Gruppe mit partieller Sternotomie

### 3.2. Schmerz

Der Durchschnittswert der Schmerzen (Abb.8) in der Gruppe mit kompletter Sternotomie war vor der Operation 0,2 (0 entsprechend der Schmerzfreiheit). Sechs Tage nach der Operation ist der Wert auf 2,3 gestiegen. Die Maximalschmerzangabe an diesem Zeitpunkt war 8. Ein Monat nach der Operation ist der Durchschnittswert auf 2,2 gesunken.

Der Mittelwert der Schmerzen bei den Patienten mit partieller Sternotomie erreichte vor der Operation 0,2. Postoperativ ist der Wert auf 1,9 gestiegen. Die Maximalschmerzangabe 6 Tage postoperativ wurde mit 7 angegeben. Ein Monat nach der Operation war der Mittelwert 2,1.

Die Werte für den Schmerz zeigten in keiner der drei Untersuchungen signifikante Unterschiede.

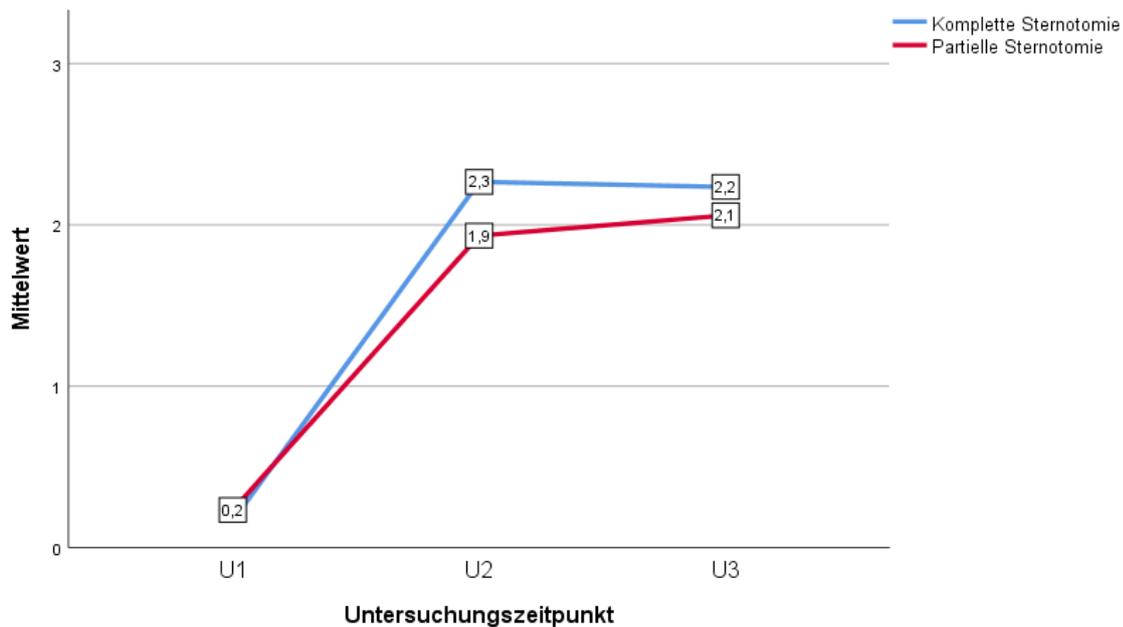


Abb.8 Liniendiagramm mit Darstellung der Schmerzentwicklung im Laufe der drei Untersuchungen:  
Vergleich komplette und partielle Sternotomie

Der Durchschnitt der Schmerzen (Abb.9) bei den Patienten mit oberer Sternotomie war vor der Operation 0,4 (0 entsprechend Schmerzfreiheit). Sechs Tage nach der Operation ist der Wert auf 2,1 gestiegen. Die Maximalschmerzangabe an diesem Zeitpunkt war 7. Ein Monat nach der Operation ist der Durchschnittswert bei 2,1 geblieben.

In der Gruppe mit unterer Sternotomie war der Mittelwert der Schmerzen präoperativ 0,1. Postoperativ ist der Wert auf 1,8 gestiegen. Die Maximalschmerzangabe 6 Tage postoperativ wurde ebenfalls mit 7 angegeben. Ein Monat nach der Operation ist der Mittelwert 1,5 gesunken.

Die Werte für den Schmerz zeigten in keiner der drei Untersuchungen signifikante Unterschiede.

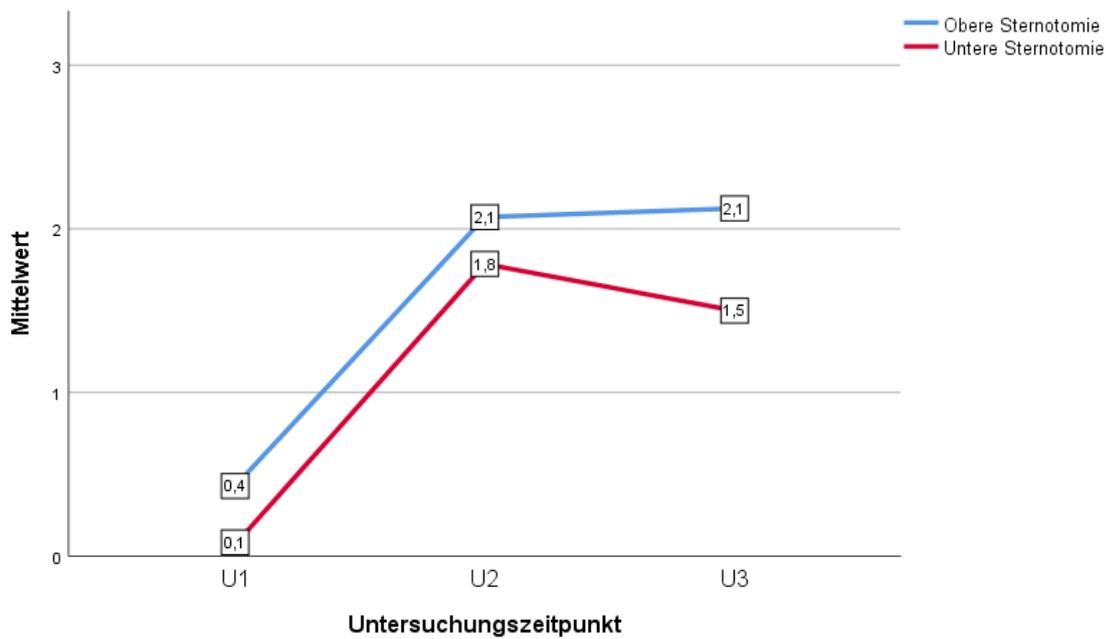


Abb.9 Liniendiagramm mit Darstellung der Schmerzentwicklung im Laufe der drei Untersuchungen:  
Vergleich obere und untere Sternotomie

### 3.3. Lungenfunktion

Der Durchschnittswert von der FVC (Abb.10) betrug in der Gruppe mit kompletter Sternotomie präoperativ 3,22 l, 6 Tage postoperativ 2,05 l und 1 Monat postoperativ 2,81 l. Die Verschlechterung vom ersten bis zum dritten Untersuchungszeitpunkt entspricht somit 12,73 %.

Der Mittelwert von der FVC in der Gruppe mit partieller Sternotomie war präoperativ 3,65 l, 6 Tage postoperativ 2,11 l und 1 Monat postoperativ 2,86 l. Die Abwärtsentwicklung vom ersten bis zum dritten Untersuchungszeitpunkt entspricht somit 21,64 %.

Nur die Werte bei der ersten Untersuchung zeigten im Mann-Whitney-U-Test einen signifikanten Unterschied mit einem Wert von  $p=0,043$ .

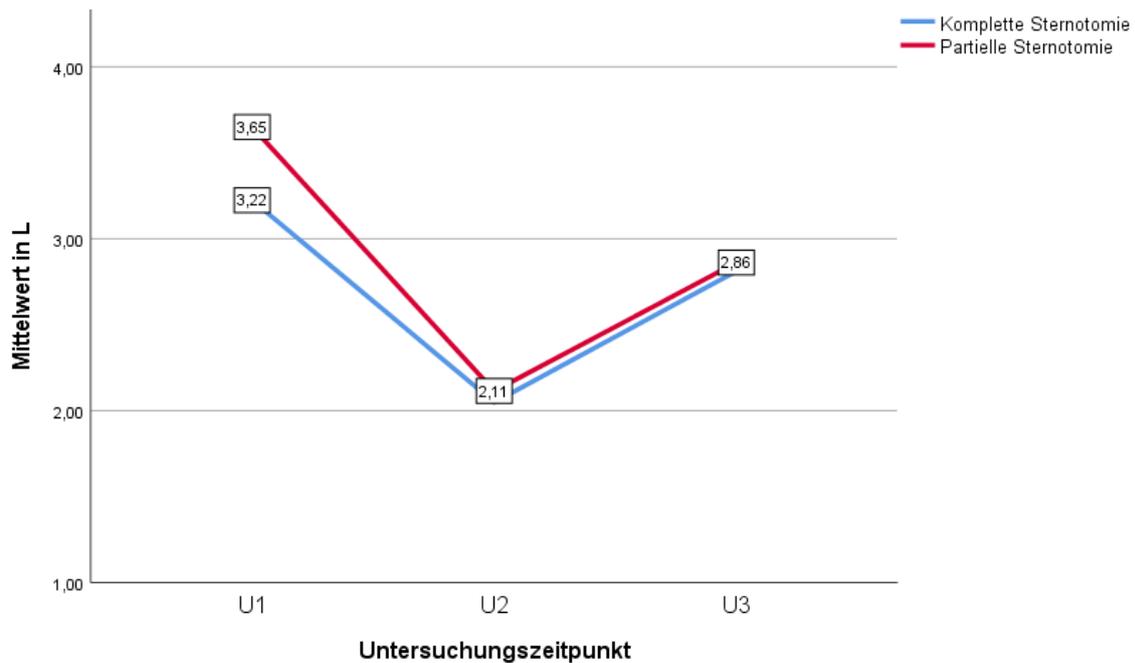


Abb.10 Multiples Liniendiagramm mit Darstellung der Entwicklung von der FVC im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

Bei der  $FEV_1$  war der Durchschnittswert (Abb.11) in der Gruppe mit kompletter Sternotomie präoperativ 2,53 l, beim zweiten Untersuchungszeitpunkt 1,73 l und bei dritten 2,38 l. Dies entspricht 5,93 % Verschlechterung zwischen dem präoperativen und dem zweiten postoperativen Wert.

Der Durchschnittswert von der  $FEV_1$  in der Gruppe mit partieller Sternotomie betrug vor der Operation 3,11 l, beim zweiten Untersuchungszeitpunkt 1,86 l und beim dritten 2,35 l. Die prozentuale Verschlechterung zwischen dem präoperativen und dem zweiten postoperativen Wert beträgt 24,44 %. Dieser Lungenfunktionstest zeigte ebenfalls einen signifikanten Unterschied bei der ersten Untersuchung mit einem Wert von  $p=0,002$ . Die postoperativen Werte zeigten jedoch keine signifikante Unterschiede.

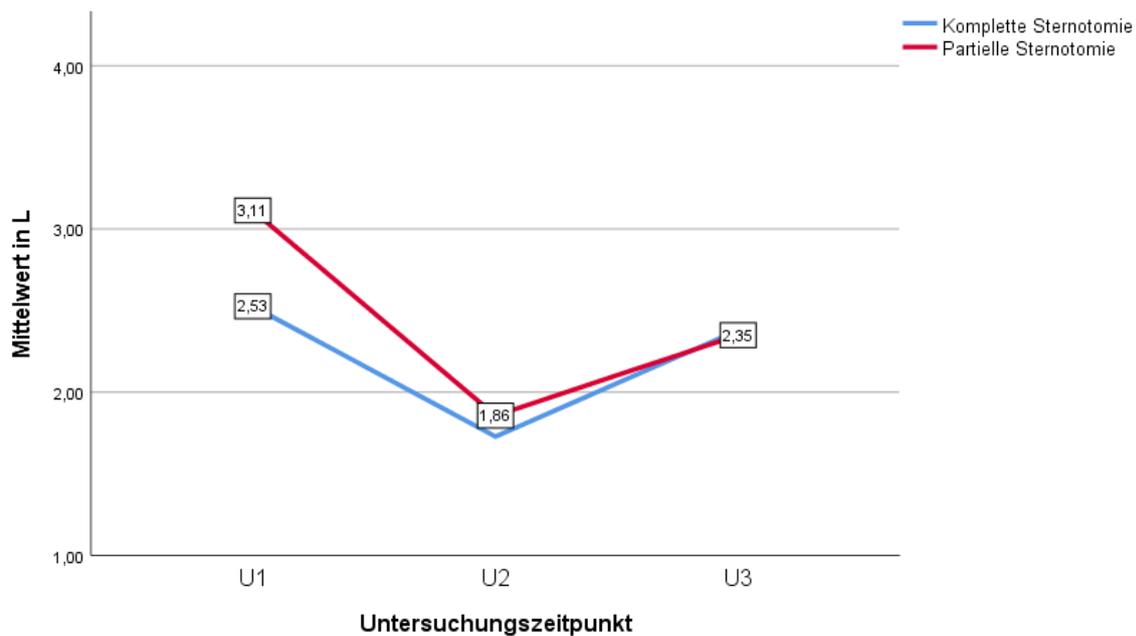


Abb.11 Multiples Liniendiagramm mit Darstellung der Entwicklung von der FEV<sub>1</sub> im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

Der Durchschnittswert von der FVC (Abb.12) betrug in der Gruppe mit oberer Sternotomie vor der Operation 3,25 l, 6 Tage danach 1,81 l und 1 Monat postoperativ 2,72 l. Die Verschlechterung vom ersten zum dritten Untersuchungszeitpunkt entspricht somit 16,31 %.

Der Mittelwert von der FVC in der Gruppe mit unterer Sternotomie war präoperativ 3,80 l, 6 Tage postoperativ 2,11 l und 1 Monat postoperativ 3,96 l. Die Aufwärtsentwicklung der FVC vom ersten zum dritten Untersuchungszeitpunkt entspricht somit 4,21 %.

Die Werte bei der dritten Untersuchung zeigten einen signifikanten Unterschied mit einem Wert von  $p=0,007$ . Bei den zwei ersten Untersuchungen konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden.

