

Aus der Klinik für Herzchirurgie  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Artur Lichtenberg

Aortenreduktionsplastik in Kombination mit externer Wandverstärkung:  
Diagnostik, operativer Outcome und Verlaufsbeobachtung an einem  
Kollektiv von 50 Patienten

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von  
Adina Börgens  
2020

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Herr Univ.-Prof. Dr. Nikolaj Klöckner

Erstgutachter: Herr Prof. Dr. med. Korbmacher

Zweitgutachter: Herr Prof. Dr. med. Jander

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Feindt, P., Litmathe, J., Börgens, A., Boeken, U., Gams, E., (2007), Is size-reducing ascending aortoplasty with external reinforcement an option in modern aortic surgery? *Eur J Cardiothorac Surg*, 31(4): 614-7

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Verfahren der Aortenreduktionsplastik in Kombination mit einer externen Wandverstärkung stellt nach den bislang vorliegenden Daten aus der Literatur eine sichere und effektive Methode mit niedriger Mortalität, Morbidität und nur selten auftretenden Spätkomplikationen dar. Allerdings sind bis zum heutigen Zeitpunkt eindeutige Risikofaktoren für eine nicht effektive Behandlung sowie einen komplizierten postoperativen Verlauf nicht abschließend definiert.

Ziel dieser Dissertation bestand daher in der Verlaufsbeobachtung des Durchmessers der Aorta ascendens von präoperativ über früh-postoperativ bis zum langfristig postoperativen Verlauf an einer Kohorte von 50 konsekutiven Patienten. Um den Effekt der Operation auf den Aortendurchmesser zu untersuchen, verglichen wir die präoperativ gemessenen echokardiografischen Werte sowohl mit den früh-postoperativ gewonnenen Daten als auch mit den Werten des langfristigen Verlaufes. Des Weiteren sollen aus den vorhandenen klinischen Daten die peri- und postoperativen Risiken, die Letalität und die postoperativ aufgetretenen Komplikationen erhoben werden. Es zeigte sich, dass die Aortenreduktionsplastik mit externer Wandverstärkung ein sicheres und effektives Verfahren darstellt, bei dem eine deutliche und langfristig stabile Reduktion des Aortendurchmessers mit einer geringen Morbidität und Mortalität einhergeht. Mortalitäts- und Komplikationsraten entsprachen den vergleichbaren Daten großer, internationaler Studien. Wir zeigen, dass die präoperative Aneurysmagröße keinen Einflussfaktor für ein erhöhtes peri- oder postoperatives Risiko darstellt; lediglich bei Patienten, die älter als 65,5 Jahre sind, ist mit tendenziell längeren Liegezeiten auf der Intensivstation zu rechnen. Die Bestimmung des Aortendurchmessers kann sowohl prä- als auch postoperativ mittels transthorakaler Echokardiografie oder Computertomografie vorgenommen werden, da sich die Messergebnisse mit beiden Verfahren nicht signifikant unterscheiden. Eine minimale Zunahme des Aortendurchmessers im langfristigen postoperativen Verlauf ist möglich, jedoch statistisch nicht signifikant. Zusammenfassend tragen die Ergebnisse dieser Dissertation dazu bei, das Risikoprofil von Patienten mit proximalen thorakalen Aortenaneurysmen besser abzuschätzen und somit die Datenlage, auf welcher die individuelle Therapieentscheidung für jeden Patienten fußt, zu verbessern.

## ABSTRACT

According to currently-available data from literature, reduction aortoplasty together with external wall strengthening represents a safe and effective procedure, with low mortality and morbidity, and late complications only in rare cases. However, clear risk factors for ineffective treatment and postoperative complications have yet to be conclusively defined.

The aim of this dissertation was therefore to monitor the diameter of the ascending aorta in a cohort of 50 consecutive patients from the preoperative, through the early postoperative to the long-term postoperative stages. In order to investigate the effect of the operation on aortic diameter, preoperative echocardiographic values were compared with both early postoperative data and long-term values. Existing clinical data on peri- and postoperative risks, case fatality rates and postoperative complications were also used. It was found that reduction aortoplasty with external wall strengthening is a safe and effective procedure, giving a clear, long-term and stable reduction of aortic diameter together with low morbidity and mortality. Mortality and complication rates were in line with comparable data from large, international studies. It is shown that preoperative aneurysm size does not influence peri- or postoperative risk. However, patients over 65.5 years of age can be expected to spend longer periods in intensive care. Aortic diameter can be determined both preoperatively and postoperatively by transthoracic echocardiography or computer tomography, as the values given by these two methods do not significantly differ. A minimal long-term postoperative increase of aortic diameter is possible, but not statistically significant. In summary, the results of this dissertation contribute to improved assessment of the risk profile of patients with proximal thoracic aortic aneurysms, and thus improve the available data on which to base individual therapy decisions for each patient.

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A.	Arterie/Aorta
AA	Arrhythmia absoluta
ANOVA	Varianzanalyse
AP	Angina pectoris
AV	atrioventrikular/atrioventrikulär
CT	Computertomografie
ES	Extrasystole(n)
ESC	<i>European Society of Cardiology</i>
EK	Erythrozytenkonzentrat
EKG	Elektrokardiogramm
EKZ	extrakorporale Zirkulation
FFP	<i>fresh frozen plasma</i>
Hb	Hämoglobin
KHK	koronare Herzerkrankung
LDL	<i>low density lipoprotein</i>
LSB	Linksschenkelblock
LV	linker Ventrikel
MRT	Magnetresonanztomografie
OP	Operation
RSB	Rechtsschenkelblock
RV	rechter Ventrikel
TIA	transitorische ischämische Attacke
TK	Thrombozytenkonzentrat
TTE	transthorakale Echokardiografie

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 EINLEITUNG .....	1
1.1 Das Aortenaneurysma.....	1
1.1.1 Anatomie der thorakalen Aorta .....	1
1.1.2 Definition .....	1
1.1.3 Klassifikation .....	1
1.1.4 Ätiologie und Pathogenese.....	3
1.1.5 Klinik.....	7
1.1.6 Diagnostik.....	8
1.1.7 Operationsindikation.....	9
1.1.8 Operationsergebnisse und -komplikationen .....	10
1.2 Historische Entwicklung der proximalen Aortenoperation .....	11
1.3 Operationsverfahren der heutigen Zeit.....	12
1.4 Ziel der Arbeit.....	14
2 MATERIAL UND METHODEN .....	16
2.1 Patientenkollektiv und Datenerhebung.....	16
2.2 Operationsmethode.....	17
2.3 Klinischer Verlauf .....	19
2.4 Statistische Methoden .....	20
2.4.1 Statistische Auswertung mittels Regressionsanalyse.....	20
2.4.2 Statistische Auswertung mittels <i>t</i> -Test.....	20

3	ERGEBNISSE .....	22
3.1	Präoperative Daten .....	22
3.1.1	Patientencharakteristika und Risikoprofil.....	22
3.1.2	Klinische Untersuchungsbefunde .....	25
3.1.3	Präoperative Untersuchungsergebnisse.....	26
3.2	Intraoperative Daten.....	36
3.2.1	Im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführtes Operationsverfahren.....	36
3.2.2	Operationszeiten .....	38
3.2.3	Komplikationen .....	41
3.2.4	Fremdblutgabe .....	42
3.3	Früh-postoperative Verlaufsdaten .....	43
3.3.1	Zeitraum der Intensivüberwachung .....	43
3.3.2	Beatmungszeit.....	45
3.3.3	Fremdblutgabe .....	47
3.3.4	Komplikationen.....	47
3.3.5	Echokardiografische Ergebnisse .....	49
3.3.6	EKG-Befund .....	51
3.3.7	Befunde bei Entlassung.....	52
3.4	Spät-postoperative Verlaufsdaten .....	53
3.4.1	Echokardiografische Ergebnisse .....	53
3.4.2	Computertomografische Ergebnisse .....	54
3.4.3	Vergleich der echokardiografischen sowie der computertomografischen Daten im Verlauf .....	55



4 DISKUSSION.....	59
4.1 Patientenkollektiv und präoperative Untersuchungsergebnisse .....	59
4.2 Operationsverfahren und perioperativer Verlauf .....	61
4.3 Früh-postoperativer Verlauf und Operationsergebnisse.....	68
4.4 Langzeitverlauf.....	69
4.5 Schlussfolgerungen.....	70
5 LITERATURVERZEICHNIS .....	71
6 ANHANG .....	76
7 DANKSAGUNG	

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Das Aortenaneurysma

### 1.1.1 Anatomie der thorakalen Aorta

Die thorakale Aorta nimmt ihren Ursprung aus dem linken Ventrikel des Herzens. Der Aortenabschnitt vom Klappenring bis ungefähr 2 cm aufwärts, welcher die Aortenklappensegel und die Abgänge der Koronararterien birgt, wird als Aortenwurzel, Bulbus aortae oder auch nach seinem Erstbeschreiber als Sinus Valsalvae bezeichnet. Die Aorta ascendens bildet den Bereich zwischen dem Aortenklappenring und dem Abgang des Truncus brachiocephalicus. Der Aortenbogen stellt den Abschnitt zwischen Aorta ascendens und descendens dar, aus dem die supraaortalen Äste (Truncus brachiocephalicus, Arteria carotis sinistra, Arteria subclavia sinistra) entspringen. Die Aorta descendens verläuft vom Abgang der linken Arteria subclavia bis zur Aortenbifurkation [1].

### 1.1.2 Definition

Der Begriff Aneurysma ist griechischen Ursprungs und bedeutet Aufweitung bzw. Dilatation [2]. Darunter wird eine unphysiologische, örtlich begrenzte Erweiterung des Arterienlumens, die mehr als 50 % des ursprünglichen Gefäßdurchmessers beträgt, verstanden. Bei einer Zunahme des Durchmessers um 25 % wird von einer Ektasie gesprochen [3-5].

### 1.1.3 Klassifikation

Die Klassifikation der Aneurysmen richtet sich nach den an der Veränderung beteiligten Wandschichten der betroffenen Arterie. Während es bei einem Aneurysma verum durch Schwächung und Dilatation zu einer Ausbuchtung aller Gefäßwandschichten kommt, entsteht das Aneurysma spurium (falsum) beispielsweise auf dem Boden einer iatrogenen Gefäßverletzung mit daraus

resultierender kompletter Durchtrennung der Intima und Media. Es bildet sich ein nach außen hin von der Adventitia begrenzter, blutdurchströmter paravasaler Raum, wobei die eigentliche Gefäßwand keine pathologischen Veränderungen aufweist. Im späteren Verlauf entwickelt sich ein perivasales, bindegewebig umgebautes Hämatom [4].

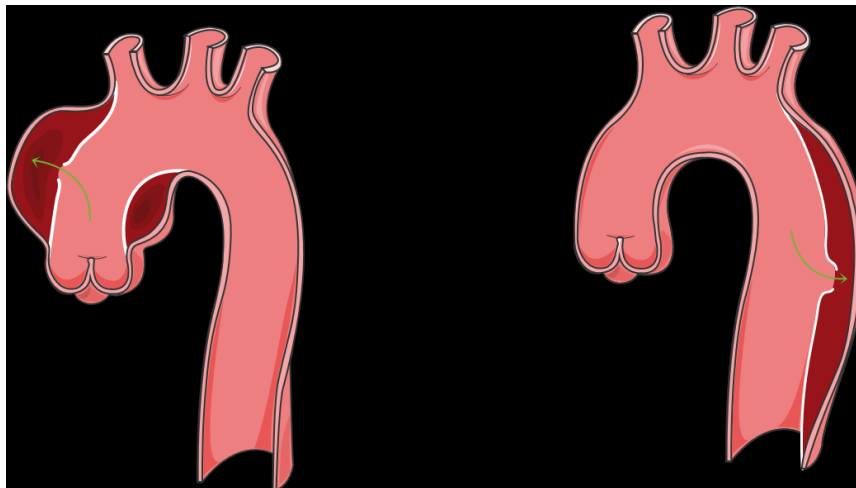
Das Aneurysma dissecans nimmt eine Sonderstellung unter den Aneurysmen ein. Es resultiert aus einem lokalisierten Einriss („Entry“) der Aortenwand, der sich durch die Intima bis in die Media ausdehnen kann [5]. Im Gegensatz zum Aneurysma verum sind hierbei nicht alle Wandschichten betroffen. Infolge dieser intramuralen Einblutung kommt es zu einem Abscheren der Gefäßwandschichten, wobei der von der Intima begrenzte Anteil des auf diese Weise entstandenen Doppelrohrs als echtes Lumen bezeichnet wird. Bei dem zwischen Intima und Media gelegenen Teil handelt es sich folglich um ein falsches Lumen. Die Dissektion kann sich durch den hohen Blutdruck in der Aorta in longitudinaler Richtung nach antegrad und/oder retrograd fortsetzen. Falls der Blutstrom im falschen Lumen weiter distal wieder Anschluss an das echte Lumen gewinnt, wird dieser sekundäre Einriss auch als „Reentry“ bezeichnet.

Hinsichtlich prognostischer Unterschiede wird die Dissektion in unterschiedliche Typen eingeteilt. In der Literatur haben sich zwei Klassifikationen der Aortendissektion durchgesetzt:

Die ältere Klassifikation nach DeBakey unterscheidet drei Typen und berücksichtigt die Lokalisation des primären Einrisses sowie die longitudinale Ausdehnung der Dissektion [6]. Beim Typ I umfasst die Dissektion den Bereich der Aorta ascendens, wobei das Doppellumen über die Aorta ascendens hinaus bis in den Aortenbogen oder in die Aorta descendens reichen kann. Beim Typ II ist die Dissektion auf die Aorta ascendens beschränkt. Erfolgt das „Entry“ im Bereich der proximalen Aorta descendens und betrifft das Doppellumen die Aorta distal des Aortenbogens, so liegt ein Typ III vor.

Die Stanford-Klassifikation teilt die Dissektionen nicht unter dem Aspekt der Lokalisation des Einrisses, sondern unter der Berücksichtigung der Ausdehnung des Doppellumens in die Typen A und B ein (Abbildung 1) [7]. Typ-A-Dissektionen beziehen sich auf die Aorta ascendens, wobei auch distale Anteile von der

Dissektion betroffen sein können (DeBakey Typ I und II). Die Typ-B-Dissektionen sind auf die Aorta descendens beschränkt, unabhängig von deren distaler Ausdehnung (DeBakey Typ III). Wegen der höheren therapeutischen Relevanz hat sich die Stanford-Einteilung weitgehend durchgesetzt. Nach morphologischen Gesichtspunkten können zudem ein zylindrisches, ein spindelförmiges und ein sackförmiges Aneurysma unterschieden werden.