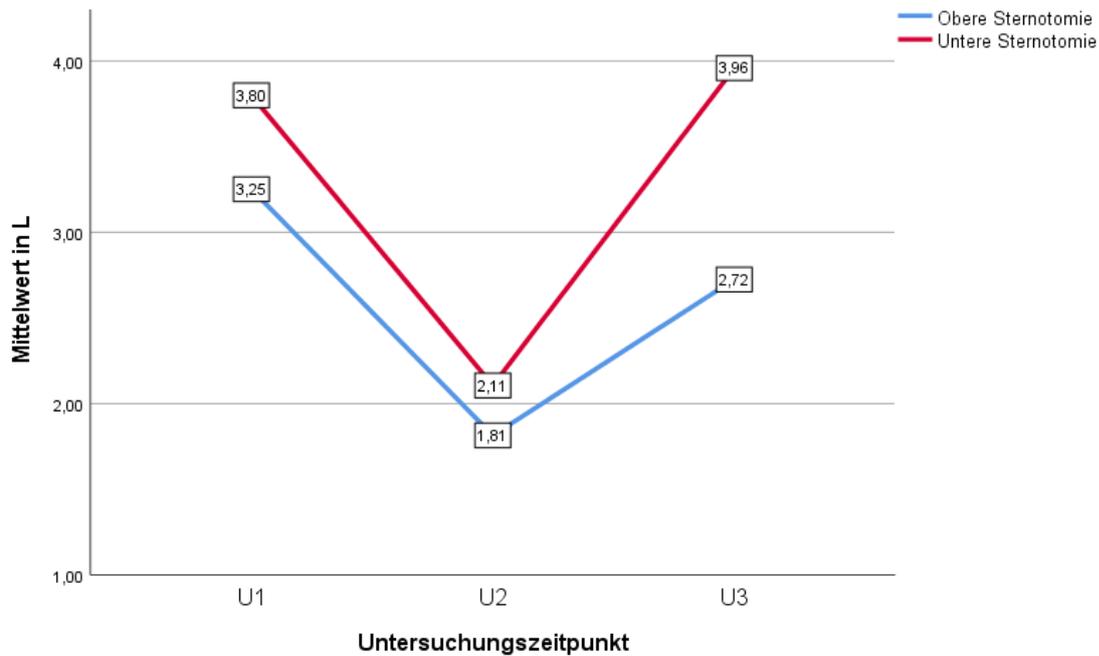


Abb.12 Multiples Liniendiagramm mit Darstellung der Entwicklung von der FVC im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich obere und untere Sternotomie

Der Mittelwert der FEV<sub>1</sub> (Abb.13) lag in der Gruppe mit oberer Sternotomie präoperativ bei 2,74 l, beim zweiten Untersuchungstermin bei 1,58 l und beim dritten bei 2,24 l. Dies entspricht 18,25 % Verschlechterung zwischen dem präoperativen und dem zweiten postoperativen Wert.

Der Durchschnittswert von der FEV<sub>1</sub> in der Gruppe mit unterer Sternotomie betrug präoperativ 3,33 l, beim zweiten Untersuchungszeitpunkt 1,94 l und beim dritten 3,12 l. Die prozentuale Verschlechterung zwischen dem präoperativen und dem zweiten postoperativen Wert beträgt für die FEV<sub>1</sub> 6,31 %.

Dieser Lungenfunktionstest zeigte signifikante Unterschiede bei allen Untersuchungen. Bei der ersten Untersuchung erreichte der Signifikanzwert  $p=0,031$ , bei der zweiten  $p=0,038$  und bei der dritten  $p=0,003$ .

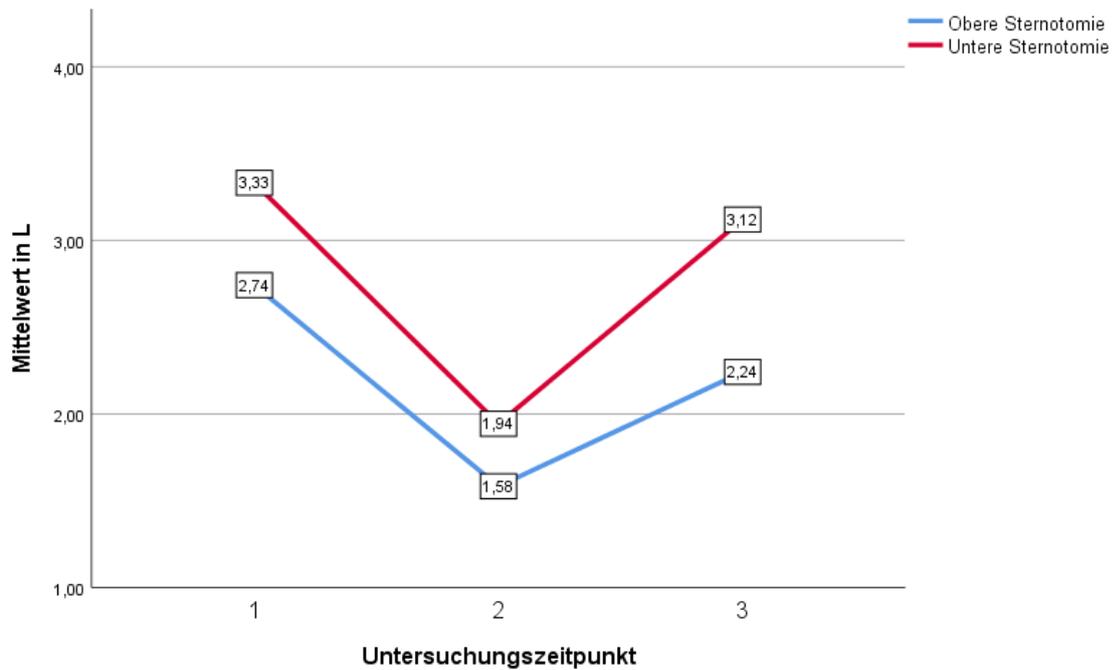


Abb.13 Multiples Liniendiagramm mit Darstellung der Entwicklung von der FEV<sub>1</sub> im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich obere und untere Sternotomie

### 3.4. Kraft

Der Durchschnittswert des gehobenen Gewichts bei der Abduktion (Abb.14) in der Gruppe mit kompletter Sternotomie betrug präoperativ 7,7 kg, bei der ersten postoperativen Untersuchung 5,8 kg und bei der letzten Untersuchung 1 Monat postoperativ 6,1 kg. Dementsprechend kann von der ersten zur dritten Untersuchung einen Verlust beim Gewichtheben von 20,78 % festgestellt werden.

Der Durchschnittswert bei der Abduktion in der Gruppe mit partieller Sternotomie bei der ersten Untersuchung war 8,9 kg, bei der zweiten 5,9 kg und bei der dritten Untersuchung 1 Monat postoperativ 7,3 kg. Der Verlust beim Gewichtheben beträgt 17,98 %.

Die erreichten Gewichte bei der Abduktionsübung zeigten im Mann-Whitney-U-Test signifikante Unterschiede: Bei der ersten Untersuchung erreichte die Signifikanz  $p=0,011$  und bei der dritten  $p=0,048$ . Dagegen waren die Werte 6 Tage postoperativ nicht signifikant unterschiedlich.

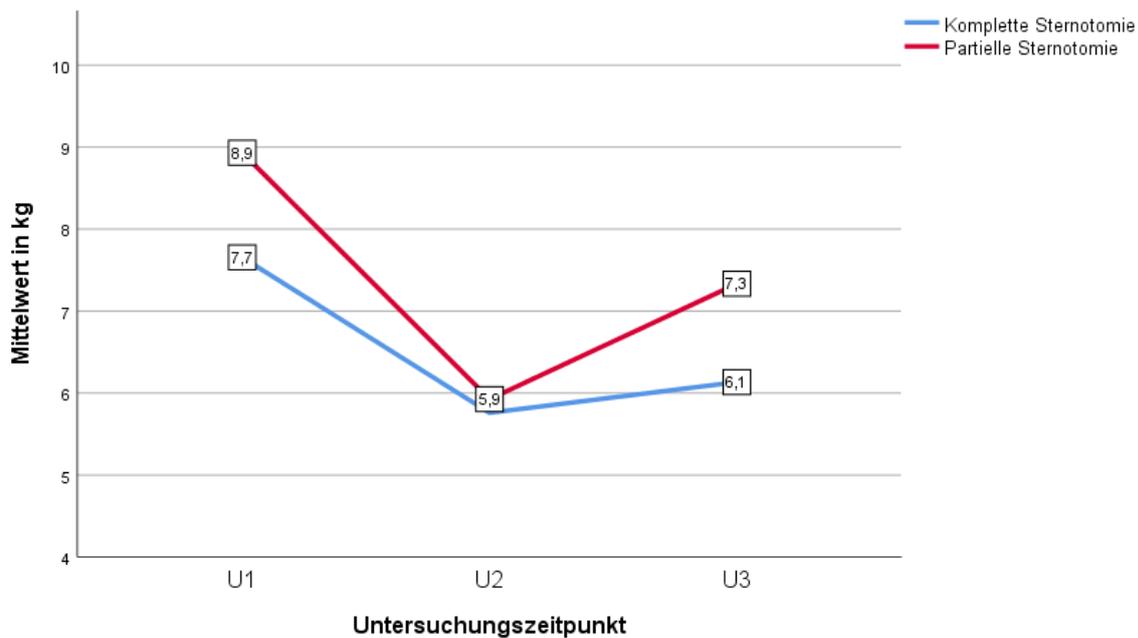


Abb.14 Multiples Liniendiagramm mit Darstellung des gehobenen Gewichts bei der Abduktionsübung im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

Für die Adduktionsübung (Abb.15) erreichten die Patienten in der Gruppe mit kompletter Sternotomie bei der ersten Untersuchung 7,2 kg, bei der zweiten 5,1 kg und bei der dritten 5,7 kg.

In der Gruppe mit partieller Sternotomie hingegen wurde präoperativ einen Durchschnittswert von 8,9 kg, 6 Tage danach 5,4 kg und 1 Monat nach der Operation 7,0 kg erreicht. Der Verlust beim Gewichtheben von der ersten zur dritten Untersuchung entspricht in der Gruppe mit kompletter Sternotomie 20,83 % und in der Gruppe mit partieller Sternotomie 21,37 %.

Bei diesem Test zeigte sich präoperativ ein signifikanter Unterschied von  $p=0,001$ . Postoperativ konnten zwischen beiden Gruppen keine signifikante Unterschiede festgestellt werden.

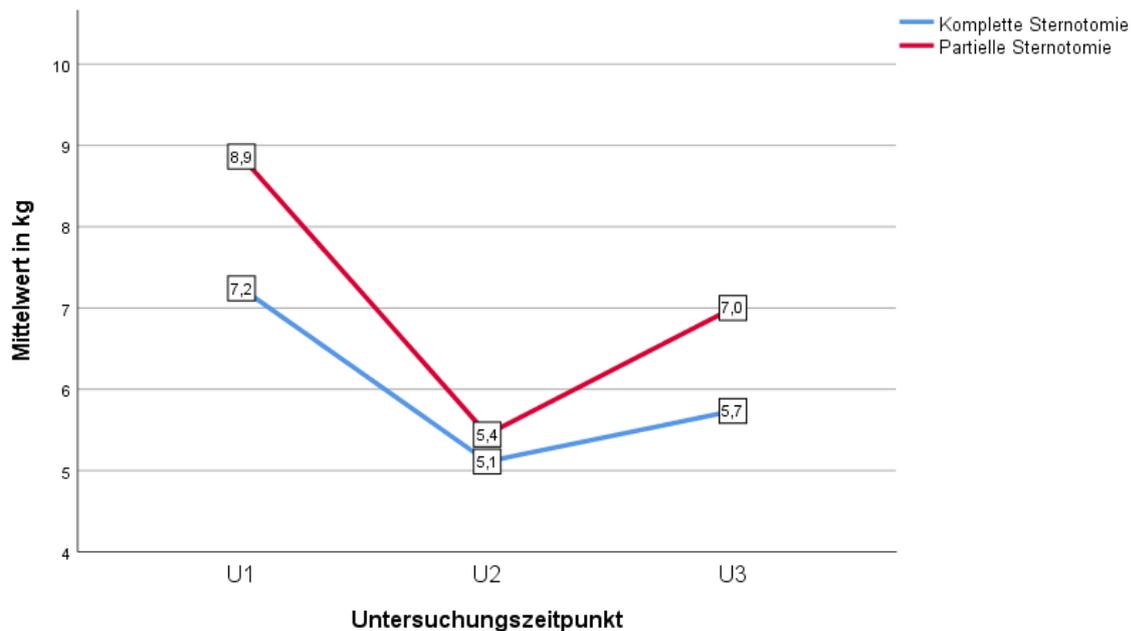


Abb.15 Multiples Liniendiagramm mit Darstellung des gehobenen Gewichts bei der Adduktionsübung im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

Der Durchschnittswert des gehobenen Gewichts bei der Abduktionsübung (Abb.16) in der Gruppe mit oberer Sternotomie betrug bei der präoperativen Untersuchung 8,2 kg, bei der ersten postoperativen Untersuchung 5,7 kg und bei der dritten Untersuchung 6,5 kg. Dementsprechend kann von der ersten zur dritten Untersuchung einen Verlust beim Gewichtheben von 20,73 % festgestellt werden.

Der Durchschnittswert des Gewichts bei der Abduktion in der Gruppe mit unterer Sternotomie bei der ersten Untersuchung war 9,4 kg, bei der zweiten 6,3 kg und bei der dritten Untersuchung 1 Monat postoperativ 8,3 kg. Der Verlust beim Gewichtheben ist in Höhe von 11,7 %.

Die erreichten Werte bei der Abduktionsübung zeigten signifikante Unterschiede: Bei der ersten Untersuchung erreichte die Signifikanz  $p=0,031$  und bei der letzten  $p=0,023$ . Dagegen waren die Werte 6 Tage postoperativ nicht signifikant unterschiedlich.

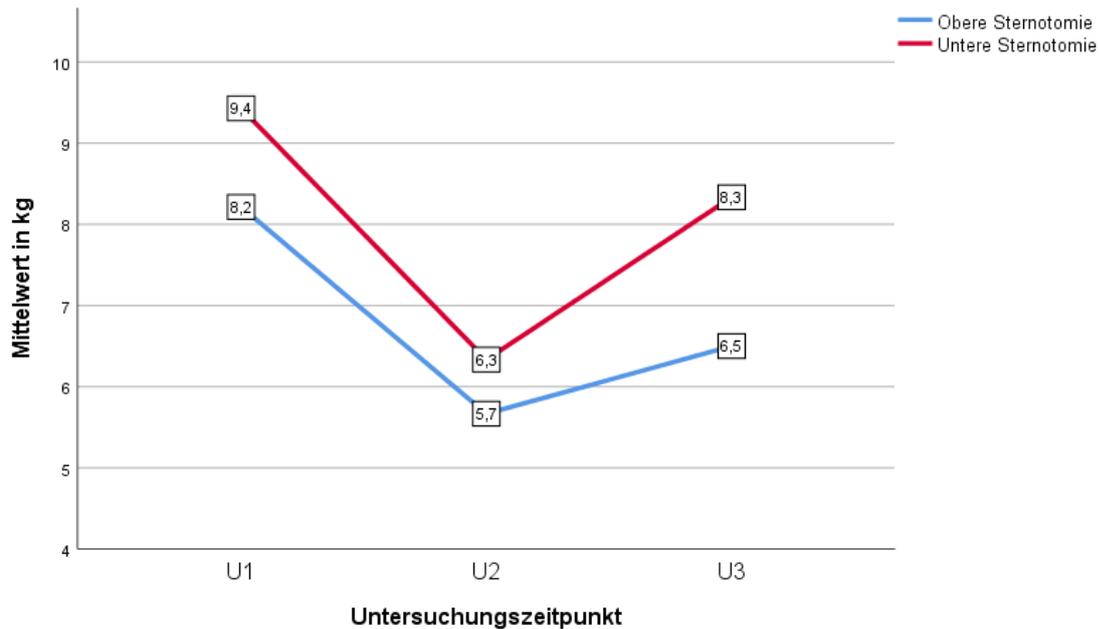


Abb.16 Multiples Liniendiagramm mit Darstellung des gehobenen Gewichts bei der Abduktionsübung im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich obere und untere Sternotomie

Bei dem Adduktionstest (Abb.17) haben die Patienten in der Gruppe mit oberer Sternotomie bei der ersten Untersuchung 8,1 kg gehoben, bei der zweiten 5,3 kg und bei der dritten 6,2 kg.

In der Gruppe mit unterer Sternotomie hingegen wurde präoperativ ein Durchschnittswert von 9,4 kg, 6 Tage danach 5,8 kg und 1 Monat nach der Operation 8,2 kg erreicht. Der Verlust beim Gewichtheben von der ersten zur dritten Untersuchung entspricht in der Gruppe mit oberer Sternotomie 23,46 % und in der Gruppe mit unterer 12,77 %.

Genauso wie bei dem Abduktionstest zeigten die Werte bei der Adduktionsübung signifikante Unterschiede bei der ersten und der letzten Untersuchung von jeweils  $p=0,013$  und  $p=0,012$ . Bei der zweiten Untersuchung wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt.

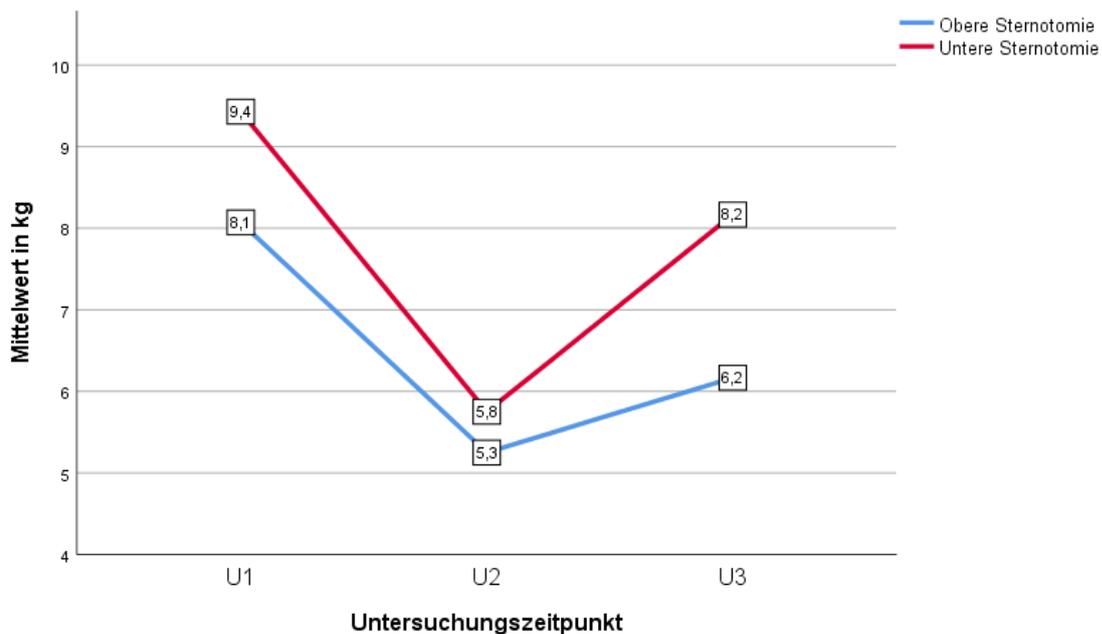


Abb.17 Multiples Liniendiagramm mit Darstellung des gehobenen Gewichts bei der Adduktionsübung im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich obere und untere Sternotomie

### 3.5. Lebensqualität

Für die Patienten mit kompletter Sternotomie gilt: Der Gesamtscore der körperlichen Summenskala betrug im Schnitt 36,4 bei einem maximal zu erreichendem Score von 100. Die psychische Summenskala erreichte ein besseres Ergebnis mit 49,6. Der höchste erreichte Durchschnittswert innerhalb der acht Skalen war 81 und entspricht der sozialen Funktionsfähigkeit. Darauffolgend kam das psychische Wohlbefinden mit einem Wert von 73 und die allgemeine Gesundheitswahrnehmung mit 62 Punkte. Die Skalen der körperlichen Schmerzen, der Funktionsfähigkeit, der emotionalen Rollenfunktion und der Vitalität erreichten mittlere Werte. Der kleinste Score hatte die körperliche Rollenfunktion mit 21.

Für die Patienten mit partieller Sternotomie gilt: Die körperliche Summenskala erreichte einen Mittelwert von 36,6 von 100. Dagegen erreichte die psychische Summenskala einen Mittelwert von 50,2. Der höchste erreichte Durchschnittswert innerhalb der acht Skalen war 85 und entspricht der sozialen Funktionsfähigkeit. Darauffolgend kam das psychische Wohlbefinden mit einem Wert von 75 und die allgemeine Gesundheitswahrnehmung mit 68 Punkte. Die körperliche Funktionsfähigkeit, die Vitalität, die emotionale Rollenfunktion und die körperliche Schmerzen erreichten mittlere Werte. Der kleinste Score erreichte die körperliche Rollenfunktion mit 21.

Die Werte der Summenskalen des Fragebogens SF36 zeigten keine signifikante Unterschiede.

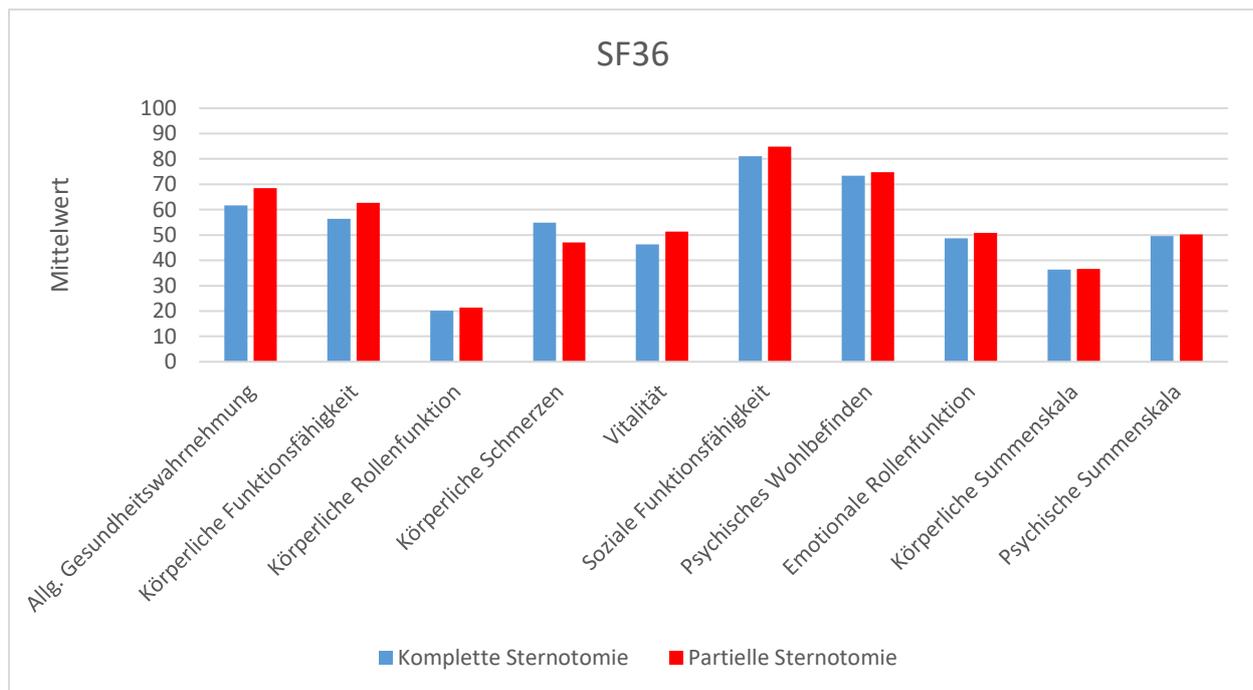


Abb.18 Multiples Balkendiagramm des Fragebogens SF36 zur Lebensqualität: Vergleich komplette und partielle

Für die Patienten mit oberer Sternotomie gilt: Der Gesamtscore der körperlichen Summenskala betrug im Schnitt 33,5 von 100, die psychische Summenskala erreichte ein besseres Ergebnis mit 51,2. Der höchste Wert innerhalb der acht Skalen betrug 81 und steht für die soziale Funktionsfähigkeit. Folgend kam das psychische Wohlbefinden mit einem Wert von 77 und die allgemeine Gesundheitswahrnehmung mit 67 Punkte. Die Skalen der körperlichen Funktionsfähigkeit, der Vitalität, der emotionalen Rollenfunktion und der körperlichen Schmerzen erreichten mittlere Scores. Die körperliche Rollenfunktion hat mit 20 den niedrigsten Wert.

Für die Patienten mit unterer Sternotomie gilt: Die körperliche Summenskala erreichte einen Mittelwert von 39,4 von 100. Dagegen erreichte die psychische Summenskala einen Mittelwert von 49,3. Der höchste erreichte Durchschnittswert innerhalb der acht Skalen war 89 und entspricht der sozialen Funktionsfähigkeit. Darauffolgend war das psychische Wohlbefinden mit einem Wert von 73 und die allgemeine Gesundheitswahrnehmung mit 70 Punkte. Körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Schmerzen, emotionale Rollenfunktion und Vitalität erreichten mittlere Werte. Der kleinste Wert erreichte die körperliche Rollenfunktion mit 23.

Für die körperliche Summenskala konnte ein signifikanter Unterschied mit einem Wert von  $p=0,043$  festgestellt werden. Die psychische Summenskala zeigte dagegen keinen signifikanten Unterschied.

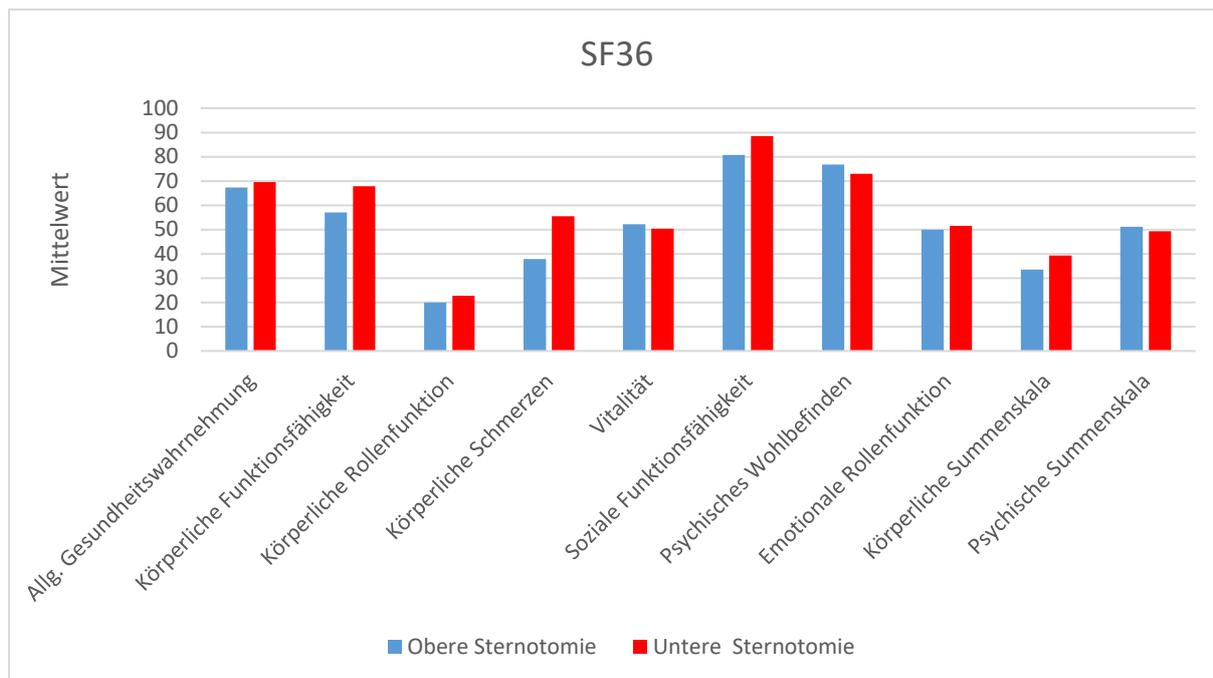


Abb.19 Multiples Balkendiagramm des Fragebogens SF36 zur Lebensqualität: Vergleich obere und untere Sternotomie

### 3.6. Perioperative Daten

#### 3.6.1. Operationsdauer

Die Operationsdauer in der Gruppe mit kompletter Sternotomie betrug durchschnittlich 168 min, entsprechend 2 h und 47 min. Die längste Operation dauerte 5 h und 44 min und die kürzeste 1 h und 17 min. In der Gruppe mit partieller Sternotomie betrug die Operationsdauer im Schnitt 124 min (entsprechend 2 h und 4 min). Die längste Operation dauerte 3 h und 19 min und die kürzeste 60 min. Für die Operationsdauer konnte im Mann-Whitney-U-Test ein signifikanter Unterschied zwischen kompletter und partieller Sternotomie nachgewiesen werden. Die Signifikanz betrug  $p < 0,001$ .