**Abbildung 1: Aneurysma dissecans der Aorta ascendens (Stanford A, links) sowie der Aorta descendens (Stanford B, rechts)**

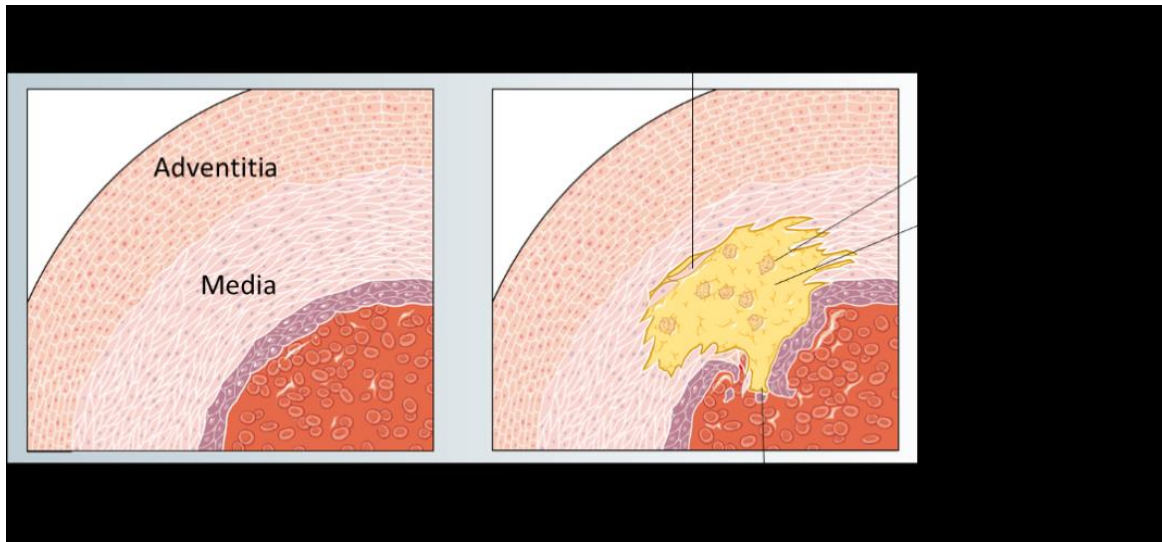
#### 1.1.4 Ätiologie und Pathogenese

Die idiopathische Mediadegeneration stellt die häufigste Ursache für die Entwicklung von Aneurysmen im Bereich der Aorta ascendens und des Aortenbogens dar. Dabei handelt es sich um eine wahrscheinlich genetisch bedingte Strukturstörung der Media, bei welcher die elastischen Fasern aufgrund einer gestörten Kollagensynthese verringert sind und kompensatorisch vermehrt Glykosaminoglykane abgelagert werden. Histologisch zeigt sich eine atrophische Aortenmedia mit dünnen elastischen Fasern [8, 9]. Meist erkranken Männer (Geschlechtsverteilung 3:1) im 30. bis 50. Lebensjahr und oft findet sich eine enge klinische Assoziation mit dem Marfan-Syndrom. Dieses zählt zu den angeborenen Bindegewebserkrankungen, bei denen es zu einer Schädigung des kollagen-elastischen Fasergerüsts der Media kommt. Es führt typischerweise zu einer Dilatation der Aortenwurzel im Sinne einer anulo-aortalen Ektasie. Weitere

hereditäre Erkrankungen, die mit einer erhöhten Prädisposition für ein Aortenaneurysma einhergehen, sind das Ehlers-Danlos-Syndrom sowie das Loeys-Dietz-Syndrom [9].

Neuere Untersuchungen unter Verwendung molekularbiologischer Techniken (mRNA-Expressionsanalysen, Massenspektrometrie, Proteinexpressionsanalysen) weisen zudem darauf hin, dass bei der Entstehung eines thorakalen Aortenaneurysmas bei Patienten mit trikuspiden Aortenklappen andere zellbiologische Mechanismen stattfinden als bei Patienten mit bikuspiden Aortenklappen (inflammatorische Prozesse vs. erniedrigte Reparaturkapazität) [10].

Das arteriosklerotisch bedingte Aneurysma stellt mit 65 % aller Aneurysmen eines der häufigsten dar und tritt vorwiegend bei Menschen jenseits des 50. Lebensjahres auf [11]. Es ist zumeist im Aortenbogen lokalisiert, seltener auch in den Beckenarterien, der A. femoralis und der A. poplitea. Als Risikofaktoren für die Entstehung der Arteriosklerose sind Nikotinabusus, Adipositas, Hypertonie, Diabetes mellitus, Hyperlipoproteinämie, männliches Geschlecht sowie eine positive Familienanamnese etabliert [12]. Zu Beginn dieses multifaktoriellen degenerativen Umbauprozesses steht ein Verlust an elastischen Fasern (Elastinolyse) infolge einer erhöhten proteolytischen Aktivität, die aus einer lokalen Entzündungsreaktion in der Gefäßwand resultiert [13]. In diesen Entzündungsherd werden zu Schaumzellen transformierte Makrophagen, Zelltrümmer, Entzündungszellen und aktivierte Fibroblasten eingelagert. Hierdurch kommt es zu einer vermehrten Elastasefreisetzung als Reaktion auf die atherosklerotischen Gefäßwandnoxen (Rauchen, oxidiertes LDL). Die entzündlichen Veränderungen, die auch die Vasa vasorum betreffen, führen zu einer mangelhaften Nutrition, in deren Folge die Muskelzellen der Media untergehen und durch kollagenhaltiges Narbengewebe ersetzt werden. Die lokale Koagulationsnekrose durch Minderdurchblutung unterhält das Entzündungsgeschehen und durch den Ersatz von Elastin- durch Kollagenfasern nimmt die Wand zunehmend an Dehnbarkeit ab (Abbildung 2) [14].



**Abbildung 2: Pathophysiologie der Atherosklerose.** Gesunde Gefäßwand (links) sowie Gefäßwand mit oberflächlich rupturiertem atherosklerotischem Plaque (rechts). Eine solche Ruptur kann Ausgangspunkt für die Bildung eines okkludierenden Thrombus oder eine Eintrittspforte für eine dissezierende Wühlblutung sein.

Neben der Wandinstabilität kommt den biophysikalischen Mechanismen eine entscheidende Bedeutung zu. Gemäß dem Laplaceschen Gesetz entwickelt sich ein Aneurysma über eine Dysbalance zwischen tangentialer Wandspannung und Wandelastizität:

$$T = P \cdot r / d$$

*(T, Wandspannung; P, Blutdruck; r, Gefäßradius; d, Wanddicke)*

Die Gleichung zeigt, dass aus zunehmendem Aneurysmadurchmesser sowie zunehmender Wandverdünnung ein circulus vitiosus entsteht.

Unter dem Begriff mykotische Aneurysmen werden alle Aneurysmen zusammengefasst, denen eine entzündliche Genese durch Bakterien, Pilze oder andere Erreger zugrunde liegt [15, 16]. Die verschiedenen Erreger, die im Rahmen einer Bakteriämie über die Vasa vasorum oder vom Gefäßlumen her die Arterienwand erreichen, können diese durch Abszedierungen derart beschädigen, dass sie dem arteriellen Druck nicht mehr standhalten kann. Dabei ist eine bakterielle Endokarditis als häufigste Ursache zu nennen (ca. 80 %). Das syphilitische Aneurysma entwickelt sich auf dem Boden einer Mesoarteritis luca [17].

Im Rahmen der tertiären Syphilis führt eine Vaskulitis der Vasa vasorum zu einer zunehmenden Obliteration dieser Gefäße. Daraufhin bilden sich in der Media ischämische Nekrosen, die später bindegewebig organisiert werden. Durch den zunehmenden Elastizitätsverlust und die Wandschwäche kann sich die Aorta im weiteren Verlauf aneurysmatisch ausweiten [8]. Die bevorzugte Lokalisation eines syphilitischen Aneurysmas sind der Aortenbogen und die Aorta ascendens, wobei dessen Häufigkeit seit Einführung der Antibiotika stark zurückgegangen ist.

Auch Vaskulitiden, besonders jene vom Typ der nekrotisierenden Arteriitiden, zu denen unter anderem die Panarteriitis nodosa, die Riesenzellarteriitis und das Kawasaki-Syndrom zählen, können durch Nekrosen der Gefäßwand zu einer Destabilisierung der Arterienwand und im weiteren Verlauf zur Aneurysmabildung führen [18].

Traumatische Aneurysmen betreffen gewöhnlich die Aorta descendens knapp unterhalb des Abgangs der linken Arteria subclavia und nur äußerst selten die Aorta ascendens. Ihrer Entstehung liegt oft ein Dezelerationstrauma oder ein stumpfes Thoraxtrauma zugrunde [19].

Unter kongenitalen Aneurysmen wird eine Gruppe lokalisierter echter Aneurysmen, die oft von den Hirnbasisgefäßen ausgehen und durch eine angeborene Bildungsstörung der Extrazellulärmatrix der Media hervorgerufen werden, zusammengefasst [20]. Aneurysmen des Aortenbogens treten im Kindesalter selten auf und sind dann meist mit anderen Missbildungen wie den Sinus-Valsalvae-Aneurysmen oder der Koarktation vergesellschaftet.

Wie an der Aneurysmaentstehung ist auch an der Entwicklung einer Aortendissektion die Arteriosklerose in Verbindung mit einer langjährigen arteriellen Hypertonie maßgeblich beteiligt [21]. Letztere führt auch hier zu einer Intimaverdickung, die zusammen mit sklerotischen Gefäßveränderungen der Vasa vasorum eine Ernährungsstörung bedingt. Im Anschluss daran kommt es dann zu einem fibrotischen Umbau der Media. Dieser Prozess begünstigt das Auftreten einer Dissektion besonders bei einer vorbestehenden Ektasie der Aorta aufgrund einer arteriellen Hypertonie (vgl. Abbildung 2). Auch eine angeborene Gefäßwandschwäche beim Marfan-Syndrom oder beim Ehlers-Danlos-Syndrom kann in ursächlichem Zusammenhang mit einer Aortendissektion stehen [22]. Die

Inzidenz der akuten Aortendissektion liegt zwischen 5–10 pro 1.000.000 Einwohner und Jahr. Der Häufigkeitsgipfel liegt zwischen 50–70 Jahren, wobei Männer mit einer Geschlechtsverteilung von 3:1 häufiger betroffen sind [23].

Die Prädilektionsstellen für den Intimaeinriss sind die Aorta ascendens kurz oberhalb der Aortenklappe und die Aorta descendens unmittelbar am Abgang der A. subclavia sinistra. Am häufigsten ereignen sich Dissektionen im ascendierenden Teil der thorakalen Aorta (65 %), seltener im transversalen (10 %) und deszendierenden (20 %) Teil und weiter distal in nur 5 %.

#### 1.1.5 Klinik

Die meisten thorakalen Aortenaneurysmen verlaufen asymptomatisch und werden durch Zufall im Rahmen einer Röntgenuntersuchung des Thorax oder einer Echokardiografie entdeckt [24]. Erst größere Aneurysmen gehen gewöhnlich mit Symptomen einher, die meist durch die Kompression benachbarter Strukturen hervorgerufen werden; hierbei ist die Symptomatik von der genauen Lokalisation des Aneurysmas abhängig [25]. So kann die Obstruktion der Vena cava superior mit oberer Einflusstauung oder die Obstruktion der Pulmonalarterie mit Rechtsherzinsuffizienz ein erster Hinweis auf ein Aneurysma der Aorta ascendens sein. Bei Aortenbogenaneurysmen treten bisweilen Stridor, Atemnot und Dysphagie auf, die jeweils auf eine Kompression der Trachea, eines Hauptbronchus oder des Ösophagus zurückzuführen sind. Seltener fällt ein Aneurysma des Aortenbogens durch Heiserkeit auf; dabei kommt es infolge einer chronischen Expansion des Aneurysmas zu einer Druckschädigung des Nervus recurrens. Eine Aneurysmaarrosion von Bronchus oder Pulmonalparenchym kann in einigen Fällen zu Hämoptoe führen.

Im Falle einer Ausdehnung des Aneurysmas in Richtung der Aortenklappe bis proximal des sino-tubulären Übergangs entsteht ein Schließdefizit der Aortenklappentaschen, das eine Aortenklappeninsuffizienz zur Folge hat [24]. Nicht rupturierte Sinus-Valsalvae-Aneurysmen können durch Verlegung des rechten Koronarostiums mit ventrikulären Rhythmusstörungen und AV-Blockierungen vergesellschaftet sein. Die am schwersten wiegende Komplikation bei Aneurysmen



der proximalen Aorta stellt die Ruptur dar, die entweder als (primär) gedeckte oder offene Ruptur in das Perikard, das Mediastinum oder die linke Pleurahöhle erfolgen kann und in vielen Fällen zum sofortigen Tod führt [26]. Die Wahrscheinlichkeit einer Ruptur oder Dissektion bei einem Aortendurchmesser von mehr als 5 cm beläuft sich auf 5–10 % Prozent pro Jahr [27].

Das Leitsymptom der akuten Aortendissektion ist der plötzlich einsetzende, starke thorakale Schmerz, der retrosternal, links-, rechtsthorakal oder auch dorsal zwischen den Schulterblättern lokalisiert sein kann [25, 28]. Das Schmerzereignis selbst beruht auf der akuten Dehnung der sensibel versorgten Aortenadventitia. Dieses klinische Bild kann zu der Verdachtsdiagnose „Angina pectoris“ oder „Herzinfarkt“ verleiten. Durch die Ausbildung des Doppellumens kann es zu einer Abscherung oder Verlegung von aortalen Ästen kommen. Die in den Dissektionsprozess einbezogenen, aus dem Aortenlumen abgehenden Gefäße bestimmen das klinische Bild. So ist die Angina pectoris oder die myokardiale Ischämie ein Symptom der Malperfusion der Koronararterien. Eine Pulsdifferenz der oberen und unteren Extremitäten, eine Pulsabschwächung oder ein Pulsverlust ist verdächtig für ein Dissektionereignis im Bereich der Arteria subclavia. Liegt eine kritische Minderperfusion der hirn- oder rückenmarksversorgenden Arterien vor, imponiert eine neurologische Symptomatik mit Hemiparesen, sensiblen oder motorischen Ausfällen oder akuter Paraplegie. Ein zerebraler Insult kann auf eine Verlegung der Arteria carotis hinweisen. Eine gefährliche Komplikation der Dissektion stellt die intraperikardiale Aortenruptur dar, die zu einer Perikardtamponade mit dem klinischen Bild eines kardiogenen Schocks führen kann [25, 29].

#### 1.1.6 Diagnostik

Bereits in der Anamnese können kardiovaskuläre Risikofaktoren, eine familiäre Disposition, Begleiterkrankungen sowie Beschwerden und Symptome erhoben werden [24, 30]. In der sich daran anschließenden körperlichen Untersuchung sollte ein besonderes Augenmerk auf den Puls- und Gefäßstatus gelegt werden. Dabei sind sichtbare und tastbare Pulsationen der vorderen Thoraxwand, ein Vena-cava-

superior-Syndrom und Blutdruckdifferenzen an den oberen Extremitäten wichtige Hinweise im Rahmen der Diagnostik.

Die weitere Diagnostik sollte eine Röntgenaufnahme des Thorax, eine transthorakale oder transösophageale Echokardiografie, eine Computertomografie oder eine Magnetresonanztomografie umfassen [30, 31]. Während die Röntgenaufnahmen im posterior-anterioren und seitlichen Strahlengang die typische Mediastinalverbreiterung zeigen, eignet sich die Echokardiografie zur besseren Beurteilung von Aortenklappe und Aortenwurzel und darüber hinaus auch für postoperative Verlaufskontrollen. Die Computertomografie als diagnostisch sehr sensitives Verfahren erlaubt die exakte Abschätzung der thorakalen Aortendurchmesser und gibt Aufschluss über Lokalisation, Ausdehnung und Form des Aneurysmas [32]. Ferner eignet sich auch die Magnetresonanztomografie zur Diagnostik vor allem von Dissektionen, da sie eine Differenzierung von echtem und falschem Lumen sowie die Darstellung einer Thrombosierung ermöglicht.

Die Herzkatheteruntersuchung mit Koronarangiografie, die digitale Subtraktionsangiografie der Aorta und die Doppleruntersuchung der supraaortalen Äste sind fakultative Untersuchungen, mit denen eine Aussage über das Ausmaß der Gefäßerkrankung getroffen werden kann. Ihre Anwendung hat im Laufe der Zeit aufgrund der Sensitivität von CT und MRT an Bedeutung verloren, allerdings ist eine Koronarangiografie vor einem operativen Eingriff an der Aorta ascendens obligat [2, 3, 27].

#### 1.1.7 Operationsindikation

In Anbetracht der erhöhten Gefahr einer Ruptur oder Dissektion und angesichts der deutlich verbesserten Lebenserwartung operierter im Vergleich zu konservativ behandelten Patienten sollte eine operative Korrektur der Aorta ascendens und des Aortenbogens angestrebt werden. Ohne Therapie rupturieren 50 % aller Aneurysmen innerhalb von 10 Jahren, wohingegen es bei unbehandelten, bereits symptomatischen Aortenaneurysmen mit annähernd 90%iger Wahrscheinlichkeit zum Auftreten eines Aneurysmaeinrisses kommt, weshalb sich hier die Operationsindikation bei Diagnosestellung ergibt [26]. Im Falle einer gedeckten oder

freien Ruptur, einer lebensbedrohlichen Kompression benachbarter Organe sowie einer akuten Aortendissektion ist eine Notfalloperation unverzüglich einzuleiten [29]. Aufgrund des relativ hohen Operationsrisikos sind die individuelle Konstitution des Patienten und sein Risikoprofil zu berücksichtigen. Dabei sind unter anderem der Schweregrad der Funktionseinschränkung der Aortenklappe sowie eine begleitende koronare Herzerkrankung zu beachten. Eine chirurgische Korrektur des Aneurysmas im Sinne einer elektiven Operation ist bei einem Aortendurchmesser von mehr als 50 mm und einem vertretbaren Operationsrisiko anzuraten. Bei zunehmender Progredienz des Aortenaneurysmas, bei Patienten mit Marfan-Syndrom oder einer positiven Familienanamnese hinsichtlich einer Aortendissektion kann die operative Versorgung auch eher erfolgen; ein Durchmesser von 40–45 mm kann hier bereits als ausreichend für die Entscheidung zum Aortenersatz gesehen werden [1, 27]. Ein abwartendes Verhalten mit regelmäßigen Ultraschallkontrollen und eventuell begleitender antihypertensiver Therapie ist bei sehr kleinen Aneurysmen zu vertreten. Asymptomatische Aneurysmen bei Patienten über 80 Jahre werden ebenfalls konservativ therapiert [26].

#### 1.1.8 Operationsergebnisse und -komplikationen

Der elektive Ersatz der Aorta ascendens mit Ersatz oder Rekonstruktion der Aortenklappe kann mittlerweile dank der Verbesserung von Operationstechnik, Kardioplegie und Anästhesie mit einer Letalität von weniger als fünf Prozent durchgeführt werden; werden isoliert die Ergebnisse der über 80-jährigen Patienten betrachtet, liegt die Letalität ebenfalls nur knapp über fünf Prozent [33, 34]. Durch die Anwendung der extrakorporalen Zirkulation haben sich die Behandlungsergebnisse ebenfalls deutlich verbessert. Der Einsatz der Herz-Lungen-Maschine stellt einen entscheidenden Schritt in der Entwicklung der Herzchirurgie dar, da sie dem Chirurgen die Möglichkeit eröffnet, am stillgelegten und blutleeren Herzen mit der nötigen Genauigkeit zu arbeiten [35]. Darüber hinaus ermöglicht sie den Einsatz der systemischen Hypothermie, mit welcher die Ischämietoleranz einzelner Organe, insbesondere des Herzens und des zentralen Nervensystems, deutlich verbessert werden kann. Als mögliche negative

Auswirkungen sind embolische Komplikationen, Veränderungen des Metabolismus im Sinne einer lokalen Entzündungsreaktion und Blutgerinnungsstörungen durch den Verbrauch von Gerinnungsfaktoren zu nennen. Die Morbidität des Eingriffes ist jedoch größtenteils von den vorliegenden Begleiterkrankungen abhängig [27].

Operative Eingriffe der thorakalen Aorta sind aber auch weiterhin mit einem relativ hohen peri- und postoperativen Risiko für die Patienten behaftet. Es kann im Zuge der Operation zu Nahtinsuffizienzen an den Anastomosestellen oder zu Protheseninfektionen kommen [26]. Die wesentliche Komplikation des proximalen Aortenersatzes stellt hingegen die unstillbare Hämorrhagie dar. Ist es nicht möglich, diese Blutungen von außen zu stillen, so muss die Aortenprothese unter erneuter Abklemmung nochmals längs eröffnet werden, zudem werden heute ausschließlich beschichtete Prothesen verwendet. Die Indikation für einen Aortenbogenersatz ist – aufgrund einer 5–10 % höheren Letalität im Vergleich zum Aorta-ascendens-Ersatz – strenger zu stellen [26]. Dabei liegt die Besonderheit dieses Eingriffes in der Problematik der zerebralen Ischämie bei einer Unterbrechung des Blutflusses in beiden Karotiden.

## 1.2 Historische Entwicklung der proximalen Aortenoperation

Die chirurgische Therapie von Aneurysmen basiert auf einer bereits jahrhundertealten Tradition. Mitte des 19. Jahrhunderts schlug Moore die Einführung von Draht in ein Aneurysma vor [36]. Von dieser Idee ausgehend, hatten die darauffolgenden Methoden eine Obliteration des Aneurysmas zum Ziel. So gelang es Blakemore und King, mittels wärmeleitender Materialien im Sinne einer Elektrokoagulation die Gerinnung innerhalb der Gefäßaussackung zu induzieren [37].

Im weiteren Verlauf entwickelte Matas das Prinzip der Endoaneurysmorrhaphie. Dabei wurde der Blutfluss des betroffenen Gefäßes kurzfristig unterbunden und die Aussackung des Aneurysmas eröffnet und obliteriert [38]. Später führte er das Verfahren der rekonstruktiven Endoaneurysmorrhaphie ein, wobei die dilatierte Gefäßwand durch eine Naht gerafft und somit die Strombahn wiederhergestellt

werden konnte. Die Idee, thorakale Aortendilatationen mit einer Zellophanumhüllung zu stabilisieren, ist auf Poppe zurückzuführen [39].

Im Jahr 1902 praktizierte Tuffier als einer der Ersten die chirurgische Exzision eines Aortenaneurysmas [40]. Aufgrund der zum damaligen Zeitpunkt fehlenden Möglichkeiten einer suffizienten Aufrechterhaltung der Blutzirkulation und der daraus resultierenden Unterversorgung von Herz und Hirn sowie in Ermangelung einer dichten und leicht zu handhabenden Gefäßprothese beschränkte sich die Chirurgie des proximalen thorakalen Aortenabschnittes bis Mitte der 50er-Jahre auf die Abtragung sakkulärer und die Raffung fusiformer Aneurysmen [41, 42].

Die von Gibbon 1953 in die Herzchirurgie eingeführte Herz-Lungen-Maschine ebnete den Weg für neue Therapieansätze [35]. So war es erstmals möglich, einen tubulären Ersatz der Aorta ascendens in Erwägung zu ziehen. Dieses Verfahren wurde 1954 von De Bakey und Cooley erfolgreich etabliert, die nach erfolgter Resektion eines thorakalen Aortenaneurysmas die arterielle Strombahn mittels eines Protheseninterponats wiederherstellten [43, 44]. Später folgte der radikale Ersatz der Aorta ascendens als Kombinationseingriff mit einer Rekonstruktion der defekten Aortenklappe [45]. Im weiteren Verlauf entwickelte Starr eine Operationstechnik, welche den separaten Ersatz von Aorta ascendens und Aortenfundament möglich machte [46, 47].

### 1.3 Operationsverfahren der heutigen Zeit

Ein Verfahren, das bis heute noch Anwendung findet, geht auf Wheat und seine Mitarbeiter zurück. Sie führten 1964 den separaten Ersatz von Aortenklappe und aufsteigender Aorta durch [48]. Dabei wurde zunächst die Aortenklappe in üblicher Weise ersetzt. Darüber hinaus gelang es ihnen, die aneurysmatisch erweiterte Aorta ascendens bis auf die Ränder der Mündungsstellen der Koronarostien zu resezieren und danach durch eine Rohrprothese zu ersetzen. Den entscheidenden Schritt stellte die Reimplantation der Koronarostien in die bereits zurechtgeschnittene Prothese dar.

Eine Weiterentwicklung dieser Methode wurde 1968 von Bentall und De Bono praktiziert [49]. Sie entwickelten eine klappentragende Kombinationsprothese,

welche den gemeinsamen Ersatz von Aorta ascendens und Aortenklappe mit der Reimplantation der beiden Koronararterien erlaubt. Bei diesem Verfahren werden die Koronarostien in Kontinuität mit der Aortenwand mit der Kombinationsprothese anastomosiert. Diese beiden Operationstechniken sind im Falle einer anuloortalen Ektasie in Erwägung zu ziehen, wenn das Aortenfundament über den eigentlichen Aszendensabschnitt der Aorta hinaus dilatiert ist [50]. Cabrol und seine Mitarbeiter entwickelten eine Alternative zu dem von Bentall und De Bono empfohlenen Verfahren. Hierbei wurden die beiden Koronarostien zunächst mit einer 8-mm-Dacronprothese verbunden und anschließend Seit-zu-Seit mit der Aortenprothese anastomosiert [51].

Sind die Aortenklappentaschen durch die Erweiterung der Aortenwurzel proximal des sino-tubulären Übergangs in den Krankheitsprozess mit einbezogen, kann ein rekonstruktiver Eingriff mit dem Ziel des Klappenerhalts angestrebt werden. Bei dem von Yacoub und Sarsam beschriebenen Verfahren wird die Aortenwand der drei Sinus Valsalvae bis zum Übergang in den Ventrikel herausgeschnitten und durch eine dreizipfelig geformte Prothese ersetzt [52]. Die drei überstehenden Aortenklappentaschen erhalten ihre Schlussfläche durch ihre Aufhängung mittels Gefäßprothese zurück [1].

Die operative Behandlung mittels einer Reduktions- und Einscheidungsplastik wurde von Senning vor allem für die Behebung der poststenotischen Dilatation empfohlen und von Robicsek auch bei anuloortaler Ektasie angewandt [53-55]. Dieses Vorgehen birgt jedoch die Gefahr einer postoperativen Re-Dilatation, da das erkrankte Aortenfundament größtenteils stehen bleibt. Daher sollte dieses Verfahren den Patienten mit schweren arteriosklerotischen Veränderungen vorbehalten sein, bei denen ein kombinierter Prothesenersatz zu gefährlich erscheint [50].

Die aktuellen Leitlinien der ESC (2014) sehen bei proximal der sinotubulären Junktion sowie distal des Aortenbogens zu liegenden Aneurysmen den Einsatz einer Rohrprothese unter kurzer Abklemmzeit der Aorta vor [28]. Eine Umscheidung der Aorta oder eine Reduktionsplastik ist im Normalfall nicht geboten, kann aber im Einzelfall vorgenommen werden. Bei weiter proximal gelegenen Aneurysmen empfehlen die Autoren, sofern eine (normale) trikuspidale Aortenklappe

vorliegt, diese Klappe zu erhalten [28]. Im Falle einer biskupiden Aortenklappe soll, sofern der Patient hierfür infrage kommt, ein mechanischer oder biologischer Klappenersatz in Betracht gezogen werden. Weiter distal gelegene Aneurysmen sollen mit einem Ersatz des Aortenbogens oder -halbbogens versorgt werden. Die Mortalitätsraten bei diesen Verfahren hängen in erster Linie von den begleitenden Risikofaktoren und dem Alter des Patienten ab; für unter 55-Jährige wurde eine Mortalitätsrate von 1,2 % und ein Schlaganfallrisiko von 0,6–1,2 % publiziert [56].

#### 1.4 Ziel der Arbeit

Das Verfahren der Aortenreduktionsplastik in Kombination mit einer externen Wandverstärkung bei definiertem chronischen Aneurysma und Fehlen von Strukturanomalien stellt nach den bislang vorliegenden Daten aus der Literatur eine sichere und effektive Methode mit niedriger Mortalität, Morbidität und nur selten auftretenden Spätkomplikationen dar. Auch im Hinblick auf die Langzeitüberlebensraten sowie den komplikationslos verlaufenden unmittelbaren perioperativen Verlauf repräsentiert diese Technik heutzutage ein Standardverfahren in der Behandlung solcher Erkrankungen. Allerdings sind bis zum heutigen Zeitpunkt eindeutige Risikofaktoren für eine nicht effektive Behandlung sowie einen komplizierten postoperativen Verlauf nicht abschließend definiert. Eine Definition solcher Risikofaktoren könnte dazu beitragen, das individuelle Risiko für einzelne Patienten besser abzuschätzen und damit im Einzelfall zusätzliche stichhaltige Argumente für oder gegen einen operativen Eingriff an die Hand zu bekommen. Dies würde den Outcome in der Gruppe der behandelten Patienten verbessern und Patienten mit hohem Risiko ggf. eine Übertherapie ersparen; nicht zuletzt wären durch eine Verringerung postoperativer Komplikationen aufgrund einer klareren Risiko-Nutzen-Abwägung massive Einsparungen an Gesundheitsausgaben zu erzielen.