Im Durchschnitt betrug die Operationsdauer in der Gruppe mit oberer Sternotomie 119 min (entsprechend 1 h und 59 min), wobei die längste Operation 2 h und 39 min und die kürzeste 60 min dauerte. In der Gruppe mit unterer Sternotomie betrug die Operationsdauer im Schnitt 127 min (entsprechend 2 h und 7 min). Die längste Operation dauerte 3 h und 9 min und die kürzeste 1 h und 34 min. Für die Operationsdauer der Patienten mit oberer und unterer Sternotomie konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Der AKE wurde durch eine komplette und durch eine partielle Sternotomie operiert. Der Ersatz der Klappe durch eine komplette Sternotomie dauerte ca. 120 min, während er durch eine partielle Sternotomie 124 min dauerte. Es konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

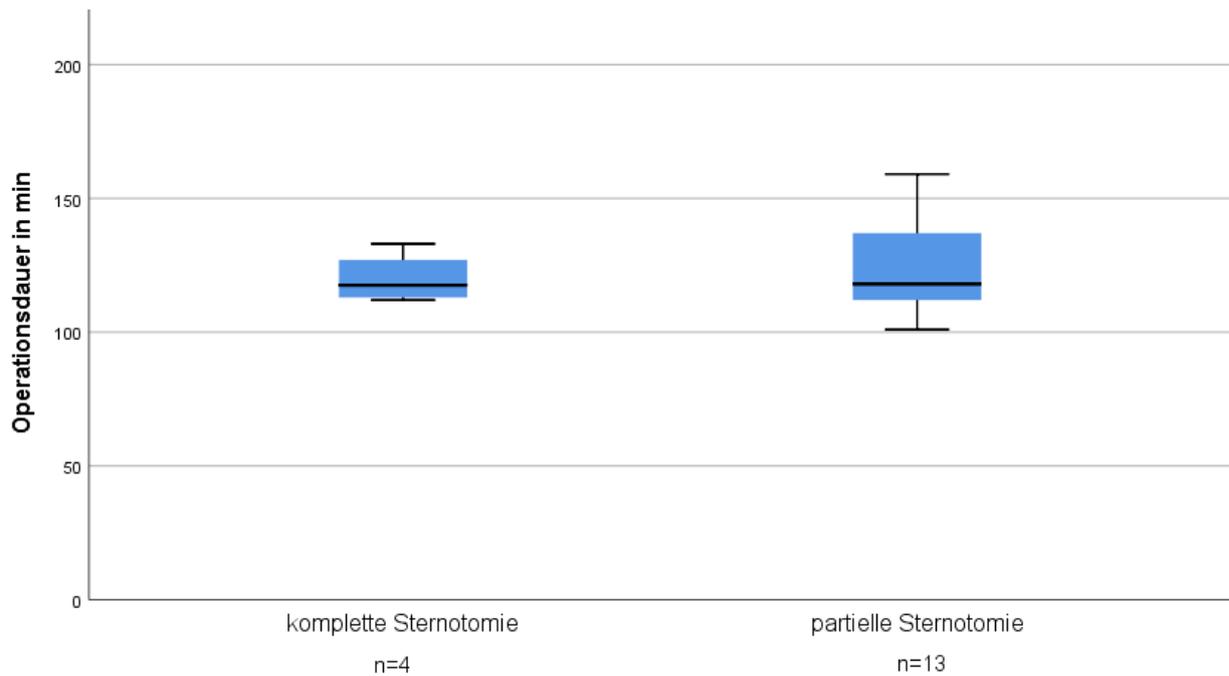


Abb.20 Boxplot mit Darstellung der Operationsdauer für einen AKE

Die Mitralklappenrekonstruktion (MKR) und die Trikuspidalklappenrekonstruktion (TKR) wurden ebenfalls gemeinsam durch eine komplette und durch eine partielle Sternotomie operiert. Der Mittelwert der Operationsdauer durch eine komplette Sternotomie betrug 139 min, durch eine partielle 130 min. Die Werte zeigten keinen signifikanten Unterschied.

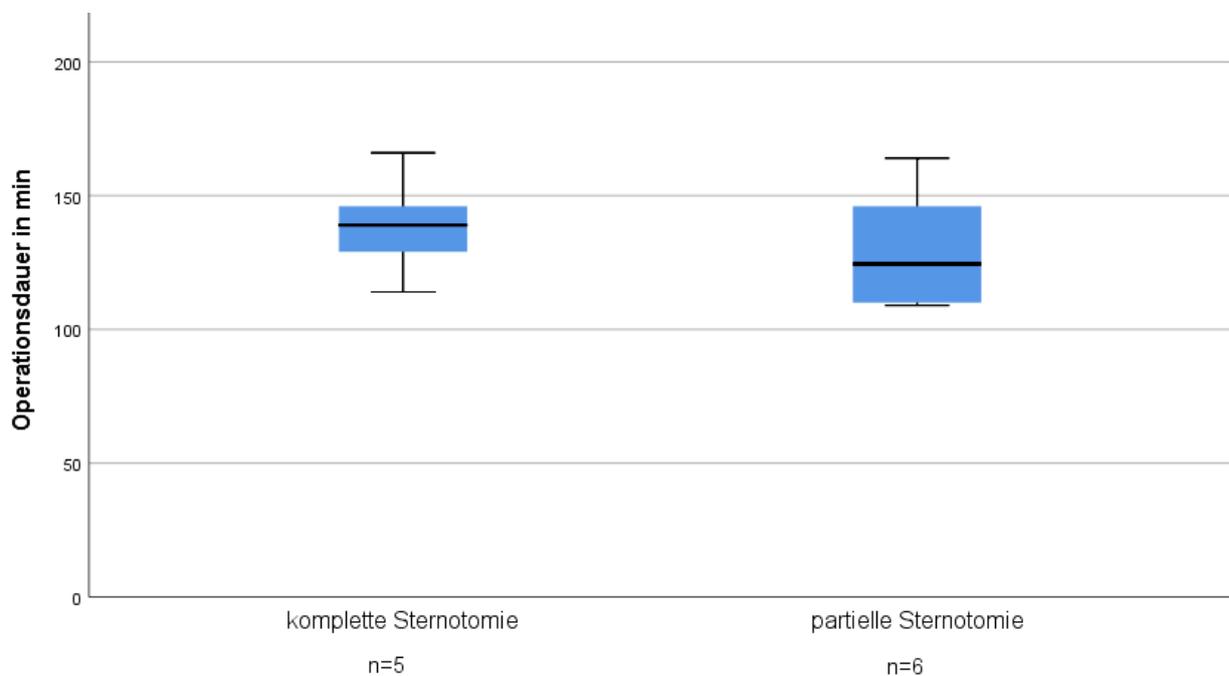


Abb.21 Boxplot mit Darstellung der Operationsdauer für eine MKR und TKR

### 3.6.2. Kardiopulmonale Bypassdauer und Klemmzeit

Der kardiopulmonale Bypass dauerte bei den Patienten mit kompletter Sternotomie im Schnitt 76 min, mit einem Minimum von 30 min und einem Maximum von 3 h und 33 min; In der Gruppe mit partieller Sternotomie 63 min (von 44 min bis 98 min). Es konnte dabei kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Bei den Operationen durch eine obere Sternotomie war die kardiopulmonale Bypassdauer im Durchschnitt 64 min, die kürzeste betrug 44 min und die längste 92 min. Bei den Patienten mit unterer Sternotomie konnten wir eine durchschnittliche Dauer von 61 min (von 44 min bis 98 min) beobachten. Ein signifikanter Unterschied konnte nicht beobachtet werden.

Die Klemmzeit betrug in der Gruppe mit kompletter Sternotomie im Schnitt 50 min (von 18 min bis 1 h und 53 min), in der Gruppe mit partieller Sternotomie 46 min, mit einem Minimum von 26 min und einem Maximum von 72 min. Ein signifikanter Unterschied konnten wir hier nicht beobachten.

Die Klemmzeit betrug bei den Patienten mit oberer Sternotomie ca. 49 min (von 35 min bis 68 min), bei den Patienten mit unterer Sternotomie 44 min (von 26 min bis 72 min). Die Werte waren zwischen beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich.

### 3.6.3. Liegedauer auf Intensivstation

Die Patienten mit kompletter Sternotomie blieben im Schnitt 2 Tage auf Intensivstation, wobei zu beachten ist, dass das Maximum komplikationsbedingt sehr hoch war. 72 % der Patienten lagen nur 1 Tag auf Intensivstation, 26 % der Patienten verbrachten zwischen 2 und 7 Tage auf der Intensivstation und nur 2 % der Patienten (n=1) mussten 25 Tage unter direkter Beaufsichtigung bleiben. In der Gruppe mit partieller Sternotomie haben die Patienten durchschnittlich 1 Tag auf der Intensivstation verbracht. 97 % der Patienten sind nur 1 Tag auf Intensivstation geblieben. Nur ein Patient verbrachte 2 Tage auf der Intensivstation (dieser wurde durch eine untere Sternotomie operiert). Für diesen Parameter konnte zwischen kompletter und partieller Sternotomie ein signifikanter Unterschied von  $p=0,006$  festgestellt werden.

### 3.6.4. Krankenhausaufenthalt

Der Mittelwert der Krankenhausaufenthaltsdauer der Patienten in der Gruppe mit kompletter Sternotomie betrug 10 Tage (6 bis 20 Tage). 63 % der Patienten sind weniger als 10 Tage im Krankenhaus geblieben. Die Patienten blieben im Schnitt nach partieller Sternotomie 9 Tage im Krankenhaus (5 bis 17 Tage). 66,7 % der Patienten sind weniger als 10 Tage stationär geblieben. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen.

Die Patienten mit oberer Sternotomie sind ca. 9 Tage stationär geblieben (5 bis 17 Tage). 57,1 % der Patienten sind weniger als 10 Tage im Krankenhaus geblieben. Die Patienten blieben im Schnitt nach unterer Sternotomie 8 Tage im Krankenhaus (6 bis 13 Tage). 75 % der Patienten sind weniger als 10 Tage im Krankenhaus geblieben. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen.

#### 3.6.5. Blutverlust und Transfusionen

Der durchschnittliche Blutverlust bei einer kompletten Sternotomie betrug 624 ml (0 ml bis 1200 ml); Bei einer partieller Sternotomie 593 ml (320 ml bis 800 ml). Eine Signifikanz konnte nicht festgestellt werden.

Der durchschnittliche Blutverlust bei einer oberen Sternotomie war 555 ml (320 ml bis 780 ml). Bei einer unterer Sternotomie war der Mittelwert 626 ml (500 ml bis 800 ml). Eine Signifikanz konnte nicht festgestellt werden.

In der Gruppe der Patienten mit kompletter Sternotomie bekamen 40 % der Patienten mindestens eine Bluttransfusion. Die größte Zahl an transfundierten Erythrozytenkonzentraten betrug 14. Bei den Patienten mit partieller Sternotomie haben nur 10 % der Patienten eine Bluttransfusion benötigt. Mit  $p=0,002$  konnten wir hier zwischen kompletter und partieller Sternotomie ein signifikanter Unterschied feststellen.

Zwei Patienten haben in der Gruppe mit oberer Sternotomie eine Bluttransfusion gebraucht (14 % der Gruppe). Nur ein Patienten benötigte nach unterer Sternotomie eine Bluttransfusion, entsprechend 6 % der Gruppe mit unterer Sternotomie. Dabei konnten wir kein signifikanter Unterschied feststellen.

#### 3.6.6. Beatmungszeit

Nach der Operation wurden die Patienten mit kompletter Sternotomie auf Intensivstation im Durchschnitt 18 h beatmet. Das Maximum war durch postoperative Komplikationen sehr hoch (154 h). 86 % der Patienten sind weniger als 20 h beatmet worden, wobei die Mehrzahl der Patienten (26 %) 9 h ventilert worden sind. 14 % der Patienten ( $n=7$ ) wurden über 20 h ventilert. Die postoperative Beatmungszeit nach partieller Sternotomie betrug im Schnitt 8 h (mit einem Maximum von 10 h). Die Werte der Beatmungszeit zeigten einen signifikanten Unterschied von  $p=0,002$  zwischen kompletter und partieller Sternotomie, nicht aber zwischen oberer und unterer Sternotomie.

#### 3.6.7. Reintubation

Drei Patienten in der Gruppe mit kompletter Sternotomie wurden reintubiert (6 % der Gruppe). Die Ursachen dafür waren einen Herzstillstand mit Reanimation, eine Reoperation wegen einer

Klappenundichtigkeit und eine blutungsbedingt. 94 % der Patienten wurden nach der Operation nicht mehr reintubiert. In der Gruppe mit partieller Sternotomie musste ein Patient nach der Operation wegen einem im Körper verbliebenen Fremdkörper reintubiert werden. 97 % der Kohorte (n=29) wurde postoperativ nicht mehr reintubiert. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied.

### 3.6.8. Postoperative Komplikationen

Das VHF war in der Gruppe mit kompletter Sternotomie die häufigste postoperative Komplikation: Bei 15 Patienten wurde diese Diagnose gestellt, entsprechend 30 % der Kohorte. Fünf Patienten erkrankten an einer Pneumonie postoperativ (10 % der Gruppe). Ein postoperatives Delir ist bei vier Patienten aufgetreten, während Pleuraergüsse drei Mal aufgetreten sind. Zwei Patienten erlitten einen Schlaganfall nach der Operation. Fieber und Perikarderguss sind jeweils bei zwei Patienten vorgekommen. Ein Patient musste wegen Blutungen reoperiert werden, entsprechend 2 % der Kohorte. Die häufigste aufgetretene Komplikation nach einer partiellen Sternotomie war auch das VHF mit sieben betroffenen Patienten (23 % der Gruppe). Zwei Patienten (jeweils ein Patient nach oberer und ein Patient nach unterer Sternotomie) sind am Operationstag blutungsbedingt reoperiert worden, entsprechend 7 % der Gruppe.

Komplikationen	Häufigkeit bei den kompletten Sternotomien	Häufigkeit bei den partiellen Sternotomien
VHF	15	7
Perikarderguss	2	1
Fieber	2	1
Blutungen	1	1
Pneumonie	5	0
Delir	4	0
Pleuraerguss	3	0
Schlaganfall	2	0
Akutes Nierenversagen	1	0
Herzinfarkt	1	0
Pulmonale Insuffizienz	1	0
Undichte Klappe	1	0
AV-Block 3. Grades	0	1
Zwerchfellhochstand	0	1
Wundheilungsstörung	0	1
Dressler-Syndrom	0	1

Tab.5 Komplikationen und deren Häufigkeit: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

46 % der Patienten (n=23) entwickelten nach einer kompletten Sternotomie keine postoperative Komplikation. 36 % der Patienten hatten eine Komplikation, 14 % der Patienten hatten zwei Komplikationen und nur 4 % der Gruppe hatte drei Komplikationen (n=2).