Das Ziel dieser Studie besteht daher in der Verlaufsbeobachtung des Durchmessers der Aorta ascendens von präoperativ über früh-postoperativ bis zum langfristig postoperativen Verlauf an einer Kohorte von 50 konsekutiven Patienten. Besonders die Frage nach einem Rezidiv soll durch die Datenerhebung

ausreichend beantwortet werden können. Um den positiven Einfluss der Operation auf den Aortendurchmesser zu untersuchen, werden die präoperativ gemessenen echokardiografischen Werte sowohl mit den früh-postoperativ gewonnenen Daten als auch mit den Werten des langfristigen Verlaufes verglichen. Des Weiteren sollen aus den vorhandenen klinischen Daten die peri- und postoperativen Risiken, die Letalität und die postoperativ aufgetretenen Komplikationen erhoben werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Aortenreduktionsplastik keinen Ersatz für die bewährten, modernen Aortenoperationstechniken wie z. B. nach Bentall oder David darstellt. Vielmehr handelt es sich um eine zusätzliche Option mit hervorragendem Outcome und niedriger Morbidität und Mortalität bei einer speziellen Gruppe von Patienten, die gleichzeitig auch an einer Aortenklappenerkrankung leiden und sich in deren Rahmen einer Therapie bzw. Aortenklappenoperation unterziehen. Diese Ergebnisse können dazu beitragen, im Einzelfall für jeden Patienten die ideale und am besten geeignete Therapie mit dem individuell günstigsten Risikoprofil zu wählen.



## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Patientenkollektiv und Datenerhebung

In einem Zeitraum von Februar 1997 bis September 2003 wurden in der Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie der Universität Düsseldorf 50 Patienten an einem Aneurysma der Aorta ascendens operiert.

Die Datenerhebung bezieht jene Patienten ein, bei denen das von uns angewandte Operationsverfahren zur Therapie eines Aneurysmas der Aorta ascendens als Ersteingriff praktiziert wurde. Zwei Patienten wurden zweimal aufgenommen, da die bei ihnen aufgetretenen Komplikationen einen weiteren Eingriff erforderlich machten.

Das Altersspektrum der Patienten zum Zeitpunkt der Operation reichte von 27,6 bis zu 88,2 Jahren, wobei das durchschnittliche Alter mit 63,8 Jahren angegeben werden kann. Von den 50 behandelten Patienten waren 33 männlich und 17 weiblich.

Zur Patientenerfassung diente ein Dokumentationsbogen, anhand dessen die retrospektive Auswertung der prä- und perioperativen Daten vorgenommen wurde (siehe Anhang 1). Dabei wurde sich auf die Krankenakte und die klinisch durchgeführten Untersuchungen des Patienten gestützt. Die Ermittlung der Patientendaten umfasste unter anderem Angaben zu Alter, Größe, Gewicht, Dauermedikation, bekannten Vorerkrankungen und früheren Operationen.

Der Operationsbericht sowie die dazugehörigen Protokolle gaben Aufschluss über die Operations- und Reperfusiondauer, die Aortenabklemmzeit, die Myokardprotektion, die Medikation, das Auftreten intraoperativer Komplikationen, das gewählte Operationsverfahren und die Art des verwendeten Prothesenmaterials. Den Berichten konnten ferner auch Angaben hinsichtlich zusätzlich durchgeführter Operationen im Sinne eines Aortenklappenersatzes oder eines Bypasses entnommen werden. Der jeweils vor und nach der Raffung intraoperativ gemessene Aortendurchmesser wurde ebenfalls angegeben.

Der frühpostoperative Verlauf umfasste die Beobachtung und Datenerhebung des Patienten während seines Aufenthalts auf der Intensiv- und Normalstation. Dazu

zählten die Aufenthalts- sowie die Intubations- bzw. Beatmungsdauer, eventuell aufgetretene Komplikationen, die Medikation und die Dokumentation der Vitalparameter. Die Beurteilung des frühpostoperativen Operationsergebnisses erfolgte mithilfe einer echokardiografischen Untersuchung und der Anfertigung einer Röntgen-Thorax-Aufnahme.

Im Rahmen der späteren Verlaufskontrolle konnte zu 37 Patienten Kontakt aufgenommen werden. Von diesen erklärten sich 14 bereit, an der Nachuntersuchung teilzunehmen. Über 8 Patienten, deren derzeitiger Wohnsitz nicht bekannt ist, konnte trotz telefonischer Nachfrage bei dem jeweiligen Hausarzt keine Aussage getroffen werden. 5 Patienten sind im Laufe der Nachbeobachtungszeit verstorben.

## 2.2 Operationsmethode

Im ersten Schritt der Operation wird eine mediane Sternotomie mit anschließender Längsspaltung des Perikards durchgeführt. Daraufhin werden das Herz und die Aorta ascendens inspiziert und dargestellt und die Größe des Gefäßes wird ausgemessen. Nun wird die Aorta ascendens vom Pulmonalarterienstamm mobilisiert.

Nach Heparinisierung erfolgt die Kanülierung der Aorta ascendens, die venöse Drainage wird durch Kanülen in den Hohlvenen erreicht. Wenn aufgrund der Aneurysmagröße kein arterieller Zugang über die thorakale Aorta möglich ist, wird die Kanüle alternativ in die Femoralarterie eingebracht. Das Bronchialvenenblut wird über einen durch die rechte obere Lungenvene eingeführten Vent-Katheter abgesaugt. Nach dem Anstellen der Herz-Lungen-Maschine und der systemischen Applikation kalter Kochsalzlösung erfolgt der Übergang auf den totalen Bypass. Im Anschluss an die externe Kühlung des Herzens mit kalter Kochsalzlösung und das induzierte Kammerflimmern wird die Aorta ascendens distal des Aneurysmas noch vor dem Abgang des Truncus brachiocephalicus quer abgeklemmt. Die Infusion von Bretschneider-Kardioplegie erfolgt direkt über eine Kanüle in die Aorta ascendens. Das Koronarperfusat wird dann über eine separate Stichinzision im rechten Vorhof abgesaugt und verworfen. Am Ende steht das Herz still und ist weich.

Im weiteren Verlauf wird dann die Aortotomie vorgenommen. Sie erstreckt sich über die Gesamtlänge des Aneurysmas bis in den Bereich der akoronaren Aortenklappentasche. Die Aortenwurzel wird jetzt vollständig mit beiden Koronarostien mobilisiert. Nun erfolgt die Inspektion der Aortenklappe. Wird entschieden, diese zu belassen, sind an dieser Stelle die notwendigen chirurgischen Schritte mit dem Ziel einer Rekonstruktion vorzunehmen. Bestehen jedoch hochgradige pathologische Veränderungen, wird die Aortenklappe reseziert. Eventuell vorhandene Verkalkungen werden dabei ebenfalls entfernt. Im nächsten Schritt wird der Aortenannulus ausgemessen, um eine passende Aortenprothese aussuchen zu können. Diese wird anschließend mit teflonfilzarmierten U-Nähten, die vom Ventrikel zur Aorta gestochen werden, subkoronar implantiert. Nach der Implantation der Klappe und dem Knüpfen aller Nähte wird sich vom freien Abgang der Koronarostien und vom freien Klappenspiel überzeugt.

Dann folgt die plastische Reduktion der dilatierten Aorta ascendens. Dabei wird ein der Anatomie des Aneurysmas angepasstes Stück aus der Aortenwand entnommen und zur histologischen Untersuchung gegeben. Auf diese Weise ist eine Reduktion der Aorta auf eine normale Größe möglich. Es erfolgt nun der Verschluss der Aortotomie in fortlaufender Nahttechnik, wobei mit dieser Naht gleichzeitig eine Aortenraffung durchgeführt wird. Nach dem Fertigstellen dieser Naht erfolgt die sorgfältige Entlüftung aller Herzhöhlen. Der linke Ventrikel wird über eine separate Stichinzision im Bereich der Herzspitze entlüftet.

Nun wird die Aortenklemmung aufgehoben und auf den partiellen Bypass übergegangen. Daran schließt sich eine ausgiebige Reperfusionzeit an. Zur endgültigen Stabilisierung und Verstärkung der Aortenwand wird die Aorta ascendens mit einer Dacron-Rohrprothese ummantelt. Diese wird auf die entsprechende Länge zurechtgeschnitten und längs eröffnet. Die Prothese wird dann unterhalb der Aorta ascendens zwischen der Pulmonalarterie durchgezogen und vorsichtig um die Aortenbasis geführt. Der Anfang der Prothese kommt dabei in der Klappenebene zum Liegen. Dann wird die Prothese am Inzisionsrand mit einer doppelläufigen, fortlaufenden Prolene-Nahitreihe wieder längs verschlossen. Abschließend erfolgt die Befestigung der Dacron-Prothese an die Aortenwurzel mittels zuvor von innen eingestochener teflonarmerter Nähte auf Höhe der

Aortenklappenkommissuren. Distal wird die Prothese am Ende der früheren Längsinzision der Aorta ascendens fixiert.

Nach der Beendigung der Reperfusionzeit und der Wiederaufwärmung erfolgt das Ausschleichen aus dem Bypass. Die Herz-Lungen-Maschine wird abgestellt und die Hohlvenenkatheter und die Aortenkanüle werden entfernt. Alle weiteren Schritte zur Beendigung dieser Operation gleichen der einer Routineoperation am Herzen.

### 2.3 Klinischer Verlauf

In der vorliegenden Studie wiesen alle Patienten eine Ektasie bzw. ein Aneurysma der Aorta ascendens auf, wobei der kleinste intraoperativ gemessene Durchmesser 35 mm und der größte 65 mm betrug. Die beschriebene Operationsmethode mit dem Ziel einer plastischen Reduktion zur Verkleinerung des Aortendurchmessers erfolgte bei allen 50 Patienten als elektiver Eingriff. Zwei Patienten waren bereits mit einem Aortenklappenersatz (jeweils einmal mechanisch und biologisch) voroperiert. Eine Prothesenummantelung wurde bei 46 Patienten durchgeführt, 49 Patienten erhielten einen Aortenklappenersatz. Bei 13 Patienten, die als Begleiterkrankung eine koronare Herzerkrankung aufwiesen, wurde darüber hinaus in der gleichen Sitzung eine Bypassoperation durchgeführt.

Zwei Patienten müssen bezüglich des Operationsverfahrens differenzierter betrachtet werden:

Bei einem Patienten kam es nach erfolgreicher Operation nur wenige Stunden später zu einer akuten Blutung. Daraufhin wurde eine erneute Operation beschlossen, in welcher die zuvor eingesetzte Aortenklappenprothese und die Prothesenummantelung der Aorta ascendens entfernt wurden und die Ventrikelruptur durch die Implantation eines Dacron-Patches verschlossen wurde. Im Anschluss daran erfolgten die Re-Implantation der Aortenklappenprothese und die erneute Ummantelung der Aorta mit einer Dacron-Prothese, sodass der gleiche Zustand wie bei der Erstoperation wenige Stunden zuvor hergestellt wurde.

Der zweite Patient erlitt während seines Reha-Aufenthaltes eine Dissektion der Aorta ascendens, nachdem bei ihm einige Wochen zuvor ein mechanischer Aortenklappenersatz, eine Raffung der Aorta und eine Bypassoperation

durchgeführt wurden. Da die Dissektion bereits einige Tage alt und der Kreislauf des Patienten stabil war, wurde die erneute Operation als Elektiveingriff geplant. Dabei erfolgte die totale Resektion des dissezierten Anteils der Aorta ascendens und deren Ersatz mit einer Dacron-Rohrprothese, die am Oberrand der Aortenklappenprothese eingenäht wurde. Darüber hinaus wurde die Re-Implantation des rechten und linken Koronarostiums in die Dacron-Rohrprothese durchgeführt. Der während der Erstoperation vorgenommene Venenbypass zum Ramus diagonalis wurde im Rahmen des zweiten Eingriffes End-zu-Seit mit der Dacron-Prothese anastomosiert.

## 2.4 Statistische Methoden

### 2.4.1 Statistische Auswertung mittels Regressionsanalyse

Für die in dieser Arbeit vorgenommenen statistischen Auswertungen wurde die Software GraphPad Prism (GraphPad, LaJolla, USA) verwendet.

Mithilfe der Regressionsanalysen ist es möglich, aus den ermittelten computertomografischen Messwerten eine Vorhersage bezüglich der in der Echokardiografie zu erwartenden Werte zu treffen. Im Rahmen der statistischen Betrachtung wurde der Vergleich dieser beiden Messmethoden zu verschiedenen Zeitpunkten der Studie durchgeführt: zum einen im Rahmen der präoperativen Diagnostik und zum anderen im Rahmen der Nachuntersuchung zur Dokumentation des langfristigen postoperativen Verlaufes. Dabei gilt, je näher das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  an 1 liegt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit des linearen Zusammenhangs. Das Bestimmtheitsmaß stellt also eine Maßzahl für die Güte der Anpassung dar.

### 2.4.2 Statistische Auswertung mittels $t$ -Test

Um den positiven Einfluss der Operation auf den Aortendurchmesser zu untersuchen, wurden die präoperativ gemessenen echokardiografischen Werte sowohl mit den früh-postoperativ gewonnenen Daten als auch mit den Werten des langfristigen Verlaufes verglichen. Als Analyseverfahren wurde für Vergleiche zwischen zwei Gruppen der einseitige  $t$ -Test für abhängige Stichproben

angewendet. Dieser Signifikanztest dient dem statistischen Nachweis von Unterschieden oder Effekten. Für den Vergleich von mehr als zwei Gruppen (präoperativ vs. früh-postoperativ vs. im langfristigen Verlauf) wurde die Varianzanalyse mit anschließenden multiplen Gruppenvergleichen gewählt. Die Nullhypothese wird zugunsten einer Alternative abgelehnt, falls der  $p$ -Wert kleiner als  $\alpha$  ist. In der vorliegenden Studie war für das Signifikanzniveau  $\alpha$  der allgemein übliche Wert von 0,05 festgelegt.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Präoperative Daten

##### 3.1.1 Patientencharakteristika und Risikoprofil

Die Erfassung der präoperativen Patientendaten der 50 eingeschlossenen Patienten sowie des individuellen Risikoprofils beruhte auf der sorgfältig durchgeführten Anamnese und klinischen Untersuchung und wurde durch eine weiterführende apparative Diagnostik ergänzt (zusammengefasst in Tab. 1).

Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, zeigte sich eine deutliche Geschlechtspräferenz: Es stellten sich annähernd doppelt so viele Männer mit dem Krankheitsbild eines Aortenaneurysmas in der Uniklinik Düsseldorf zu einer elektiven Operation vor.

Neben dem Aneurysma, das bei allen Patienten in einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Form vorhanden war, litten 34 Patienten (68 %) an einem kombinierten Aortenklappenvitium. Eine Aorteninsuffizienz war bei 7 Patienten (14 %) und eine Aortenstenose in 8 Fällen (16 %) nachzuweisen. Es ist hervorzuheben, dass bei keinem Patienten ein isoliertes kardiales Krankheitsbild vorlag; vielmehr zeigte sich in dem in die vorliegende Studie eingeschlossenen Patientenkollektiv eine Koexistenz mehrerer operationsrelevanter Diagnosen.

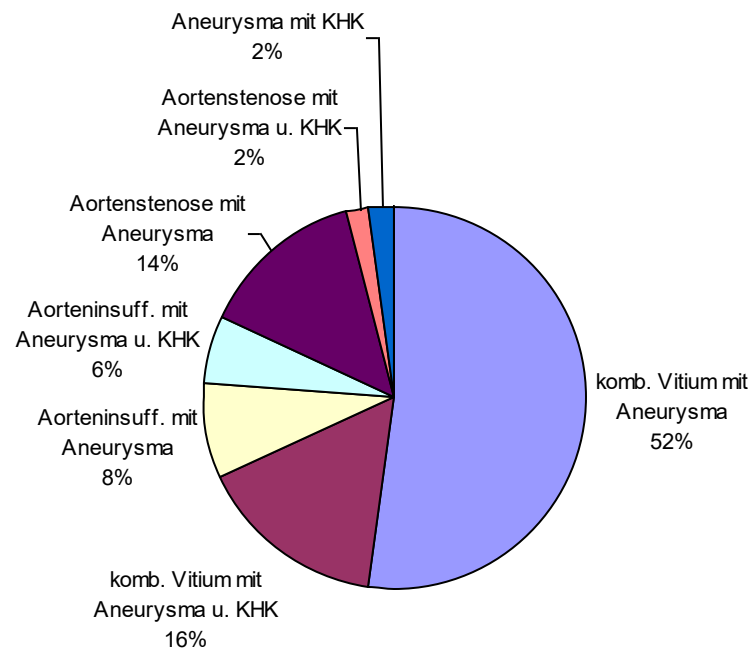
**Tabelle 1: Patientencharakteristika und Risikoprofil**

<b>Variable</b>	<b>Median/n</b>	<b>Streuung oder %</b>
<b>Alter (Jahre)</b>	64	27–88
<b>Geschlecht</b>		
Männlich	33	66
Weiblich	17	34
<b>Grunderkrankung</b>		
Aneurysma	50	100
Aortenstenose	8	16
Aorteninsuffizienz	7	14

Kombiniertes Aortenvitium	34	68
<b>Risikofaktoren</b>		
Hypertonus	29	58
Diabetes	4	8
Rauchen	19	38
Adipositas	12	24
Fettstoffwechselstörung	23	46
<b>Begleiterkrankungen</b>		
COPD	4	8
KHK	13	26
Apoplex	2	4
TIA/Prind	4	8
Synkopen	5	10
Mitralinsuffizienz	12	24
Trikuspidalinsuffizienz	6	12
Kardiale Dekompensation	9	18
Z. n. Myokardinfarkt	1	2
Aneurysma der A. descen- dens	1	2
<b>Voroperationen</b>		
Mech.	1	2
Aortenklappenersatz		
Biol. Aortenklappenersatz	1	2

Einen detaillierten Überblick über die prozentuale Verteilung der operationsrelevanten Diagnosen bei Studienbeginn gibt Abbildung 3.





**Abbildung 3: Prozentuale Verteilung der operationsrelevanten Diagnosen bei Studienbeginn**

Als Hauptrisikofaktor für die Entstehung eines arteriosklerotisch bedingten Aneurysmas war im vorliegenden Patientenkollektiv der arterielle Hypertonus (58 %) zu nennen. An zweiter Stelle war bei 23 Patienten (46 %) eine Fettstoffwechselstörung zu erwähnen. Zu den weiteren bei Studienbeginn erhobenen Risikofaktoren zählten – neben dem Nikotinabusus – auch die Adipositas sowie der Diabetes mellitus.

Viele Patienten wiesen darüber hinaus eine Reihe von nicht metabolischen Begleiterkrankungen auf. Zu den Erkrankungen, die dem neurologischen Fachgebiet zuzuordnen sind, zählten vor allem Synkopen, transitorisch ischämische Attacken (TIA) und der Schlaganfall. So berichteten fünf Patienten (10 %), bereits einmal eine Synkope erlebt zu haben. Bei weiteren vier Patienten (8 %) waren in der Vorgeschichte transitorisch ischämische Attacken bekannt, und zwei Patienten (4 %) hatten in der Vergangenheit einen Schlaganfall erlitten.

Neben dem operationspflichtigen Aneurysma waren bei vielen Patienten weitere kardiale Nebenfunde zu verzeichnen. So wurden bei 13 Patienten (26 %) eine koronare Herzerkrankung (KHK) und bei 12 Patienten (24 %) eine Mitralinsuffizienz dokumentiert. Bei neun Patienten (18 %) war es im Vorfeld der Operation bereits zu kardialen Dekompensationen gekommen; ein Patient berichtete über einen in der

Vergangenheit erlittenen Myokardinfarkt. Zusätzlich zu dem Aneurysma der Aorta ascendens wies ein Patient (2 %) auch ein Aneurysma der Aorta descendens mit einem computertomografisch ermittelten Durchmesser von 50 mm auf.

An relevanten Voroperationen war bei einem Patienten ein mechanischer und bei einem weiteren Patienten ein biologischer Aortenklappenersatz in der Vorgeschichte zu verzeichnen.

### 3.1.2 Klinische Untersuchungsbefunde

Die Erhebung der klinischen Befunde basierte vor allem auf einer sorgfältig durchgeführten Anamnese. Im Vordergrund standen dabei die Fragen nach Luftnot, thorakalen Schmerzen und Herzrhythmusstörungen.

**Tabelle 2: Klinische Symptome und Befunde (n = 50)**

<b>Variable</b>	<b>Anzahl der Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
<b>Symptome</b>		
Belastungsdyspnoe	37	74
Angina-pectoris-Symptomatik	13	26
<b>Herzrhythmus</b>		
Intermittierende AA	7	14
Einschränkung der LV-Funktion	17	34

Bei der Auswertung der klinischen Untersuchungsbefunde zeigte sich, mit welcher Symptomatik das Aortenaneurysma – in Kombination mit dem überwiegend vorhandenen kombinierten Aortenklappenvitium – bei den meisten Patienten einhergeht. Als Hauptsymptom gaben 37 Patienten (74 %) eine Belastungsdyspnoe an, in 13 Fällen (26 %) stand eine Angina-pectoris-Symptomatik im Vordergrund. Von den 50 eingeschlossenen Patienten war darüber hinaus bei 17 Patienten

(34 %) eine eingeschränkte linksventrikuläre Funktion festgestellt worden. Unter Herzrhythmusstörungen im Sinne einer intermittierenden absoluten Arrhythmie litten sieben Patienten (14 %).

### 3.1.3 Präoperative Untersuchungsergebnisse

Im Rahmen der präoperativen Diagnostik wurde bei allen Patienten ein EKG angefertigt sowie eine transthorakale echokardiografische Untersuchung durchgeführt, um den Aortendurchmesser im Bereich der Aorta ascendens zu ermitteln und die Herzklappenfunktion beurteilen zu können. Im Folgenden wurde den Unterlagen immer der jeweils größte erhobene Wert entnommen.

Das Aneurysma der Aorta ascendens wurde bei allen Patienten echokardiografisch diagnostiziert, in 47 Fällen wurden zudem die exakten Maße dokumentiert. Der mittlere erfasste Aneurysmadurchmesser betrug 48 mm; als Maximalwert wurde bei einem Patienten ein Durchmesser von 65 mm gemessen, der kleinste dokumentierte Wert betrug 32 mm. Zu drei Patienten konnten diesbezüglich keine Angaben gemacht werden.

Tabelle 3 zeigt eine Zuordnung der Patienten zu dem jeweiligen Größenintervall des gemessenen Aortendiameters. Dabei bezieht sich die Angabe des prozentualen Anteils auf das Patientenkollektiv, bei dem die entsprechenden Werte dokumentiert waren (n = 47). Wie der Tabelle zu entnehmen ist, wiesen 35 Patienten (74 %) einen präoperativen Aortendurchmesser von 41–60 mm auf, wobei von diesen 35 Patienten über die Hälfte (54 %) einen Diameter von 51–60 mm zeigte. Bei neun Patienten (19 %) wurde ein Durchmesser verzeichnet, der im Bereich zwischen 31 mm und 40 mm lag. In drei Fällen (6 %) war der gemessene Aortendiameter größer als 60 mm.

**Tabelle 3: Darstellung der prozentualen Verteilung in Bezug auf den präoperativ echokardiografisch ermittelten Aortendiameter (n = 47)**

<b>Durchmesser des Aneurysmas</b>	<b>Anzahl der Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
31–40 mm	9	19 (18 bei n = 50)
41–50 mm	16	34 (32 bei n = 50)
51–60 mm	19	40 (38 bei n = 50)
> 60 mm	3	6 (6 bei n = 50)
Keine Größenangabe	3	6 (6 bei n = 50)

Die Bestimmung der Auswurffraktion stellt einen wesentlichen Parameter zur Quantifizierung einer hämodynamischen Insuffizienz dar, wie sie sich im Rahmen eines Aortenklappenitiums manifestieren kann.

Um eine Beurteilung der Auswurffraktion zu ermöglichen, wurden diese in die in Tabelle 4 aufgeführten fünf Intervalle unterteilt. In das erste Intervall wurden die Patienten einbezogen, deren Auswurffraktion unter 50 % lag. Die darauffolgenden Einteilungen basierten auf 10%-Intervallen (51–60; 61–70; 71–80). Das letzte Intervall umfasste die Patienten, bei denen eine Auswurffraktion von über 80 % verzeichnet wurde.

In dem unter diesem Gesichtspunkt betrachteten Patientenkollektiv (n = 35) zeigte sich keine vorherrschende Prädominanz bezüglich eines bestimmten Auswurffraktionsintervalls. Bei acht Patienten (23 %) lag die Auswurffraktion unter 50 %. In neun Fällen (26 %) wurde eine Auswurffraktion von 71 % bis 80 % dokumentiert und die höchste gemessene Auswurffraktion mit über 80 % wurde bei acht Patienten (23 %) verzeichnet. Bei 15 Patienten (30 %) des Gesamtkollektivs (n = 50) lagen diesbezüglich keine Daten vor.

**Tabelle 4: Darstellung der prozentualen Verteilung in Bezug auf die Auswurffraktion (n = 35)**

<b>Auswurffraktion in %</b>	<b>Anzahl der Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
≤ 50	8	23 (16 bei n = 50)
51–60	5	14 (10 bei n = 50)
61–70	5	14 (10 bei n = 50)
71–80	9	26 (18 bei n = 50)
> 80	8	23 (16 bei n = 50)
Keine Größenangabe	15	30

Bei der Beurteilung des Schweregrades der Aortenklappenstenose wurde zwischen dem Klappengradienten ( $\Delta p$ ), gemessen in mmHg und der Aortenklappenöffnungsfläche, gemessen in  $\text{cm}^2$  differenziert.

Wie Tabelle 5 zu entnehmen ist, erfolgte eine echokardiografische Einteilung der Aortenklappenstenose unter Berücksichtigung beider Parameter in vier Schweregrade, wobei im vorliegenden Patientenkollektiv eine eindeutige Zuordnung nicht immer möglich war. So waren zum einen die Daten der Aortenklappenöffnungsfläche nur bei 22 Patienten dokumentiert, zum anderen ergab sich das Problem der Zuteilung der Patienten zu dem jeweiligen Schweregrad der Aortenklappenstenose, weil einige Patienten anhand ihrer Aortenklappenöffnungsfläche einem höheren Stenosegrad hätten zugeordnet werden müssen, als dies durch den Druckgradienten der Fall gewesen wäre. Im Falle einer Überschneidung wurde aus diesem Grund entschieden, den Klappengradienten als ausschlaggebenden Parameter bei der Beurteilung des Schweregrades zu werten.

**Tabelle 5: Klassifikation der Aortenklappenstenose nach Druckgradienten und Aortenklappenöffnungsfläche (n = 50)**

<b>Stenosegrad</b>	<b>Klappengradient (<math>\Delta p</math>) in mmHg</b>	<b>Aortenklappenöffnungsfläche in cm<sup>2</sup></b>
Aortenklappenstenose I°	< 40	> 1,5
Aortenklappenstenose II°	41–80	1,0–1,5
Aortenklappenstenose III°	> 81–120	0,5–1,0
Aortenklappenstenose IV°	> 120	< 0,5

Bei der Betrachtung der Tabelle 6 wird deutlich, dass der Klappengradient bei 34 % der Patienten kleiner als 40 mmHg war. Über die Hälfte der Patienten (52 %) wies einen Druckgradienten von 41 mm bis 80 mmHg auf und bei etwa 1/7 der 50 Patienten (14 %) wurde ein Aortenklappendruckgradient, der sich über den Bereich von 81 mm bis 120 mmHg erstreckte, dokumentiert.

**Tabelle 6: Echokardiografische Ermittlung des Aortenklappendruckgradienten (n = 50)**

<b>Klappengradienten (<math>\Delta p</math>)</b>	<b>Anzahl der Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
0 mmHg	8	16
≤ 40 mmHg	9	18
41–80 mmHg	26	52
81–120 mmHg	7	14
> 120 mmHg	0	0

Tabelle 7 zeigt die prozentuale Verteilung der im vorliegenden Patientenkollektiv echokardiografisch ermittelten Aortenklappenöffnungsfläche. Da diesbezüglich nur zu 22 Patienten Daten vorlagen, stellten die 21 Patienten, deren Aortenklappenöffnungsfläche in dem Bereich von 0,5–1,0 cm<sup>2</sup> lag, bereits 95 % dar. Lediglich bei einem Patienten wurde eine Öffnungsfläche kleiner als 0,5 cm<sup>2</sup> dokumentiert.