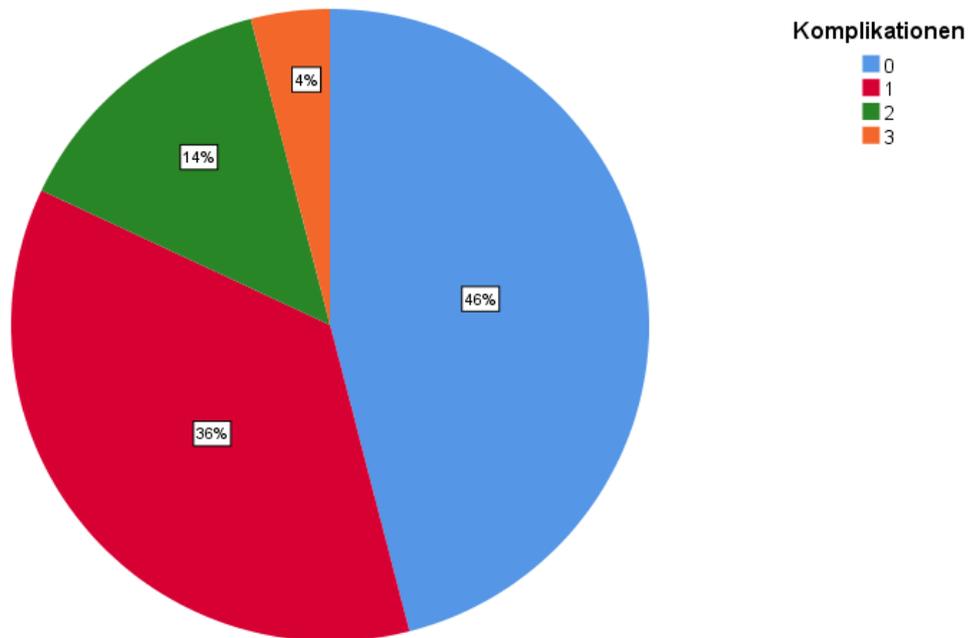


Abb.22 Kreisdiagramm mit Darstellung des Auftretens von postoperativen Komplikationen in der Gruppe der kompletten Sternotomie

Die Mehrzahl der Patienten nach partieller Sternotomie (57 %) erlitten keine postoperative Komplikation. 11 Patienten (37 %) hatten eine Komplikation, zwei Patienten hatten zwei Komplikationen (7 %).

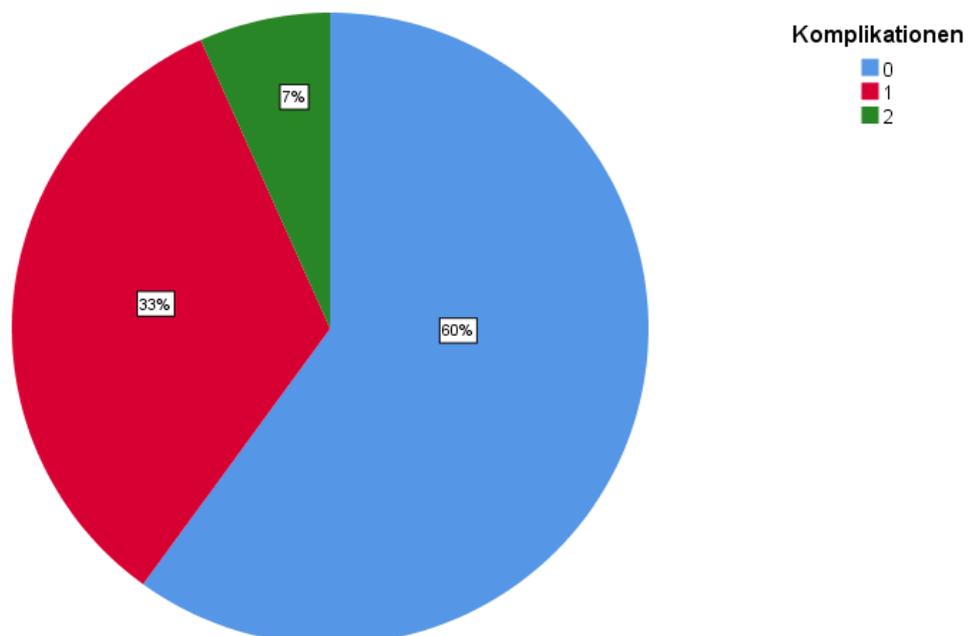


Abb.23 Kreisdiagramm mit Darstellung des Auftretens von postoperativen Komplikationen in der Gruppe der partiellen Sternotomie

Beim Vergleich in der Anzahl an Komplikationen zwischen kompletter und partieller Sternotomie zeigte sich kein signifikanter Unterschied.

Es sind zwischen Patienten mit oberer und unterer Sternotomie sehr unterschiedliche Komplikationen aufgetreten. In der Gruppe mit oberer Sternotomie sind Wundheilungsstörung, Fieber, Perikarderguss, Dressler-Syndrom (postoperative Myokarditis) und Zwerchfellhochstand jeweils ein Mal aufgetreten. Dagegen sind in der Gruppe mit unterer Sternotomie VHF aufgetreten (bei 50 % der Patienten), ebenfalls AV-Block 3. Grades. Blutung ist die einzige Komplikation die in beiden Gruppen aufgetreten ist.

Komplikationen	Häufigkeit bei den oberen Sternotomien	Häufigkeit bei den unteren Sternotomien
Wundheilungsstörung	1	0
Fieber	1	0
Perikarderguss	1	0
Dressler-Syndrom	1	0
Zwerchfellhochstand	1	0
VHF	0	7
AV-Block 3. Grades	0	1
Blutungen	0	1

Tab.6 Komplikationen und deren Häufigkeit: Vergleich obere und untere Sternotomie

64 % der Patienten entwickelten nach einer oberen Sternotomie keine postoperative Komplikation. Dementsprechend erlitten 27 % der Patienten eine Komplikationen und 7 % zwei postoperative Komplikationen. In der Gruppe mit unterer Sternotomie hatte die Hälfte der Patienten keine Komplikation (n=8), 44 % der Patienten hatten eine Komplikation und 6 % zwei Komplikationen nach der Operation. Ein signifikanter Unterschied konnte dabei nicht festgestellt werden.

### 3.7. Vergleich nach Geschlecht und Alter

Der Vergleich der Parameter zwischen kompletter und partieller Sternotomie und zwischen oberer und unterer Sternotomie wurde auf eine begrenzte Kohorte wiederholt, bestehend aus allen männlichen Patienten zwischen 40 und 70 Jahre, um Verzerrungen besonders beim Gewichtheben und beim Lungenfunktionstest zu vermeiden und Patienten mit ähnlicher Ausgangssituation zu vergleichen.

Dabei konnten im Vergleich zu den vorherigen Analysen zwischen kompletter und partieller Sternotomie bei keiner der Untersuchungen der Lungenfunktion und der Kraft signifikante Unterschiede

festgestellt werden. Bei der präoperativen Untersuchung waren die Signifikanzwerte bei  $p=0,800$  für die FVC,  $p=0,176$  für die FEV<sub>1</sub>,  $p=0,916$  für die Abduktion und  $p=0,094$  für die Adduktion. Ebenso zeigte die Abduktionsübung 1 Monat postoperativ keinen signifikanten Unterschied mehr: Der Wert lag bei  $p=0,877$ . Die Werte für den Schmerz und für die Lebensqualität waren in allen Untersuchungen nicht signifikant unterschiedlich. Die festgestellten Signifikanzen für die Operationsdauer, die Liegedauer auf Intensivstation und die Beatmungszeit haben sich in dieser limitierten Kohorte aber weiterhin gezeigt mit jeweiligen Werten von  $p<0,001$ ,  $p=0,008$  und  $p=0,039$ . Jedoch war die Anzahl an Transfusionen nicht mehr signifikant unterschiedlich ( $p=0,783$ ). Die kardiopulmonale Bypassdauer, die myokardiale Ischämiedauer, der Krankenhausaufenthalt, der Blutverlust, die Reintubationsrate und die Komplikationen waren nicht signifikant unterschiedlich.

Die Signifikanztests wurden ebenfalls für den Vergleich zwischen oberer und unterer Sternotomie in dieser eingeschränkten Kohorte durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Lungenfunktion und die Kraft bei der präoperativen Untersuchung nicht mehr signifikant unterschiedlich waren: Der Wert war für die FEV<sub>1</sub> bei  $p=0,254$ , für die Abduktion bei  $p=0,203$  und für die Adduktion bei  $p=0,093$ . Bei der ersten postoperativen Untersuchung zeigten sich keine signifikante Unterschiede: Der Wert von der FEV<sub>1</sub> lag bei  $p=0,180$ . Die Kraft und die FVC bei der dritten Untersuchung zeigten auch keine signifikante Unterschiede mehr ( $p=0,228$  für die Abduktion,  $p=0,142$  für die Adduktion und  $p=0,065$  für die FVC), jedoch war die FEV<sub>1</sub> bei den Patienten mit unterer Sternotomie 1 Monat postoperativ signifikant höher (mit einem Wert von  $p=0,038$ ) und die Schmerzen signifikant niedriger (mit einem Wert von  $p=0,050$ ); Bei den zwei ersten Untersuchungen zeigten die Werte für den Schmerz keine signifikante Unterschiede. Die Ergebnisse der Skala der körperlichen Schmerzen waren signifikant höher nach unterer Sternotomie (mit einem Wert von  $p=0,016$ ), die körperliche Summenskala zeigte jedoch keinen Unterschied mehr ( $p=0,318$ ). Alle perioperativen Daten waren nicht signifikant unterschiedlich.

## 4. Diskussion

Die mediane komplette Sternotomie gilt heutzutage als Standard in der Herzchirurgie. Diese mit wenigen Schmerzen assoziierte Operationsmethode hat trotz allem eine Auswirkung auf die postoperative Lungenfunktion der Patienten. Bellach et al. [4] haben die Schmerzen wie folgt beschrieben: « Schmerzen sind ein Leitsymptom von Krankheiten, Störungen der Gesundheit und Befindlichkeit. Für die Betroffenen treten sie oft als erstes und wichtigstes Warnsignal auf, als ein allgemeines, meist lokalisiertes Zeichen dafür, dass “an einer Stelle etwas nicht in Ordnung ist”. Schmerzen stellen ein sehr komplexes, auch mit starken psychischen Komponenten verbundenes Phänomen mit unterschiedlichen Qualitäten, Stärken und Formen dar, die von eng begrenzten, kurzzeitigen und temporären Schmerzen über länger anhaltende Schmerzzustände bis zu chronischen Schmerzen und chronischen Schmerzsyndromen im Sinne eigenständiger Krankheitsbilder reichen. Auch auf das Wohlbefinden und die gesundheitsbedingte Lebensqualität der Bevölkerung haben Schmerzen einen erheblichen Einfluss. » Postoperative Schmerzen nach einer Herzoperation können zu Hypoventilation und ungenügendem Husten führen. Dies führt zu restriktiven Lungenvolumina. Durch eine postoperative Störung im Ventilation-Perfusion-Verhältnis, Atelektasenbildung mit konsekutiver Hypoxie und eine eingeschränkte Aktivität könnte sich ebenso die Lungenfunktion verschlechtern. [32] Die pulmonale Funktion ist bis mindestens 3,5 Monate postoperativ eingeschränkt. [26] Erwartungen der minimalinvasiven Chirurgie sind eine mögliche Verbesserung der postoperativen Lungenfunktion durch geringere Schmerzen. [14]

Die Kraft und die Lebensqualität der Patienten sind postoperativ ebenfalls eingeschränkt. Aus der klinischen Erfahrung ist bekannt, dass der Nachteil der medianen Sternotomie die Einschränkung der Aktivität der Arme ist. Durch Kraftübertragung über die Claviculae auf das Manubrium sterni entstehen Schmerzen, die über 2-3 Monate persistieren können. Dies trägt dazu bei, dass die Patienten im Schnitt bis 3 Monate nach der Operation von einer schlechteren Lebensqualität berichten. [31] Weiterhin ist das kosmetische Ergebnis der kompletten Sternotomie (durch den langen Schnitt) suboptimal.

Ziel der minimalinvasiven Operationen ist es, die Belastung der Operation für den Patienten zu reduzieren und wenn möglich ein besseres kosmetisches Ergebnis zu erreichen. [14]

Diese zum Teil aus der Cochrane [14] selektierten Studien befassen sich ausschließlich mit dem Vergleich von kompletter und partieller Sternotomie, nicht aber mit dem Vergleich von oberer und unterer Sternotomie untereinander. Es zeigte sich bei Betrachtung der gesamten Studien eine große Heterogenität. Zudem sind diese Studien zum großen Teil retrospektiv und haben entweder keine, eine oder zwei Vergleichsgruppen.

#### 4.1. Schmerz

In den bisher publizierten Studien wurde einerseits festgestellt, dass Patienten nach partieller Sternotomie weniger Schmerzen entwickeln als nach kompletter Sternotomie. Unter anderem zeigten Bonacchi et al. [6], dass die Schmerzen unmittelbar postoperativ nach kompletter Sternotomie höher waren als nach oberer (1,5 gegen 1,2 auf einer Skala von 0 bis 5), obwohl die Patienten mit kompletter Sternotomie mehr Schmerzmedikation verlangt hatten. Nach 72 h zeigte sich jedoch dieser Unterschied nicht mehr. Aris et al. [1] haben in einer Studie mit 40 Patienten und einem 6-Tagen-Follow-up feststellen können, dass die Schmerzintensität bis 6 Tage postoperativ nach oberer Sternotomie  $1,34 \pm 1,3$  und nach kompletter Sternotomie  $2,15 \pm 1,5$  auf die VAS betrug. Choi et al. [8] haben beobachtet, dass 23 % der Patienten nach kompletter Sternotomie bis 1 Jahr postoperativ von sternalen Schmerzen berichteten, während keiner der Patienten nach unterer Sternotomie Schmerzen im Bereich vom Sternum geschildert hatte. Andererseits haben Dogan et al. [10] in einer 40-Patienten-Studie keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen gefunden: 2 Tage nach der Operation war die Schmerzintensität bei 4,0 nach kompletter und 3,9 nach oberer Sternotomie; 5 Tage danach war sie bei 1,4 nach kompletter und 1,2 nach oberer Sternotomie (mit einer VAS beurteilt).

In unserer Studie konnte für den Schmerz nach kompletter und nach partieller Sternotomie ein vergleichbarer Verlauf beobachtet werden: Sowohl nach 6 Tagen als auch nach 1 Monat waren die Werte bei 2 (von maximal 10) und haben sich im Laufe der Zeit nur gering verändert. Es zeigte sich aber zwischen beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied. Insgesamt waren die Schmerzen jedoch gering. Unsere Ergebnisse entsprechen denen von Dogan et al. [10]

Die gleiche Beobachtung konnte beim Vergleich zwischen Patienten mit oberer und unterer Sternotomie gemacht werden. Beim Vergleich nach Geschlecht und Alter zeigte sich aber 1 Monat postoperativ ein signifikanter Unterschied: Patienten nach unterer Sternotomie hatten weniger Schmerzen als nach oberer Sternotomie.