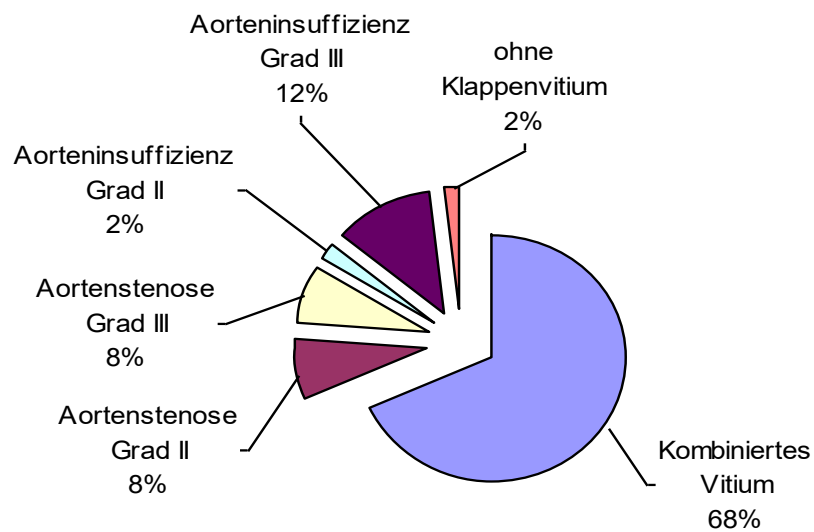
**Tabelle 7: Echokardiografische Ermittlung der Aortenklappenöffnungsfläche (n = 22)**

<b>Aortenklappenöffnungsfläche</b>	<b>Anzahl der Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
> 1,5 cm <sup>2</sup>	0	0
1,0–1,5 cm <sup>2</sup>	0	0
0,5–1,0 cm <sup>2</sup>	21	95 (42 bei n = 50)
< 0,5 cm <sup>2</sup>	1	5 (2 bei n = 50)
Keine Größenangabe	28	56 (bei n = 50)

Mithilfe der transthorakalen Echokardiografie war es möglich, die Aortenklappenvitien unseres Patientenkollektivs zu diagnostizieren und eine Graduierung vorzunehmen. Die dopplersonografische Bestimmung der Klappenöffnungsfläche und der Druckgradienten erlaubte eine hinreichend genaue Quantifizierung der valvulären Aortenstenose. Ebenso erfolgte der qualitative Nachweis einer Aorteninsuffizienz durch die Doppler-Messung. Dabei wurde der Schweregrad durch die Bestimmung der Regurgitationsöffnung im Verhältnis zum Querschnitt der linksventrikulären Ausstrombahn ermittelt.

Wie Abbildung 4 zu entnehmen ist, zeigte die Mehrheit der Patienten (68 %) ein kombiniertes Aortenklappenvitium. Eine isoliert vorliegende Aortenstenose 1. Grades konnte bei keinem Patienten dokumentiert werden, da diese nur in Verbindung mit anderen Aortenklappenpathologien (im Sinne eines kombinierten Vitiums) auftrat. Dies galt auch für die Aorteninsuffizienz 1. Grades. Eine isoliert vorliegende Aortenklappenstenose 2. und 3. Grades wurde in jeweils 8 % des Patientenkollektivs verzeichnet.

Fast 1/8 der 50 Patienten (12 %) zeigte eine Aorteninsuffizienz 3. Grades, eine Aorteninsuffizienz 2. Grades lag in 2 % der Fälle vor. Ebenfalls zwei Prozent des Kollektivs wiesen kein Klappenvitium auf.



**Abbildung 4: Graduierung und prozentuale Verteilung der echokardiografisch ermittelten Aortenklappenvitien**

Neben der echokardiografischen Untersuchung wurde der Aortendurchmesser bei 16 Patienten zusätzlich durch eine Computertomografie (CT) bestimmt. Bei den 16 untersuchten Patienten ergab sich in der transversalen Aufnahme ein Aortendurchmesser von durchschnittlich 55 mm. Der größte Wert konnte mit 70 mm angegeben werden, als kleinster gemessener Wert wurde 45 mm dokumentiert.

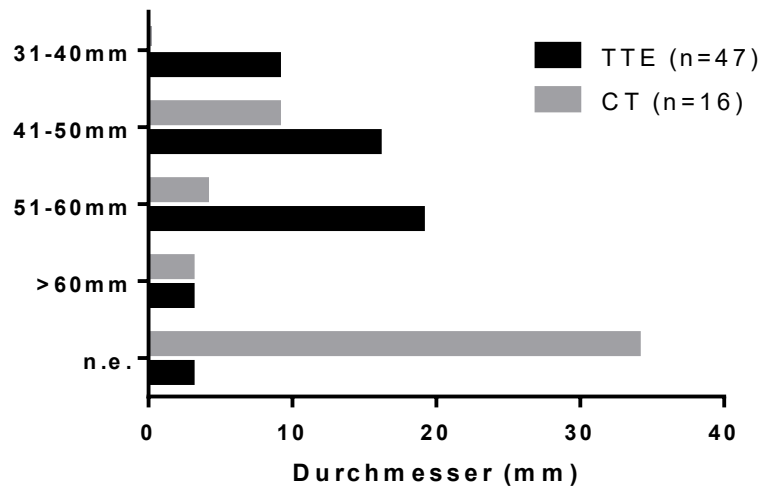
Wie aus Tabelle 8 hervorgeht, gab es keinen Patienten, dessen radiologisch bestimmter Durchmesser in dem Bereich von 31 mm bis 40 mm lag. In neun Fällen (62 %) betrug der Aortendiameter zwischen 41 mm und 50 mm; bei vier Patienten (31 %) wurde ein Durchmesser von 51 mm bis 60 mm verzeichnet. Drei Patienten (19 %) zeigten radiologisch bestimmte Aortendurchmesser über 60mm.



**Tabelle 8: Prozentuale Verteilung des computertomografisch präoperativ ermittelten Aortendiameters (n = 16)**

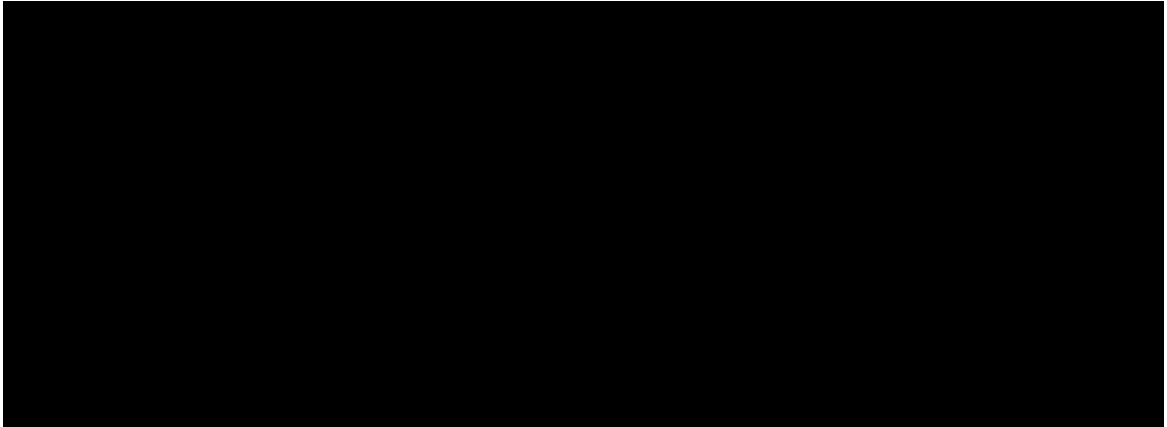
<b>Aneurysmadurchmesser (CT)</b>	<b>Anzahl der Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
<b>31–40 mm</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>41–50 mm</b>	<b>9</b>	<b>56 (18 bei n = 50)</b>
<b>51–60 mm</b>	<b>4</b>	<b>25 (8 bei n = 50)</b>
<b>&gt; 60 mm</b>	<b>3</b>	<b>19 (6 bei n = 50)</b>
<b>Wert nicht erhoben</b>	<b>34</b>	<b>68 (bei n = 50)</b>

Werden die 47 echokardiografisch und die 16 radiologisch gemessenen Größenangaben verglichen, so ergibt sich die in Abbildung 5 dargestellte Verteilung.



**Abbildung 5: Vergleich der echokardiografisch und computertomografisch ermittelten Aortendurchmesser**

Um eine Vergleichbarkeit der in der Computertomografie und in der Echokardiografie ermittelten Werte zu untersuchen, wurden die Daten der Patienten gegenübergestellt, bei denen beide Untersuchungen durchgeführt wurden (n = 16).

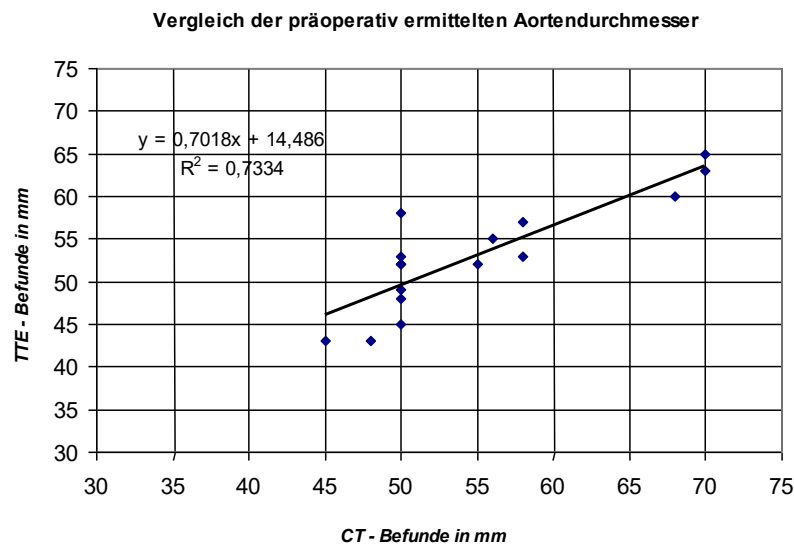


**Abbildung 6: Vergleich der präoperativ computertomografisch und echokardiografisch ermittelten Aortendurchmesser.** A, direkter Vergleich der Messergebnisse bei individuellen Patienten. B, Vergleich der Mittelwerte der Messergebnisse mittels TTE und CT. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ( $p = 0,6134$ , t-Test).

Bei der Gegenüberstellung zeigte sich eine gute Annäherung der echokardiografisch an die computertomografisch gewonnenen Daten (Abbildung 6 A). Die durchschnittliche Differenz der in beiden Messverfahren ermittelten Werte betrug 1,9 mm; die Spannweite der jeweils größten und kleinsten gemessenen Abweichung reichte von -8mm bis +8mm. Es stellte sich heraus, dass die echokardiografisch ermittelten Daten in 12 von 16 Fällen im Durchschnitt etwa 4 mm unter den computertomografisch gemessenen Werten lagen. In vier Fällen war der echokardiografisch ermittelte Wert jedoch durchschnittlich um 3,8 mm größer als der computertomografisch bestimmte Aortendurchmesser.

Der Mittelwert der computertomografischen Messungen betrug 54,88 mm im Vergleich zu 53 mm in der echokardiografischen Bestimmung (Abbildung 6 B). Für die Standardabweichung wurde bezüglich der radiologischen Messmethode ein Wert von 8,01 mm ermittelt. Die Standardabweichung der echokardiografischen Messdaten ergab einen Wert von 6,56 mm. Die statistische Auswertung mittels t-Test ergab keine signifikante Differenz zwischen den Mittelwerten der durch die TTE- oder die CT-Untersuchung erhobenen Maße ( $p = 0,6134$ ). Um schließlich zu prüfen, inwiefern ein Zusammenhang zwischen den echokardiografisch und computertomografisch gemessenen Aortendurchmessern besteht, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt und die Ergebnisse wurden in Form einer Regressionsgeraden veranschaulicht (Abbildung 7). Das Bestimmtheitsmaß,

definiert als das Quadrat des Korrelationskoeffizienten, betrug 0,73. Somit zeigte sich eine gute Korrelation beider Werte.



**Abbildung 7: Korrelation zwischen präoperativ computertomografisch und echokardiografisch ermittelten Aortendurchmessern.** Es zeigte sich eine starke Korrelation zwischen beiden Werten.

Bei allen Patienten wurde in der Voruntersuchung eine Koronarangiografie durchgeführt, um eine koronare Herzerkrankung auszuschließen. Dabei wurde das Aneurysma der Aorta ascendens nicht nur beschrieben, sondern bei 15 Patienten im Rahmen der Koronarangiografie auch ausgemessen. Der im Durchschnitt ermittelte Wert belief sich mit dieser Untersuchungsmethode auf 51 mm; der größte Wert betrug 65 mm, der kleinste Messwert 36 mm. Zu 19 Patienten sind bezüglich der aortografisch bzw. computertomografisch gemessenen Werte keine Angaben zu machen, da dieser Messwert nicht erhoben wurde.

Im Rahmen der Koronarangiografie wurde bei 17 Patienten ein stenosierender Gefäßprozess der Herzkranzgefäße festgestellt, wobei bei 13 Patienten die Indikation zur Intervention gestellt wurde. Von diesen wiesen sechs Patienten (46 %) eine 1-Gefäßerkrankung, vier Patienten (31 %) eine 2-Gefäßerkrankung und drei Patienten (23 %) eine 3-Gefäßerkrankung auf.

Bei vielen in die Untersuchung eingeschlossenen Patienten zeigte sich, dass das Aortenaneurysma zusätzlich noch mit einem Klappenvitium vergesellschaftet war. So wurde in 68 % der Fälle ein kombiniertes Aortenklappenvitium festgestellt und

jeweils 8 % des Patientenkollektivs wiesen eine Aortenklappenstenose 2. bzw. 3. Grades auf (Tabelle 9). Das Elektrokardiogramm stellte eine zusätzliche Möglichkeit zur Abschätzung des Schweregrades der Aortenstenose dar.

**Tabelle 9: Darstellung der präoperativen EKG-Befunde (n = 50)**

<b>EKG-Befund</b>	<b>Anzahl d. Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
<b>Vorhofrhythmus</b>		
<b>Sinusrhythmus</b>	43	86
<b>Intermittierende Arrhythmia absoluta</b>	7	14
<b>Erregungsleitungsstörungen</b>		
<b>AV-Block 1. Grades</b>	6	12
<b>AV-Block 2. Grades</b>	0	0
<b>AV-Block 3. Grades</b>	0	0
<b>Intraventrikuläre Leitungsstörung</b>		
<b>Inkompletter RSB</b>	1	2
<b>Kompletter RSB</b>	4	8
<b>Inkompletter LSB</b>	2	4
<b>Kompletter LSB</b>	5	10
<b>Erregungsbildungsstörungen</b>		
<b>Supraventrikuläre ES</b>	2	4
<b>Ventrikuläre ES</b>	4	8
<b>Vorhofflimmern</b>	3	6

Je nach Grad der Aortenstenose und Alter des Patienten waren EKG-Veränderungen unterschiedlich stark ausgeprägt. Erregungsleitungsstörungen wie ein AV-Block 1. Grades, der durch eine Kalzifizierung des Erregungsleitungssystems entstehen kann, waren bei sechs Patienten (12 %) zu beobachten. Eine intermittierende absolute Arrhythmie als möglicher Hinweis auf eine schwere dekompensierte Aortenklappenstenose wurde bei sieben Patienten (14 %) festgestellt. Darunter befanden sich drei Patienten, bei denen die

intermittierende absolute Arrhythmie mit Vorhofflimmern einherging. Unter den intraventrikulären Leitungsstörungen wiesen vier Patienten (8 %) einen kompletten Rechtsschenkelblock und fünf Patienten (10 %) einen kompletten Linksschenkelblock auf. Bei insgesamt neun Patienten (18 %) wurden Erregungsbildungsstörungen wie Vorhofflimmern, ventrikuläre und supraventrikuläre Extrasystolen dokumentiert.