#### 4.2. Lungenfunktion

Bauer et al. [3] haben festgestellt, dass die  $FEV_1$  4 Tage postoperativ nach kompletter und nach unterer Sternotomie 49 % des präoperativen Werts erreicht hatte. Nach 10 Tagen waren die Werte bei 71 % der präoperativen Werte nach kompletter und 74 % nach unterer Sternotomie. Die Vitalkapazität betrug nach 4 Tagen 50 % des präoperativen Werts nach kompletter und 49 % nach unterer Sternotomie. Nach 10 Tagen haben die Werte 73 % der präoperativen Werte nach kompletter und 71 % nach unterer Sternotomie erreicht. Die Entwicklung bei den 40 Patienten war ähnlich und präoperative Werte wurden nicht erreicht. Es wurde jedoch nur die frühe postoperative Lungenfunktion erfasst und die Schmerzmedikation wurde nicht berücksichtigt. Dogan et al. [10] haben sich ebenfalls mit der Lungenfunktion auseinandergesetzt: Bei einem präoperativen Wert für die FVC von 3,2 und für die

FEV<sub>1</sub> von 2,6 erreichten die Patienten nach kompletter Sternotomie jeweils 2,4 und 2,0 nach 6 Tagen; Die Patienten mit oberer Sternotomie sind von jeweils präoperativ 3,0 und 2,6 auf jeweils 2,1 und 1,6 gefallen. Signifikante Unterschiede konnten in der Kohorte bestehend aus 40 Patienten nicht festgestellt werden. Bonacchi et al. [6] haben beobachtet, dass die präoperativen Werte bei den Patienten mit oberer Sternotomie nach 1 Monat erreicht worden sind, dies gelang nur nach 3 Monaten bei den Patienten mit kompletter Sternotomie.

In unserer Studie hatten die Patienten mit partieller Sternotomie eine bessere präoperative Kondition: Die Lungenfunktion war signifikant höher als bei den Patienten mit kompletter Sternotomie (FVC 3,65 l gegen 3,22 l und FEV<sub>1</sub> 3,11 l gegen 2,53 l). Bei der zweiten Untersuchung war aber die Lungenfunktion nicht mehr signifikant unterschiedlich (ca. 2 l); Dies bedeutet dass die Patienten nach partieller Sternotomie 6 Tage postoperativ schlechtere Werte hatten im Vergleich zum präoperativen Befund als die Patienten nach kompletter Sternotomie. Ein Monat postoperativ zeigte die Lungenfunktion weiterhin keinen signifikanten Unterschied. Die Lungenfunktion hat sich nach partieller Sternotomie signifikant schlechter erholt als nach kompletter Sternotomie: Für die FVC betrug der Verlust 12,73 % nach kompletter und 21,64 % nach partieller Sternotomie, für die FEV<sub>1</sub> jeweils 5,93 % und 24,44 %. Obwohl die Ausgangswerte bei den Patienten mit partieller Sternotomie signifikant höher waren als bei denen mit kompletter Sternotomie, wurden postoperativ ähnliche Werte erreicht. Beim Vergleich beider Zugänge mit eingeschränkter Kohorte (nur Männer zwischen 40 und 70 Jahre) zeigten sich präoperativ ähnliche Werte für die Lungenfunktion (es konnten keine signifikante Unterschiede mehr festgestellt werden). Bei gleicher Ausgangssituation konnten wir eine analoge Entwicklung feststellen: 6 Tagen postoperativ war die Lungenfunktion schlechter als vor der Operation, nach 1 Monat haben sich aber die Werte verbessert (präoperative Werte wurden jedoch nicht erreicht), entsprechend den Beobachtungen von Bauer et al. [3] und Dogan et al. [10]

Bei den Patienten mit unterer Sternotomie war die FEV<sub>1</sub> präoperativ und 6 Tage postoperativ signifikant höher als bei den Patienten mit oberer Sternotomie (präoperativ 3,33 l gegen 2,74 l und 6 Tage postoperativ 1,94 l gegen 1,58 l). Die Lungenfunktion hat sich insgesamt nach beiden Operationszugängen bis 6 Tage postoperativ gleichermaßen verschlechtert. Nach 1 Monat haben sich die FVC und die FEV<sub>1</sub> verbessert und die Werte waren signifikant höher bei den Patienten mit unterer Sternotomie (FVC 3,96 l gegen 2,72 l und FEV<sub>1</sub> 3,12 l gegen 2,24 l). Die Verschlechterung der FEV<sub>1</sub> war nach oberer Sternotomie signifikant höher als nach unterer Sternotomie (18,25 % gegen 6,31 %); Die präoperativen Werte wurden bei den Patienten mit unterer Sternotomie beinahe erreicht. Die FVC bei den Patienten mit unterer Sternotomie hat sogar die präoperativen Werte überschritten. Die Lungenfunktion hat sich nach unterer Sternotomie besser erholt als nach oberer Sternotomie. Beim Vergleich nach Geschlecht und Alter (nur Männer zwischen 40 und 70 Jahre) war die Lungenfunktion präoperativ nicht mehr signifikant unterschiedlich; Das heißt, dass eine homogene Ausgangssituation bestand. Trotzdem war die FEV<sub>1</sub> 1 Monat postoperativ signifikant höher bei den Patienten mit unterer Sternotomie. Die FVC war an diesem Zeitpunkt beinahe signifikant höher nach unterer Sternotomie.

Unabhängig von der Ausgangssituation der Patienten erholt sich die Lungenfunktion nach 1 Monat besser nach unterer als nach oberer Sternotomie.

### 4.3. Kraft

Für die postoperative Kraftentwicklung nach kompletter und partieller Sternotomie sind nach unserem Wissensstand keine Publikationen vorhanden.

Die Kraft der Patienten mit partieller Sternotomie war präoperativ signifikant höher als bei den Patienten mit kompletter Sternotomie (Abduktion 8,9 kg gegen 7,7 kg und Adduktion 8,9 kg gegen 7,2 kg). Bei der zweiten Untersuchung war diese jedoch nicht mehr signifikant unterschiedlich (zwischen 5 kg und 6 kg); Dies bedeutet dass die Patienten nach partieller Sternotomie 6 Tage postoperativ schwächer waren im Vergleich zum präoperativen Befund als die Patienten nach kompletter Sternotomie. Ein Monat postoperativ waren die Werte der Abduktionsübung nach partieller Sternotomie signifikant besser als nach kompletter Sternotomie (7,3 kg gegen 6,1 kg). Die Werte beim Adduktionstest zeigten aber keinen signifikanten Unterschied. Bei der Abduktion hatten die Patienten nach kompletter Sternotomie einen größeren Verlust beim Gewichtheben als nach partieller Sternotomie (20,78 % gegen 17,98 %), während sich bei der Adduktion ein ähnlicher Verlust zeigte (ca. 21 %). Obwohl die Ausgangswerte bei den Patienten mit partieller Sternotomie signifikant höher waren als bei denen mit kompletter Sternotomie, wurden postoperativ ähnliche Werte erreicht. Dies könnte sich dadurch erklären, dass die fittesten Patienten sich nach der Operation weniger getraut haben, schwere Gewichte zu heben. Beim Vergleich beider Zugänge mit eingeschränkter Kohorte (nur Männer zwischen 40 und 70 Jahre) zeigten sich präoperativ ähnliche Werte für die Kraft. Bei gleicher Ausgangssituation konnten wir eine analoge Entwicklung feststellen: 6 Tagen postoperativ war die Kraft schlechter als vor der Operation, nach 1 Monat haben sich aber die Werte verbessert (präoperative Werte wurden jedoch nicht erreicht).

Die Patienten mit unterer Sternotomie hatten präoperativ bessere Werte: Bei der Abduktion und bei der Adduktion waren die Werte signifikant höher (Abduktion 9,4 kg gegen 8,2 kg und Adduktion 9,4 kg gegen 8,1 kg). Dies kann man mit einer besseren Kondition gleichsetzen. Sechs Tage nach der Operation konnten wir kein signifikanter Unterschied mehr feststellen. Dies bedeutet dass die Patienten nach unterer Sternotomie in der Frühphase der Rehabilitation mehr Kraft als nach oberer Sternotomie verloren hatten. Nach 1 Monat waren die Werte signifikant höher bei den Patienten mit unterer Sternotomie (Abduktion 8,3 kg gegen 6,5 kg und Adduktion 8,2 kg gegen 6,2 kg). Der Verlust beim Gewichtheben war nach unterer Sternotomie signifikant niedriger als nach oberer Sternotomie: Bei der Abduktion 11,7 % nach unterer gegen 20,73 % nach oberer Sternotomie und bei der Adduktion jeweils 12,77 % gegen 23,46 %. Beim Vergleich nach Geschlecht und Alter (nur Männer zwischen 40 und 70 Jahre) war die Kraft präoperativ nicht mehr signifikant unterschiedlich; Das heißt, dass eine homogene Ausgangssituation bestand. Die Kraft war 6 Tage und 1 Monat nach der Operation nicht signifikant

unterschiedlich, dass heißt dass sich die Kraft nach beiden Operationszugänge bei gleicher Ausgangssituation gleichermaßen entwickelt hat.

#### 4.4. Lebensqualität und Kosmetik

Unterschiede in der Lebensqualität nach kompletter und partieller Sternotomie wurden in Studien bis jetzt nicht festgestellt. Wachter et al. [30] zeigten, dass die mit dem Fragebogen SF36 erfassten Lebensqualität einen Score von 7,8 (von maximal 10) nach oberer und 7,4 nach kompletter Sternotomie erreichte. Jedoch fand diese Untersuchung nach 3 Jahren statt und die Patienten mit oberer Sternotomie waren im Schnitt jünger. Borger et al. [7] haben ebenfalls keinen Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt. Die kosmetische Bewertung der Wunde wurde von Aris et al. [1] erfasst: Nach oberer und kompletter Sternotomie war sie gleich, jedoch waren Frauen weniger zufrieden. Die Befragung wurde aber noch während des Krankenhausaufenthaltes durchgeführt: Durch die postoperative Ecchymose ist das kosmetische Ergebnis unmittelbar postoperativ nicht beurteilbar.

In unserer Studie haben die körperliche und die psychische Summenskalen bei den Patienten mit kompletter und partieller Sternotomie ähnliche Werte erreicht: Jeweils 36,5 und 50. Obwohl die Patienten mit partieller Sternotomie vor der Operation fitter waren (bessere Lungenfunktion und mehr Kraft) und durch einen minimalinvasiven Zugang operiert worden sind, war die Lebensqualität der Patienten nach 1 Monat genauso gut wie nach kompletter Sternotomie. Dies könnte sich dadurch erklären, dass die jüngere Patienten durch die Bewegungseinschränkungen im Vergleich zum präoperativen Zustand mehr eingeschränkt sind als ältere Patienten. In den acht Skalen des Fragebogens SF36 haben die Patienten den besten Score im Bereich der sozialen Funktionsfähigkeit (81 nach kompletter und 85 nach partieller Sternotomie) erreicht, gefolgt von dem psychischen Wohlbefinden (jeweils 73 und 75) und der allgemeinen Gesundheitswahrnehmung (jeweils 62 und 68). Unsere Ergebnisse für die Lebensqualität stimmen mit den bisherigen Studie überein.

Die psychische Summenskala zeigte beim Vergleich zwischen oberer und unterer Sternotomie ähnliche Werte in beiden Gruppen (51 nach oberer und 49 nach unterer Sternotomie). Dagegen zeigte sich ein signifikanter Unterschied für die körperliche Summenskala (33,5 nach oberer und 39 nach unterer Sternotomie) und für die Skala der körperlichen Schmerzen (38 nach oberer und 55,5 nach unterer Sternotomie): Die Patienten nach unterer Sternotomie hatten weniger Schmerzen und waren durch deren Gesundheitszustand körperlich weniger beeinträchtigt als die Patienten nach oberer Sternotomie. Die Patienten haben in beiden Gruppen im Bereich der sozialen Funktionsfähigkeit (> 80), des psychischen Wohlbefindens (77 nach oberer und 73 nach unterer Sternotomie) und der allgemeinen Gesundheitswahrnehmung (jeweils 67 und 70) die besten Ergebnisse erreicht. Beim Vergleich nach Geschlecht und Alter zeigte sich der signifikante Unterschied für die körperliche Summenskala jedoch nicht mehr.

## 4.5. Perioperative Daten

### 4.5.1. Operationsdauer

Beim Vergleich der Operationsdauer zwischen einer kompletten und einer partiellen Sternotomie sind bis jetzt unterschiedliche Ergebnisse festgestellt worden. Zum Beispiel haben Borger et al. [7] eine Operationsdauer von  $141,9 \pm 46,1$  min durch eine obere Sternotomie und  $146,4 \pm 48,4$  min durch eine komplette Sternotomie für einen AKE festgestellt. Dogan et al. [10] haben für den selben Eingriff bei den jeweils 20 Patienten pro Gruppe eine Operationsdauer von 210 min durch eine obere und 194 min durch eine komplette Sternotomie erreicht. In den beiden Studien waren die Werte jeweils nicht signifikant unterschiedlich. Dagegen haben Bonacchi et al. [6] ebenfalls für den AKE  $3,7 \pm 0,46$  h durch eine obere und  $3,4 \pm 0,6$  h durch eine komplette Sternotomie gebraucht. Diese längere Operationsdauer bei den partiellen Sternotomie erklären die Autoren dadurch, dass durch eine partielle Sternotomie der Zugang zum Herzen kleiner ist und dies zur einer Verlängerung der Operationsdauer führen könnte.

Perioperative Daten inklusive Operationsdauer sind stark klinik- und chirurgabhängig (verschiedene Protokolle sowie verschiedene Entlassungskriterien). Dazu ist die partielle Sternotomie eine neue Operationsmethode, an der sich die Chirurgen gewöhnen müssen.

Die Operationsdauer war in unserer Studie signifikant länger nach kompletter Sternotomie (es hat sich beim Vergleich mit begrenzter Kohorte (Männer zwischen 40 und 70 Jahre) weiterhin gezeigt). Dies erklärt sich dadurch, dass die komplexeren Operationen meistens durch eine komplette Sternotomie operiert worden sind (z.B. die zusätzliche Präparation der linken Arteria thoracica bei einer KHK). In der Gruppe mit kompletter Sternotomie dauerten einige Operationen sehr lange (bis 5 h und 44 min) und haben somit den Mittelwert nach oben verschoben (2 h und 47 min gegen 2 h und 4 min durch eine partielle Sternotomie). Bei dem Vergleich der Operationsdauer für einen AKE (ca. 120 min) und für eine gemeinsame MKR und TKR (ca. 130 min) wurden in beiden Gruppen ähnliche Werte festgestellt: Bei vergleichbaren Eingriffen macht der Zugangsweg keinen Unterschied bezüglich Operationsdauer, was Borger et al. [7] sowie Dogan et al. [10] ebenfalls festgestellt hatten. Die Operationsindikationen waren sehr unterschiedlich, da die partielle Sternotomie zum Beispiel nicht für eine KHK oder ein Aneurysma in Frage kommt. Beim Vergleich zwischen oberer und unterer Sternotomie konnte kein signifikanter Unterschied für die Dauer der Operation festgestellt werden: 119 min durch eine obere und 127 min durch eine untere Sternotomie. Die Operationsindikationen waren sehr unterschiedlich in beiden Gruppen, da nur die AI und die AS durch beide Zugänge operiert werden konnten.

#### 4.5.2. Kardiopulmonale Bypassdauer und Klemmzeit

Unterschiede in den bisher publizierten Studien konnten für diese zwei Parameter nachgewiesen werden. MacDonald et al. [16] haben bei der Durchführung unterschiedlicher Herzoperationen die beiden Hemisternotomie-Zugänge (obere und untere Sternotomie) mit der kompletten Sternotomie verglichen. Dabei zeigte sich eine nicht signifikant unterschiedliche Klemmzeit: 84 min bei den partiellen und 82 min bei den kompletten Sternotomien. Ebenso wurde für die kardiopulmonale Bypassdauer kein signifikanter Unterschied festgestellt: Jeweils 112 min und 115,5 min. In der Studie von Borger et al. [7] bestand bei der Durchführung von einem AKE ebenfalls kein Unterschied für die kardiopulmonale Bypassdauer:  $68,8 \pm 29$  min bei einer oberen Sternotomie gegen  $74,4 \pm 28,4$  min bei einer kompletten Sternotomie. Für die Klemmzeit zeigte sich aber ein signifikanter Unterschied:  $41,3 \pm 20,3$  min bei einer oberen Sternotomie gegen  $54,0 \pm 20,3$  min bei einer kompletten Sternotomie. Eine längere kardiopulmonale Bypassdauer bei einer oberen Sternotomie für einen AKE wurde von Aris et al. [1] festgestellt:  $70 \pm 19$  min gegen  $51 \pm 13$  min. Dies könnte sich durch den kleineren Zugang zum Herzen erklären. Diese Studie bestand aber nur aus 40 Patienten.

Die kardiopulmonale Bypassdauer (76 min bei einer kompletten gegen 63 min bei einer partiellen Sternotomie) und die Klemmzeit (50 min bei einer kompletten gegen 46 min bei einer partiellen Sternotomie) zeigten in unserer Studie keine signifikante Unterschiede, sowohl beim Vergleich zwischen kompletter und partieller Sternotomie (entsprechend den Ergebnissen von MacDonald et al. [16]) als auch beim Vergleich zwischen oberer und unterer Sternotomie.

#### 4.5.3. Liegedauer auf Intensivstation und Krankenhausaufenthalt

Die Liegedauer auf Intensivstation war in den bisher publizierten Studien unabhängig vom Zugangsweg ähnlich. Nach einem AKE sind die Patienten für ca. 22 h nach oberer sowie nach kompletter Sternotomie unter direkter Beaufsichtigung geblieben, obwohl in dieser Studie die Patienten mit kompletter Sternotomie eine schlechtere präoperative Kondition hatten. [25] Die Studie von Aris et al. [1] hat ebenfalls eine vergleichbare Dauer nach einem AKE beobachtet: Nach oberer Sternotomie sind die Patienten 1,83 Tage und nach kompletter Sternotomie 1,94 Tage auf Intensivstation geblieben. Für die Länge des stationären Aufenthaltes wurde einerseits von Moustafa et al. [18] in einer 60-Patienten-Studie ein kürzerer Aufenthalt nach oberer Sternotomie beobachtet, andererseits haben MacDonald et al. [16] sowie Dogan et al. [10] kein Unterschied feststellen können. Die Patienten sind jeweils 6 Tage und 9 Tage im Krankenhaus geblieben.

72 % der Patienten nach kompletter Sternotomie sind in unserer Studie 1 Tag auf Intensivstation geblieben, gegen 97 % der Patienten nach partieller Sternotomie. In der Gruppe mit kompletter Sternotomie ist der Mittelwert teilweise durch Ausreißer stark beeinflusst (Maximum bei 25 Tagen). Dieser signifikanter Unterschied hat sich beim Vergleich nach Geschlecht und Alter weiterhin gezeigt,

am ehesten bedingt durch die komplexeren Operationen. Dies könnte das mit den bisher publizierten Studien divergentes Ergebnis erklären. Zwischen oberer und unterer Sternotomie konnte für die Liegedauer der Patienten auf Intensivstation kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Trotz einem kleineren Zugang war der Krankenhausaufenthalt (10 Tage nach kompletter und 9 Tage nach partieller Sternotomie) in beiden Gruppen ähnlich, entsprechend den Ergebnissen von Dogan et al. [10] Beim Vergleich zwischen oberer und unterer Sternotomie konnte kein signifikanter Unterschied für die Dauer des stationären Aufenthaltes (9 Tage nach oberer und 8 Tage nach unterer Sternotomie) beobachtet werden.

#### 4.5.4. Blutungen und Transfusionen

Shehada et al. [11] konnten beim AKE kein Unterschied zwischen oberer und kompletter Sternotomie für den Blutverlust feststellen: Im Schnitt haben die Patienten 400 ml Blut verloren. Mächler et al. [17] haben ein vergleichbares Ergebnis gefunden: 370 ml bei den Patienten mit oberer und 520 ml bei den Patienten mit kompletter Sternotomie in den ersten 24 h. Dagegen konnte in der Studie von Dogan et al. [10] ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden: Bei den Patienten mit oberer Sternotomie betrug der Blutverlust 240 ml gegen 495 ml nach kompletter Sternotomie. Die Autoren führen diesen Unterschied auf das limitierte Gewebetrauma durch den kleineren Zugangsweg zurück. Beim Vergleich zwischen unterer und kompletter Sternotomie wurde diese Tatsache ebenfalls nachgewiesen: 242,7 ml / 24 h nach unterer gegen 499,2 ml / 24 h nach kompletter Sternotomie. [8] Aris et al. [1] zeigten eine vergleichbare Transfusionsrate nach oberer und nach kompletter Sternotomie: Jeweils 27 % der Patienten pro Gruppe haben nach einem AKE Transfusionen benötigt. In der Studie von MacDonald et al. [16] haben 12,3 % der Patienten nach oberer oder nach unterer Sternotomie Transfusionen gebraucht, dagegen haben 22,3 % der Patienten nach kompletter Sternotomie Erythrozytenkonzentrate benötigt. Ebenso haben Bonacchi et al. [6] eine höhere Rate an Bluttransfusionen nach kompletter Sternotomie beobachten können: 62,5 % gegen 37,5 % nach oberer Sternotomie. Die Autoren vermuten, dass dieser Unterschied durch die größere Gewebedurchtrennung bei der kompletten Sternotomie zustande kommt. Unsere Ergebnisse für den Blutverlust zeigten sowohl im Vergleich zwischen partieller und kompletter Sternotomie als auch im Vergleich zwischen oberer und unterer Sternotomie keine signifikante Unterschiede (ca. 600 ml). Ein vergleichbares Ergebnis erzielten Shehada et al. [11] sowie Mächler et al. [17] Beim Vergleich in der Transfusionsrate zeigte sich zwischen Patienten mit kompletter und partieller Sternotomie ein signifikanter Unterschied (was MacDonald et al. [16] sowie Bonacchi et al. [6] auch feststellen konnten): 40 % der Patienten nach kompletter Sternotomie gegen 10 % nach partieller Sternotomie haben mindestens eine Bluttransfusion gebraucht. Dazu waren bei den Patienten mit kompletter Sternotomie oft mehrere Transfusionen nötig. Dieser Unterschied zeigte sich aber beim Vergleich nach Geschlecht und Alter nicht mehr. Zwischen oberer und unterer Sternotomie bestand für die Transfusionen kein signifikanter Unterschied.

#### 4.5.5. Beatmung

Beim Vergleich der Operationsmethoden sind für die Beatmungszeit unterschiedliche Ergebnisse herausgekommen. Einerseits haben MacDonald et al. [16] eine kürzere Beatmungsdauer nach partieller Sternotomie (obere und untere Sternotomie) festgestellt: 5 h gegen 6 h. Das gleiche Ergebnis haben Bonacchi et al. [6] beim Vergleich zwischen oberer und kompletter Sternotomie beobachtet: 4,4 h gegen 6,2 h nach kompletter Sternotomie. Andererseits wurde in der Studie von Choi et al. [8] mit insgesamt 40 Patienten unabhängig vom Zugangsweg eine vergleichbare Beatmungszeit festgestellt (zwischen 10 h und 11 h). Nach einer oberen und einer kompletten Sternotomie wurde von Dogan et al. eine ähnliche Beatmungsdauer von 13 h gefunden. [10]

Die Patienten nach kompletter Sternotomie wurden in unserer Studie durchschnittlich länger beatmet (18 h gegen 8 h), die Maximalwerte sind aber sehr hoch im Vergleich zu denen nach partieller Sternotomie (154 h gegen 10 h). Diese längere Beatmungsdauer nach kompletter Sternotomie hatten sowohl MacDonald et al. [16] als auch Bonacchi et al. [6] beobachtet. Zwischen oberer und unterer Sternotomie bestand kein signifikanter Unterschied für die Beatmungsdauer.

#### 4.5.6. Reoperation wegen Blutung

Für die Rate an Reoperationen wegen Blutung sind sich die bisher publizierten Studien ziemlich einig: Es konnte kein Unterschied zwischen den Zugangswegen festgestellt werden. Borger et al. [7] hatten jeweils pro Gruppe 2 % an Reoperationen wegen Blutung, Mächler et al. [17] hatten in der Gruppe mit oberer Sternotomie 8 % an Reoperationen und in der Gruppe mit kompletter Sternotomie 5 % (Diese Werte zeigten keinen signifikanten Unterschied).

In unserer Studie sind nach kompletter Sternotomie 2 % der Patienten blutungsbedingt reoperiert worden, gegen 7 % nach partieller Sternotomie (8 % nach oberer und 6 % nach unterer Sternotomie).

#### 4.5.7. Komplikationen

Viele Studien haben sich mit der Rate an Wundinfektionen beschäftigt. MacDonald et al. [16] konnten nach oberer und unterer Sternotomie kein Unterschied mit den Patienten nach kompletter Sternotomie beobachten: Nach partieller Sternotomie hatten 1,5 % der Patienten eine Wundinfektion gegen 0,8 % nach kompletter Sternotomie. Bakir et al. [2] konnten <1 % Wundinfektion in beiden Vergleichsgruppen feststellen. In zwei Studien sind keine Wundinfektionen aufgetreten. [39, 47] In der Studie von Bonacchi et al. [6] hatten 5 % der Patienten mit kompletter Sternotomie eine Wundinfektion und 5 % der Patienten hatten eine Sternuminstabilität. Diese Ereignisse sind bei den Patienten mit oberer Sternotomie nicht aufgetreten. Diese Studie bestand aber nur aus 40 Patienten pro Gruppe. Die Häufigkeit an VHF nach einer Herzoperation zeigte divergente Ergebnisse. Bakir et al. [2] haben eine Verringerung des

Auftretens von postoperativen VHF nach oberer Sternotomie beobachtet: 34 % gegen 43 % nach kompletter Sternotomie. Olds et al. [19] haben vergleichbare Häufigkeiten festgestellt (30,8 % nach Ministernotomie gegen 27,6 % nach kompletter Sternotomie), während Aris et al. [1] mehr VHF nach oberer Sternotomie beobachten konnten (22 % gegen 11 % nach kompletter Sternotomie). Diese Studie bestand aber nur aus 40 Patienten. In der Studie von Semsroth et al. [25] haben postoperativ 6 % der Patienten eine Pneumonie pro Vergleichsgruppe (obere und komplette Sternotomie) entwickelt, obwohl die Patienten mit partieller Sternotomie eine bessere präoperative Kondition hatten. Die Schlaganfallsrate ist laut Furukawa et al. [12] unabhängig vom Operationszugang: Nach oberer und nach kompletter Sternotomie haben 1 % der Patienten einen Schlaganfall erlitten. Perikardergüsse sind in der Studie von Mächler et al. [17] bei 1,6 % der Patienten mit oberer Sternotomie und bei 20 % der Patienten mit kompletter Sternotomie aufgetreten. Die Autoren vermuten, dass durch das Belassen der unteren Sternumhälfte und des Perikards über die Ventrikel die Patienten vor Perikardergüssen besser geschützt sind.

Wundinfektionen und Sternuminstabilität sind in unserer Studie in keiner der Gruppen aufgetreten. Das VHF war nach kompletter und nach partieller Sternotomie die häufigste postoperative Komplikation: Bei jeweils 30 % und 23 % der Patienten. In der Gruppe mit partieller Sternotomie sind nur Patienten aus der Gruppe mit unterer Sternotomie von VHF betroffen worden. Eine Pneumonie ist bei 10 % der Patienten nach kompletter Sternotomie aufgetreten. Bei den Patienten nach partieller Sternotomie ist keine Pneumonie aufgetreten. Ein Schlaganfall ist in der Gruppe der partiellen Sternotomie nicht aufgetreten, während 4 % der Patienten mit kompletter Sternotomie einen Schlaganfall erlitten haben. Perikardergüsse haben sich bei 3-4 % der Patienten pro Gruppe ereignet. Ein Patient aus der Gruppe mit oberer Sternotomie entwickelte einen Perikarderguss.

Für die Anzahl an Komplikationen konnte sowohl zwischen kompletter und partieller Sternotomie als auch zwischen oberer und unterer Sternotomie kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Zwischen oberer und unterer Sternotomie waren die postoperativen Komplikationen sehr unterschiedlich.

#### 4.6. Schwächen der Arbeit

Die Kohorte bestand aus 80 Patienten. Es wurden 14 Patienten durch eine obere Sternotomie und 16 durch eine untere Sternotomie behandelt. Laut unserem Wissensstand wurde ein Vergleich zwischen oberer und unterer Sternotomie aber noch nicht durchgeführt.

Geschlechts- und Altersverteilung waren uneinheitlich, dementsprechend wurde der Vergleich in einer begrenzten Kohorte wiederholt. Insgesamt waren in dieser Studie mehr Männer als Frauen. Jedoch war der Männeranteil in der Gruppe mit partieller Sternotomie größer als in der Gruppe mit kompletter Sternotomie (90 % gegen 68 %). Die Patienten mit partieller Sternotomie waren durchschnittlich jünger;

Dies ist teilweise dadurch bedingt, dass eine partielle Sternotomie oft bei den älteren Patienten nicht durchgeführt werden konnte. Die Patienten der Gruppe mit unterer Sternotomie waren im Schnitt jünger. Manche Patienten hatten schwerwiegendere Operationsindikationen, entweder durch multiple Diagnosen oder durch einen komplizierten Eingriff. Dies könnte sich auf die Operationsdauer, die Liegedauer auf Intensivstation, den Krankenhausaufenthalt, die Blutungen und die Beatmungszeit widerspiegeln. Die Operationsindikationen waren sehr vielfältig und können dementsprechend nur begrenzt untereinander verglichen werden. Die Operationen durch partielle Sternotomie inklusive Thoraxeröffnung und –verschluss wurden durch erfahrene Chirurgen durchgeführt, während bei den meisten kompletten Sternotomien die Thoraxeröffnung und der Thoraxverschluss durch jüngere Chirurgen durchgeführt worden ist.