## 3.2 Intraoperative Daten

### 3.2.1 Im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführtes Operationsverfahren

Bei allen Patienten erfolgte der operative Zugang über eine mediane Sternotomie. Die Kanülierung der beiden Hohlvenen durch eine getrennte Vorhofinzision stellte den venösen Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine dar. Der arterielle Rückfluss wurde in allen Fällen durch die Kanülierung des Aortenbogens erreicht. Das Bronchialvenenblut wurde über einen in die rechte obere Lungenvene eingeführten Vent-Katheter abgesaugt. Die Myokardprotektion war zum einen durch die systemische Kühlung der Bluttemperatur auf 28°C und zum anderen durch die Applikation einer kardioplegischen Lösung in die Aortenwurzel gewährleistet. In 49 Fällen wurde die Bretschneider-Kardioplegie verwendet, ein Patient erhielt eine Calafiore-Kardioplegie. Einen Überblick über die insgesamt durchgeführten Operationsverfahren gibt Tabelle 10.

**Tabelle 10: Operationsverfahren (n = 50)**

<b>Operationsverfahren</b>	<b>Anzahl d. Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer (%)</b>	<b>Anteil</b>
<b>Teilresektion mit Raffung</b>	50	100	
<b>Prothesenummantelung</b>	46	92	
<b>Aortenklappenersatz</b>	49	98	
<b>biologisches Implantat</b>	15	31	
<b>mechanisches     Implantat</b>	34	69	
<b>Bypass-Operation</b>	13	26	

Bei allen 50 Patienten wurde eine plastische Reduktion der dilatierten Aorta ascendens im Sinne einer Teilresektion der Aortenwand durchgeführt. Der sich daran anschließende Verschluss der Aortotomie in fortlaufender Nahttechnik erlaubte gleichzeitig eine weitere Aortenraffung. Zur endgültigen Stabilisierung und Verstärkung wurde die Aortenwand bei 46 Patienten (92 %) zusätzlich noch mit einer Rohrprothese ummantelt. Die verwendeten Prothesen hatten einen Durchmesser von 28 bis 38 mm, wobei Prothesen mit einem Durchmesser von 38 mm mit 54 % am häufigsten zur Anwendung kamen.

Aufgrund der oft massiven Verkalkungen im Bereich der Aortenklappe und des meist schon präoperativ diagnostizierten Aortenklappenvitiums wurde in 49 Fällen (98 %) für einen Ersatz der Aortenklappe entschieden. Dazu zählten auch zwei Patienten, die bereits jeweils einmal mit einer mechanischen und einmal mit einer biologischen Aortenklappenprothese voroperiert waren. Insgesamt wurden 34 mechanische (69 %) und 15 biologische (31 %) Klappenprothesen implantiert. In einem Fall konnte die native Aortenklappe belassen werden. Der Durchmesser der verwendeten Prothesen reichte von 21 bis 27 mm, wobei in 43 % der Operationen eine Aortenklappenprothese mit einem Durchmesser von 25 mm implantiert wurde. In 27 % der Fälle wurde eine 27-mm-Prothese verwendet und 12 Patienten (24 %) erhielten eine 23-mm-Prothese.

Bei 13 Patienten, die als Begleiterkrankung eine KHK aufwiesen, wurde darüber hinaus im Rahmen derselben operativen Sitzung eine Bypassoperation

durchgeführt. Dabei handelte es sich in fünf Fällen um arterielle, in vier Fällen um venöse und in vier weiteren Fällen um gemischt arteriell-venöse Bypässe.

Ausgehend von allen insgesamt angewandten Operationstechniken stellt Tabelle 11 die Kombination der im Einzelnen durchgeführten Operationen dar.

Ein Großteil der Patienten (70 %) erhielt eine Teilresektion mit Raffung der Aorta ascendens und anschließender Prothesenummantelung sowie einen Aortenklappenersatz. Die in dieser Form beschriebene Operationsmethode stellte das „Standardverfahren“ dar. Darüber hinaus wurde bei insgesamt zehn (20 %) der 13 (26 %) durchgeführten Bypassoperationen dieses Verfahren angewandt. Von den anderen drei Bypassoperationen erhielten zwei Patienten eine Teilresektion mit Raffung der Aorta und zusätzlichem Aortenklappenersatz, jedoch keine Prothesenummantelung. Bei dem dritten Patienten mit Bypassoperation wurde von einem Klappenersatz abgesehen. Insgesamt wurde in vier Fällen (8 %) auf eine Prothesenummantelung und in einem Fall (2 %) auf einen Aortenklappenersatz verzichtet.

**Tabelle 11: Kombination der einzelnen Operationsverfahren (n = 50)**

<b>Operationsverfahren</b>	<b>Anzahl der Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
<b>a + c</b>	2	<b>4</b>
<b>a + b + c</b>	35	<b>70</b>
<b>a + c + d</b>	2	<b>4</b>
<b>a + b + d</b>	1	<b>2</b>
<b>a + b + c + d</b>	10	<b>20</b>

Legende zu den Tabellen 11–13: <sup>a</sup>Teilresektion und Raffung der Aorta ascendens; <sup>b</sup>Prothesenummantelung; <sup>c</sup>Aortenklappenersatz; <sup>d</sup>Bypassoperation

### 3.2.2 Operationszeiten

Die eigentliche Schnitt-Naht-Zeit (Operationszeit) betrug durchschnittlich 215 Minuten. Die kürzeste Operation stellte mit 130 Minuten jene Operation dar, die als Standardverfahren mit Teilresektion, Raffung und Prothesenummantelung der Aorta ascendens sowie mit einem Aortenklappenersatz durchgeführt wurde. Die längste Operation war mit 315 Minuten die Standardmethode, jedoch mit

zusätzlicher Bypassoperation. Tabelle 12 gibt einen Überblick über die einzelnen Operationszeiten in Abhängigkeit vom jeweiligen Operationsverfahren.

**Tabelle 12: Operationszeiten in Abhängigkeit vom Operationsverfahren**

<b>OP-Verfahren</b>	<b>Längste OP-Zeit (in min.)</b>	<b>Kürzeste OP- Zeit (in min.)</b>	<b>Durchschnittliche OP-Zeit (in min.)</b>
Alle Operationen (n = 50)	315	130	215,2
a + c (n = 2)	260	175	218
a + b + c (n = 35)	300	130	203
a + c + d (n = 2)	260	240	250
a + b + d (n = 1)	200	200	200
a + b + c + d (n = 10)	315	195	251

Die Perfusionszeit aller Operationen an der Herz-Lungen-Maschine betrug im Durchschnitt 110 Minuten (Max.: 157 min., Min.: 75 min.). Werden nur die Operationen, bei denen ein Eingriff an der Aortenklappe vorgenommen und die Aorta ascendens in der beschriebenen Form operiert wurde („Standardoperation“), betrachtet, so ergab sich eine Durchschnittszeit von 106 Minuten. Dies war auch gleichzeitig die kürzeste Perfusionszeit im Vergleich zu den anderen Operationsverfahren. Die längste Perfusionszeit mit durchschnittlich 126 Minuten wurde bei den beiden Patienten verzeichnet, bei denen eine Bypassoperation sowie das Standardverfahren, jedoch ohne Prothesenummantelung, durchgeführt wurden. Die zweitlängste Perfusionszeit mit im Durchschnitt 124 Minuten fand in der Gruppe der Patienten, die zusätzlich zu unserem Standardverfahren noch eine Bypassoperation erhielten (n = 10) statt.

Die eigentliche Ischämiezeit, definiert als Abklemmzeit der Aorta, betrug in Bezug auf alle Operationen (n = 50) im Durchschnitt 68 Minuten (Max.: 102 min., Min.: 44 min.). Die durchschnittlich kürzeste Ischämiezeit mit 65 Minuten zeigte sich bei den 35 Patienten (70 %), die mit der Standardmethode behandelt wurden. Hiervon ausgenommen war ein Patient, der keinen Aortenklappenersatz erhielt und dessen



Ischämiezeit daher nur 55 Minuten betrug. Bei der Betrachtung der jeweils kürzesten und längsten Ischämiezeit in dieser Patientengruppe fiel jedoch eine große Spannbreite von mindestens 44 bis maximal 102 Minuten auf. Bei den 10 Patienten (n = 20), die zusätzlich zu der Bypassoperation noch mit dem Standardverfahren operiert wurden, ergab sich eine mittlere Abklemmzeit von 77 Minuten.

Die Reperfusionzeit aller Operationen betrug im Durchschnitt 31 Minuten (Max.: 58 min., Min.: 18 min.), bei den Standardoperationen (n = 35) lag sie bei durchschnittlich 30 Minuten und bei zusätzlicher Bypassoperation (n = 10) dauerte sie durchschnittlich 6 Minuten länger.

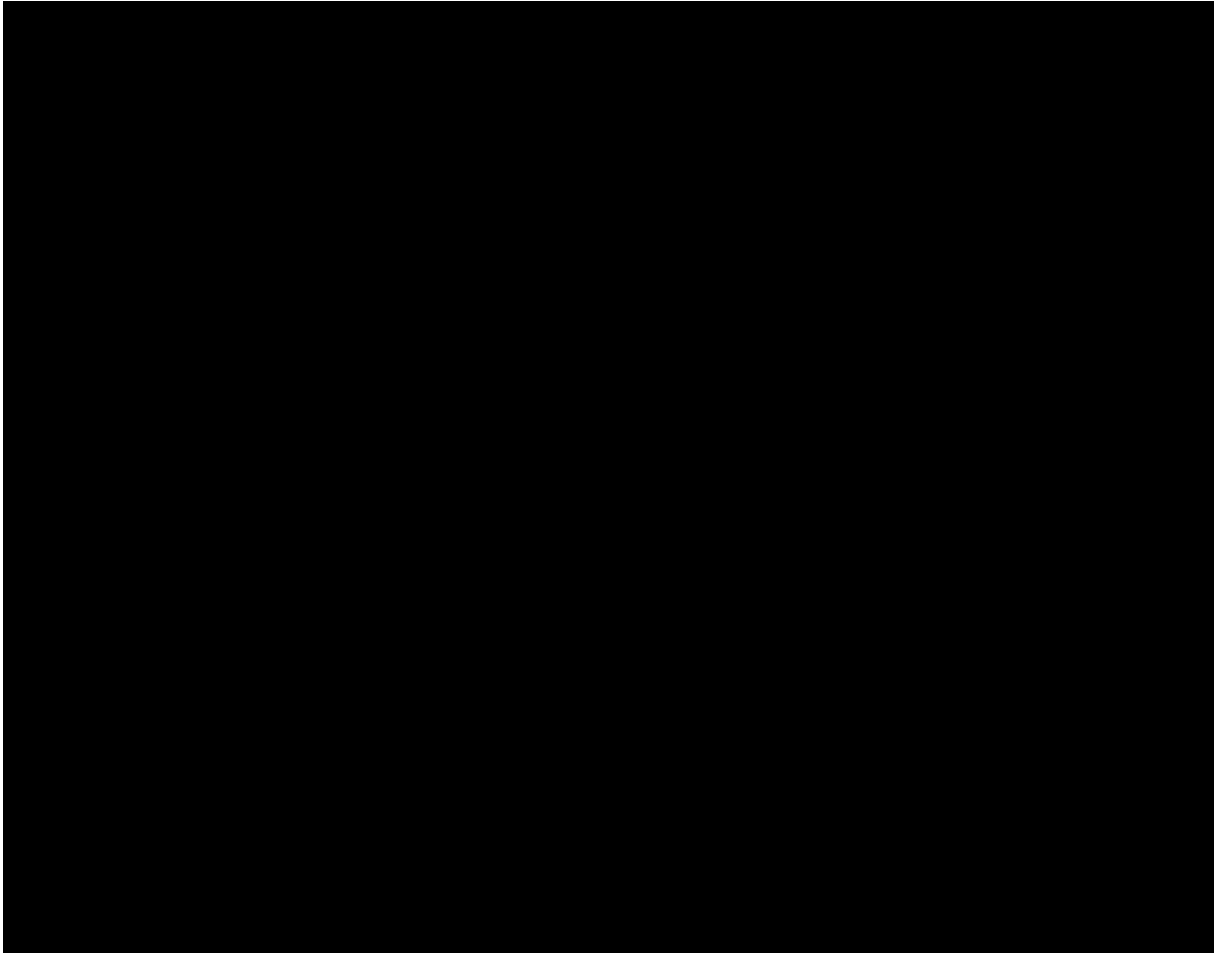
Eine Zusammenfassung dieser Daten ist in Tabelle 13 dargestellt.

**Tabelle 13: Ischämie-, Perfusions- und Reperfusionzeit in Abhängigkeit vom Operationsverfahren**

<b>Operationsverfahren</b>	<b>Ischämiezeit (in min.) Range/ Mittelwert</b>	<b>Perfusionszeit (in min.) Range/ Mittelwert</b>	<b>Reperfusionzeit (in min.) Range/ Mittelwert</b>
<b>Alle OPs (n = 50)</b>	44–102/68	75–157/110	<b>18–58/31</b> <b>(bei n = 46)</b>
<b>a, c (n = 2)</b>	69–90/80	99–127/113	<b>20–23/22</b>
<b>a, b, c (n = 35)</b>	44–102/65	75–157/106	<b>18–48/30</b> <b>(bei n = 32)</b>
<b>a, c, d (n = 2)</b>	71–97/84	107–144/126	<b>29–37/33</b>
<b>a, b, d (n = 1)</b>	55	99	<b>40</b>
<b>a, b, c, d (n = 10)</b>	52–97/77	98–152/124	<b>19–58/36</b> <b>(bei n = 9)</b>

Anschließend wurde untersucht, ob die präoperativ mittels TTE gemessene Ausdehnung des Aneurysmas einen prädiktiven Wert für die Operations-, Bypass-, Ischämie- oder Reperfusionzeit hat. Hierzu wurden lineare Regressionsanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 zusammengefasst; für keinen der

untersuchten Parameter zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang. Eine leichte und statistisch nicht signifikante positive Korrelation zeigte sich lediglich zwischen dem präoperativ gemessenen Aortendurchmesser und der Reperfusionzeit sowie der gesamten OP-Dauer.



**Abbildung 8: Lineare Regressionsanalysen eines möglichen Zusammenhangs zwischen präoperativ mittels TTE erhobenem Aneurysmadurchmesser und Ischämiezeit (A), Reperfusionzeit (B), Bypasszeit (C) sowie gesamter OP-Dauer (D).** Für keinen der untersuchten Parameter zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang (A,  $p = 0,5054$ ; B,  $p = 0,8032$ ; C,  $p = 0,5394$ ; D,  $p = 0,8867$ ; jeweils lineare Regressionsanalyse).