Die Patienten haben sich nach der Operation wegen Angst und Schmerzen beim Lungenfunktionstest und bei den Krafttests teilweise nicht getraut, so kräftig wie möglich ein- und auszuatmen und/oder schwere Gewichte zu heben.

Beim Ausfüllen des Fragebogens muss man beachten, dass die Angaben subjektiv waren. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass der Fragebogen SF36 als valider Testverfahren anerkannt ist.

## 4.7. Schlussfolgerung

### 4.7.1. Vergleich von kompletter mit partieller Sternotomie

Der Schmerz ist in beiden Patientengruppen postoperativ insgesamt niedrig geblieben und zeigte keinen signifikanten Unterschied. Die Lungenfunktion und die Kraft haben sich im Laufe der Zeit, bei gleicher Ausgangssituation, nach kompletter und nach partieller Sternotomie vergleichbar entwickelt. Die Lebensqualität war 1 Monat postoperativ in beiden Gruppen mittelmäßig, obwohl die Patienten mit partieller Sternotomie im Schnitt vor der Operation mehr Kraft hatten und jünger waren. Bei vergleichbaren Eingriffen war die Operationsdauer durch beide Operationsmethoden ähnlich. Insgesamt waren die Operationsdauer, die Liegedauer auf Intensivstation und die Beatmungszeit jedoch länger nach kompletter Sternotomie, bedingt durch komplexere Eingriffe, unabhängig vom Alter und von der präoperativen Kondition. Die Transfusionsrate war höher nach kompletter Sternotomie. Nach partieller Sternotomie mussten mehr Patienten blutungsbedingt reoperiert werden. Der Zugangsweg hatte keinen Einfluss auf die kardiopulmonalen Bypassdauer, die Klemmzeit, den Krankenhausaufenthalt, den Blutverlust, die Reintubationsrate und die Anzahl an postoperativen Komplikationen. Das VHF ist in beiden Gruppen die häufigste aufgetretene postoperative Komplikation.

#### 4.7.2. Vergleich von oberer mit unterer Sternotomie

Der Schmerz hat sich in beiden Gruppen ähnlich entwickelt, zeigte aber bei begrenzter Kohorte (Männer zwischen 40 und 70 Jahre) höhere Werte 1 Monat postoperativ nach oberer Sternotomie. Die Lungenfunktion hat sich nach unterer Sternotomie signifikant besser erholt als nach oberer Sternotomie. Bei vergleichbarer Kohorte hat sich die Kraft nach oberer und unterer Sternotomie im Laufe der drei Untersuchungen vergleichbar entwickelt. Die körperliche Summenskala und die Skala der körperlichen Schmerzen des Fragebogens SF36 zeigten bessere Ergebnisse nach unterer Sternotomie. Bei begrenzter Kohorte war nur noch der Wert für die Skala der körperlichen Schmerzen signifikant höher nach unterer Sternotomie. Die anderen Werte des Fragebogens SF36 waren in beiden Gruppen ähnlich. Die perioperative Daten waren nach oberer und nach unterer Sternotomie vergleichbar.

# Abbildungsverzeichnis

**Abb.1** Skizze der Inzision bei einer medianen kompletten Sternotomie. [24]

**Abb.2** Skizze der Haut- (a) und der Knocheninzision (b) bei einer oberen partiellen Sternotomie. [27]

**Abb.3** Skizze der Knocheninzision und der Knochennähte bei einer unteren partiellen Sternotomie. [8]

**Abb.4** Darstellung der Abduktionsübung: Im Stehen 90° Abduktion des gestreckten Armes mit Gewicht (Beteiligung des Musculus pectoralis major)

**Abb.5** Darstellung der Adduktionsübung: Im Liegen den gestreckten Arm mit Gewicht vor dem Brustkorb bis 90° Adduktion führen (Beiteiligung des Musculus deltoideus)

**Abb.6** Histogramm der Altersverteilung in der Gruppe der kompletten Sternotomie

**Abb.7** Histogramm der Altersverteilung in der Gruppe der partiellen Sternotomie

**Abb.8** Liniendiagramm mit Darstellung der Schmerzentwicklung im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

**Abb.9** Liniendiagramm mit Darstellung der Schmerzentwicklung im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich obere und untere Sternotomie

**Abb.10** Multiples Liniendiagramm mit Darstellung der Entwicklung von der FVC im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

**Abb.11** Multiples Liniendiagramm mit Darstellung der Entwicklung von der FEV<sub>1</sub> im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

**Abb.12** Multiples Liniendiagramm mit Darstellung der Entwicklung von der FVC im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich obere und untere Sternotomie

**Abb.13** Multiples Liniendiagramm mit Darstellung der Entwicklung von der FEV<sub>1</sub> im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich obere und untere Sternotomie

**Abb.14** Multiples Liniendiagramm mit Darstellung des gehobenen Gewichts bei der Abduktionsübung im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

**Abb.15** Multiples Liniendiagramm mit Darstellung des gehobenen Gewichts bei der Adduktionsübung im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

**Abb.16** Multiples Liniendiagramm mit Darstellung des gehobenen Gewichts bei der Abduktionsübung im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich obere und untere Sternotomie

**Abb.17** Multiples Liniendiagramm mit Darstellung des gehobenen Gewichts bei der Adduktionsübung im Laufe der drei Untersuchungen: Vergleich obere und untere Sternotomie

**Abb.18** Multiples Balkendiagramm des Fragebogens SF36 zur Lebensqualität: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

**Abb.19** Multiples Balkendiagramm des Fragebogens SF36 zur Lebensqualität: Vergleich obere und untere Sternotomie

**Abb.20** Boxplot mit Darstellung der Operationsdauer für einen AKE

**Abb.21** Boxplot mit Darstellung der Operationsdauer für eine MKR und TKR

**Abb.22** Kreisdiagramm mit Darstellung des Auftretens von postoperativen Komplikationen in der Gruppe der kompletten Sternotomie

**Abb.23** Kreisdiagramm mit Darstellung des Auftretens von postoperativen Komplikationen in der Gruppe der partiellen Sternotomie

# Tabellenverzeichnis

**Tab.1** Geschlechtsverteilung in der Gruppe der kompletten Sternotomie

**Tab.2** Geschlechtsverteilung in der Gruppe der partiellen Sternotomie

**Tab.3** Operationsindikationen und deren Häufigkeit in der Gruppe mit kompletter Sternotomie

**Tab.4** Operationsindikationen und deren Häufigkeit in der Gruppe mit partieller Sternotomie

**Tab.5** Komplikationen und deren Häufigkeit: Vergleich komplette und partielle Sternotomie

**Tab.6** Komplikationen und deren Häufigkeit: Vergleich obere und untere Sternotomie

# Literaturverzeichnis

- [1]: Aris A, Camara ML, Montiel J et al. Ministernotomy versus median sternotomy for aortic valve replacement: a prospective, randomized study. *Ann Thorac Surg*, 1999, 67:1583–8.
- [2]: Bakir I, Casselman FP, Wellens F et al. Minimally invasive versus standard approach; Aortic valve replacement: a study in 506 Patients. *Ann Thorac Surg*, 2006, 81:1599 – 604.
- [3]: Bauer M, Pasic M, Ewert R et al. Ministernotomy versus complete sternotomy for coronary bypass operations: no difference in postoperative pulmonary function. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2000, 702-702.
- [4]: Bellach BM, Ellert U, Radoschewski M. Epidemiologie des Schmerzes – Ergebnisse des BundesGesundheitssurveys 1998. *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz*, 2000, 43:424–431.
- [5]: Boix-Garibo R, Uzzaman MM et Bapat VN. Review of minimally invasive aortic valve surgery. *Interventional Cardiology Review*, 2015, 144-148.
- [6]: Bonacchi M, Prifti E, Giunti G et al. Does ministernotomy improve postoperative outcome in aortic valve operation? A prospective randomized study. *Ann Thorac Surg*, 2002, 73:460–6.
- [7]: Borger MA, Moustafine V, Conradi L et al. A randomized multicenter trial of minimally invasive rapid deployment versus conventional full sternotomy; Aortic valve replacement. *Ann Thorac Surg*, 2015, 99:17–25.
- [8]: Choi JB, Yang HW, Han JO et al. Manubrium-sparing median sternotomy. *Texas Heart Institute*, 2000, 32-36.
- [9]: Dalton ML, Connally SR et Sealy WC. Julian’s reintroduction of Milton’s operation. *Ann Thorac Surg*, 1992, 53:532-3.
- [10]: Dogan S, Dzemali O, Wimmer-Greinecker G et al. Minimally invasive versus conventional aortic valve replacement: a prospective randomized trial. *J Heart Valve Dis*, 2003, 12(1):76-80.
- [11]: El-Ansary D, LaPier TK, Adams J et al. An evidence-based perspective on movement and activity following median sternotomy. *Physical Therapy*, 2019, pzz126.
- [12]: Furukawa N, Kuss O, Aboud A et al. Ministernotomy versus conventional sternotomy for aortic valve replacement: matched propensity score analysis of 808 patients. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2014, 46(2):221-6.
- [13]: Gunzelmann T, Albani C, Beutel M et al. Die subjektive Gesundheit älterer Menschen im Spiegel des SF-36. *Z Gerontol Geriat*, 2006, 39:109–119.
- [14]: Kirmani BH, Jones SG, Malaisrie SC et al. Limited versus full sternotomy for aortic valve replacement. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2017, Issue 4.
- [15]: Küçükdurmaz F, Agir I et Bezer M. Comparison of straight median sternotomy and interlocking sternotomy with respect to biomechanical stability. *World J Orthop*, 2013, 4(3): 134-138.

- [16]: MacDonald DBS, Buth KJ, Yip AM et al. Versatility of hemisternotomy for cardiac surgery. *J Card Surg*, 2009, 24:6-10.
- [17]: Mächler HE, Bergmann P, Anelli-Monti M et al. Minimally invasive versus conventional aortic valve operations: a prospective study in 120 patients. *Ann Thorac Surg*, 1999, 67:1001–5.
- [18]: Moustafa MA, Abdelsamad AA, Zakaria G et al. Minimal vs median sternotomy for aortic valve replacement. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.*, 2007, 15(6):472-5.
- [19]: Olds A, Saadat S, Azzolini A et al. Improved operative and recovery times with mini-thoracotomy aortic valve replacement. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, 2019, 14:91.
- [20]: Pai S. In vivo characterization of respiratory forces on the sternal midline following median sternotomy. A thesis report submitted to the faculty of the worcester polytechnic institute, 2010.
- [21]: Raja SG, Benedetto U et Amrani M. Aortic valve replacement through J-shaped partial upper sternotomy. *J Thorac Dis*, 2013, 5(S6):662-668.
- [22]: Reser D, Caliskan E, Tolboom H et al. Median sternotomy. *Multimedia manual of cardiothoracic surgery: MMCTS / European Association for Cardio-Thoracic Surgery*. 2015, 10.1093/mmcts/mmv017.
- [23]: Risteski P, Monsefi N, Miskovic A et al. Triple valve surgery through a less invasive approach: early and mid-term results. *Interact CardioVasc Thorac Surg*, 2017, 24:677–82.
- [24]: Schäfers HJ. *Klinische Grundlagen der Herz- und Thoraxchirurgie*. ABW Wissenschaftsverlag GmbH, 2011, 4. Auflage.
- [25]: Semsroth S, Gothe RM, Raith YR et al. Comparison of two minimally invasive techniques and median sternotomy in aortic valve replacement. *Ann Thorac Surg*, 2017, 0003-4975.
- [26]: Shenkman Z, Shir Y, Weiss YG et al. The effects of cardiac surgery on early and late pulmonary functions. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1997, 41: 1193-1199.
- [27]: Svensson LG. Minimal-Access “J” or “j” Sternotomy for valvular, aortic, and coronary operations or reoperations. *Ann Thorac Surg*, 1997, 64:1501–3.
- [28]: Tulla H, Takala J, Alhava E et al. Respiratory changes after open-heart surgery. *Intensive Care Med*, 1991, 17:365-369.
- [29]: Vilīte B, Strīķe E, Rutka K et al. Pain management in intensive care unit patients after cardiac surgery with sternotomy approach. *Acta medica lituanica*, 2019, Vol. 26, No. 1, 51–63.
- [30]: Wachter K, Franke UFW, Yadav R et al. Feasibility and clinical outcome after minimally invasive valve-sparing aortic root replacement. *Interact CardioVasc Thorac Surg* 2017, 24:377–83.
- [31]: Walther T, Falk V, Metz S et al. Pain and quality of life after minimally invasive versus conventional cardiac surgery. *Ann Thorac Surg*, 1999, 67:1643–7.
- [32]: Westerdahl E, Jonsson M et Emtner M. Pulmonary function and health-related quality of life 1-year follow up after cardiac surgery. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, 2016, 11:99.

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all denjenigen danken, die bei der Entstehung und Verwirklichung dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank geht an Herrn Prof. Dr. Schäfers für die Möglichkeit dieser Doktorarbeit, für die intensive Betreuung und für die hervorragende Zusammenarbeit. Durch seine unvergleichliche Erfahrung konnte er meine Ideen konstruktiv und kritisch gegenübertreten. Ich bedanke mich für die stetige Gesprächsbereitschaft, die die reibungslose Durchführung der Studie ermöglicht hat.

Ich bedanke mich bei der Frau Dr. Karliova für die Einarbeitung in die Studie.

Ein herzliches Dankeschön an Frau Nagar, Assistenzärztin in der Herzchirurgie, die jeder Zeit bereit war mich zu unterstützen, besonders in meiner Abwesenheit.

An Frau Wagenpfeil geht mein ausführlicher Dank für Ihre Freundlichkeit und Ihre Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

Durch Ihre Fachkenntnisse konnten Dr. Bialas und Dr. Braun uns am Anfang der Studie im Bereich der Schmerzmedizin für die Lebensqualität und der Unfallchirurgie für die Provokationstests trefflich beraten.

Ganz besonders bedanke ich mich bei Marie Schulte, die mich jeder Zeit unterstützt hat. Durch die gemeinsamen Überlegungen wurden immer weitere Aspekte der Arbeit berücksichtigt. Sie hat mir ebenso beim Schreiben viel geholfen und meine Fehler korrigiert. Dir einen herzlichen Dank!

Mein Bruder Pierre und meine Eltern danke ich für die stetige Unterstützung, egal was ich unternehme. Danke, dass ihr für mich immer da seid.