### 3.2.3 Komplikationen

Insgesamt traten bei drei Patienten (6 %) intraoperative Komplikationen auf. Bei den anderen 47 Patienten (94 %) verlief die Operation komplikationslos. Ein Patient (2 %) entwickelte intraoperativ eine Tachyarrhythmia absoluta, die eine elektrische Kardioversion erforderte. Bei einem weiteren Patienten (2 %) kam es zu einem akuten Blutdruckabfall infolge eines akuten Rechtsherzversagens; der dritte Patient

fiel mit einer Sinusbradykardie auf, die eine externe Schrittmacherstimulation erforderlich machte.

Einen zusätzlichen kritischen Moment stellte der Augenblick des Abgangs von der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) dar. Ein Parameter, der Hinweise auf Komplikationen im Sinne einer Kreislaufinsuffizienz nach Abgang von der Herz-Lungen-Maschine gab, war unter anderem die Notwendigkeit der Katecholamingabe. In dieser Studie erhielten insgesamt 13 Patienten (26 %) im Anschluss an die EKZ Katecholamine. Davon erhielten elf Patienten (22 %) ausschließlich Adrenalin, ein Patient (2 %) ausschließlich Dobutamin und ein weiterer Patient (2 %) eine Kombination von Adrenalin mit Noradrenalin. Bei den restlichen 37 Patienten (74 %) erfolgte der Abgang problemlos, sodass auf die Gabe kreislaufunterstützender Katecholamine verzichtet werden konnte.

#### 3.2.4 Fremdblutgabe

Die Notwendigkeit von Fremdblutgaben während oder nach einer Herzoperation ließ Rückschlüsse auf die Invasivität und Qualität einer Operation zu. Bei der Auswertung zeigte sich, dass insgesamt 19 Patienten Erythrozytenkonzentrate (EK) und elf Patienten Fresh Frozen Plasma (FFP) erhielten. Bei einem Patienten wurden Thrombozytenkonzentrate (TK) substituiert. Insgesamt wurden pro transfusionspflichtigen Patienten durchschnittlich 574 ml EK und 473 ml FFP substituiert.

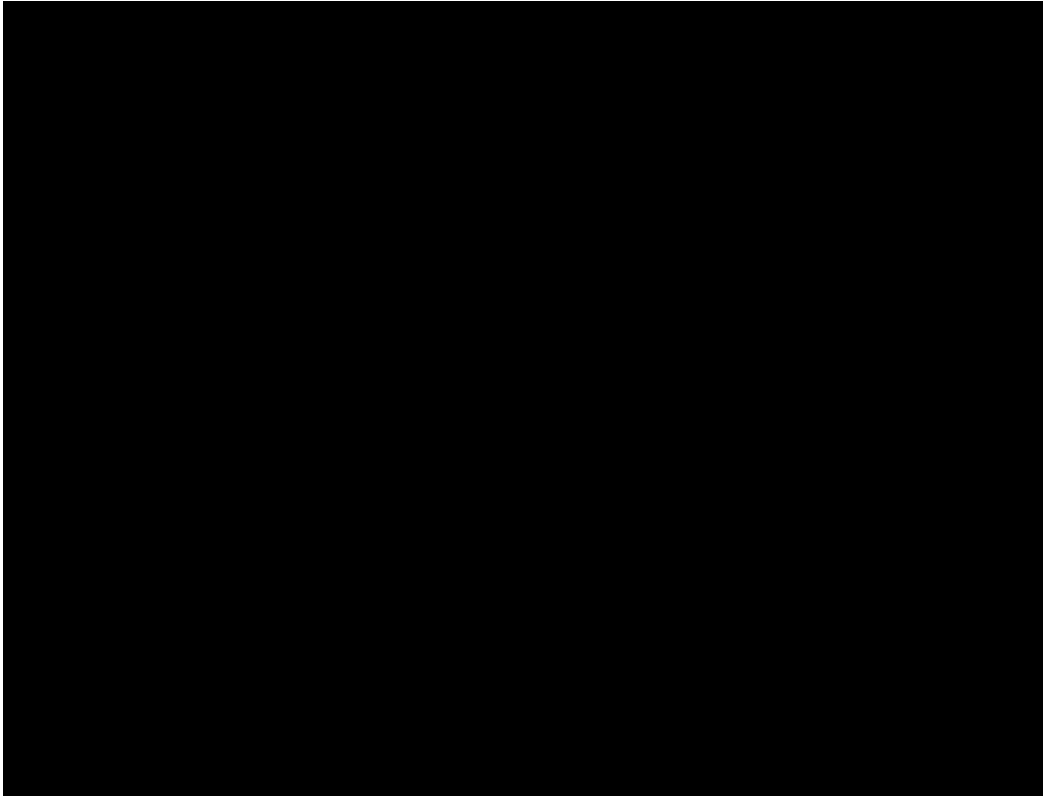
Unter Berücksichtigung, dass einige Patienten auch eine Kombination verschiedener Fremdblutkonzentrate bekamen, ließ sich folgendes Verhältnis feststellen: In elf Fällen wurden ausschließlich Erythrozytenkonzentrate, in drei Fällen wurde nur Fresh Frozen Plasma verabreicht. Eine Kombination von EK mit FFP erhielten 7 Patienten, bei einem Patienten wurde die Kombination von TK mit EK und FFP verwendet.

### 3.3 Früh-postoperative Verlaufsdaten

Die Erfassung der früh-postoperativen Verlaufsdaten bezog sich sowohl auf den Zeitraum der Intensivüberwachung als auch auf den Aufenthalt auf der Normalstation. In die Datenerhebung flossen neben der jeweiligen Liegezeit, der Beatmungszeit, der Gabe von Fremdblut und der aufgetretenen Komplikationen auch die EKG-Befunde und die echokardiografischen Ergebnisse ein.

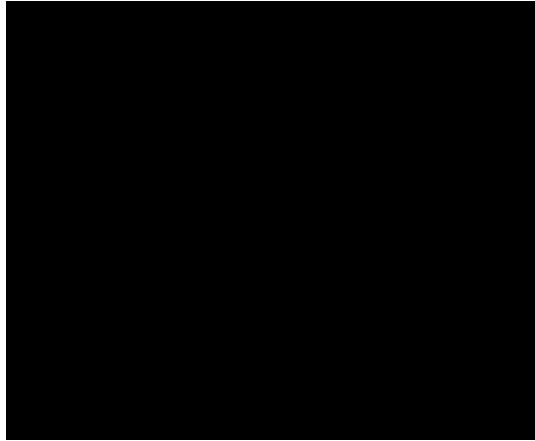
#### 3.3.1 Zeitraum der Intensivüberwachung

Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Patienten auf der Intensivstation betrug 4,4 Tage. Als Maximalwert wurde bei einem Patienten eine Liegezeit von 44 Tagen verzeichnet, die kürzeste Verweildauer konnte mit einem Tag dokumentiert werden. Insgesamt konnten 84 % (42 Patienten von n = 50) der Patienten schon nach vier Tagen von der Intensivstation auf die Normalstation verlegt werden, wobei von diesen 42 Patienten bereits 17 Patienten (40 %) nach einem Tag verlegungsfähig waren. Bei drei (6 %) unserer 50 Patienten kam es im Verlauf der Intensivüberwachung zu Komplikationen mit daraus resultierenden Liegezeiten von 20, 32 und 44 Tagen. Mittels linearer Regressionsanalyse wurde untersucht, ob das Alter der Patienten, der präoperativ mittels TTE erhobene Aneurysmadurchmesser und die Dauer der Operation signifikante Risikofaktoren für eine längere Intensivpflichtigkeit darstellten. Die Ergebnisse sind in Abb. 9 zusammengefasst.



**Abbildung 9: Lineare Regressionsanalysen eines möglichen Zusammenhangs zwischen Dauer der Intensivüberwachung und präoperativem Aneurysmadurchmesser (A), OP-Dauer (B) und Patientenalter (C).** Für keinen der untersuchten Parameter zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang (A,  $p = 0,9128$ ; B,  $p = 0,3264$ ; C,  $p = 0,1563$ ; jeweils lineare Regressionsanalyse).

Für keinen der untersuchten Parameter ergab sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit der Dauer der Intensivüberwachung; lediglich bei älteren Patienten zeigte sich ein deutlicher Trend hin zu längeren nötigen Überwachungszeiten auf der Intensivstation. Um diesem Phänomen weiter nachzugehen, wurde die Kohorte anhand des medianen Alters (65,5 Jahre) in zwei gleich große Gruppen geteilt und die mittlere Dauer der notwendigen Intensivüberwachung mittels t-Test verglichen. Das Resultat zeigt Abb. 10.



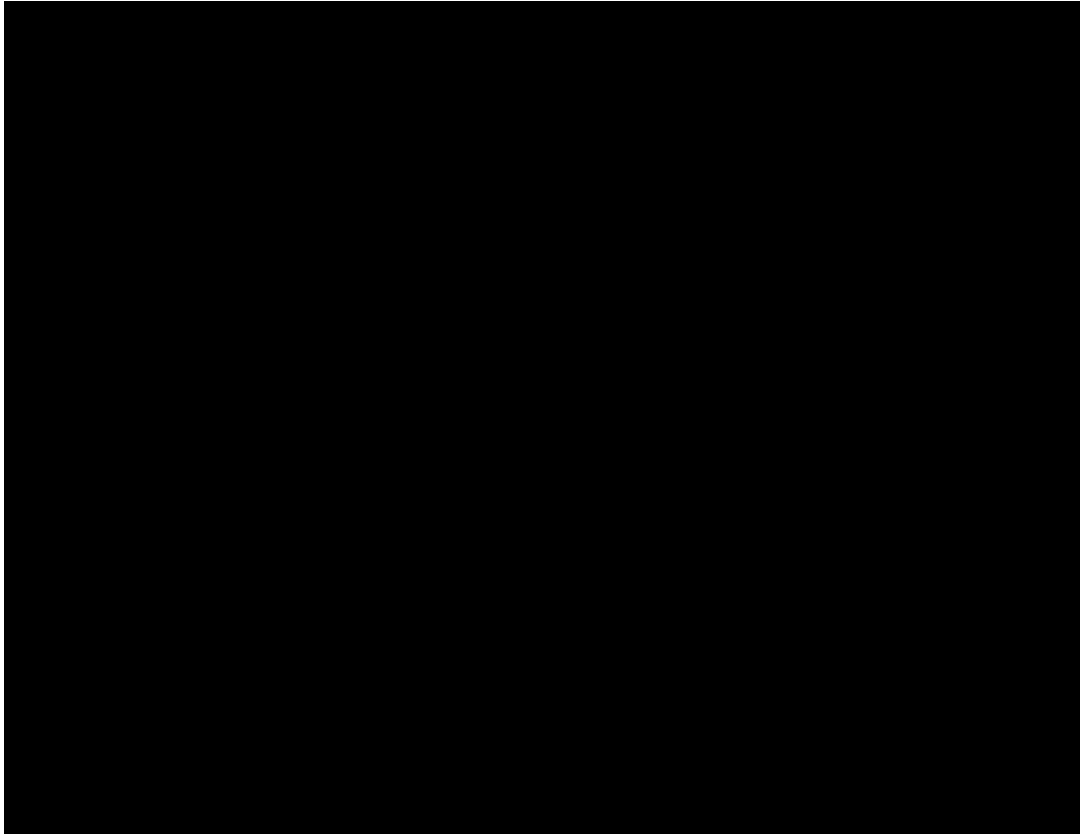
**Abbildung 10: Vergleich der Dauer der notwendigen Intensivüberwachung (in Tagen) zwischen jüngeren (< 65,5 Jahre) und älteren (> 65,5 Jahre) Patienten.** Es zeigte sich eine signifikant längere notwendige Überwachungszeit für ältere Patienten (Mittelwert 2,08 vs. 6,76 Tage;  $p = 0,0331$ , t-Test).

Im statistischen Vergleich war für Patienten über 65,5 Jahre eine signifikant längere Intensivüberwachung erforderlich (6,76 Tage im Gegensatz zu 2,08 Tagen).

### 3.3.2 Beatmungszeit

Die Nachbeatmungszeit betrug im Durchschnitt 16,2 Stunden. Im Anschluss an die Operation konnten sieben Patienten (14 %) direkt extubiert werden, am längsten war ein Patient 170 Stunden nachbeatmet. Innerhalb der ersten zehn Stunden konnten 30 Patienten (60 %) postoperativ extubiert werden. Bei drei (6 %) der 50 Patienten wurden Beatmungszeiten von jeweils 90, 140 und 170 Stunden dokumentiert.

Mittels linearer Regressionsanalyse wurde anschließend auch hier untersucht, ob das Alter der Patienten, der präoperativ mittels TTE erhobene Aneurysmadurchmesser oder die Dauer der OP signifikante Risikofaktoren für eine längere Beatmungszeit darstellen. Die Ergebnisse sind in Abb. 11 dargestellt.



**Abbildung 11: Lineare Regressionsanalysen eines möglichen Zusammenhangs zwischen Beatmungsdauer und präoperativem Aneurysmadurchmesser (A), OP-Dauer (B) und Patientenalter (C).** Für keinen der untersuchten Parameter zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang (A,  $p = 0,9857$ ; B,  $p = 0,6604$ ; C,  $p = 0,1105$ ; jeweils lineare Regressionsanalyse).

Erneut ergab sich für keinen der untersuchten Parameter ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit der notwendigen Beatmungsdauer, doch zeigte sich ein noch deutlicherer Trend bei älteren Patienten hin zu längeren nötigen Beatmungszeiten. Erneut wurde die Kohorte anhand des medianen Alters (65,5 Jahre) in zwei gleich große Gruppen geteilt und nun die mittlere Dauer der notwendigen Beatmung mittels t-Test verglichen. Das Resultat zeigt Abb. 12.



**Abbildung 12: Vergleich der notwendigen Beatmungsdauer (in Stunden) zwischen jüngeren (< 65,5 Jahre) und älteren (> 65,5 Jahre) Patienten.** Es zeigte sich knapp kein signifikanter Unterschied der Beatmungsdauer zwischen beiden Gruppen (Mittelwert 7,96 vs. 24,5 Stunden;  $p = 0,0658$ , t-Test).

### 3.3.3 Fremdblutgabe

Bei der Auswertung zeigte sich, dass insgesamt sechs Patienten Erythrozytenkonzentrate (EK) und acht Patienten Fresh Frozen Plasma (FFP) erhielten. Insgesamt wurden pro transfusionspflichtigen Patienten durchschnittlich 1467 ml EK und 600 ml FFP substituiert. In einem Fall wurden nur Erythrozytenkonzentrate und in drei Fällen wurde nur Fresh Frozen Plasma verabreicht. Eine Kombination von EK mit FFP erhielten 5 Patienten.

### 3.3.4 Komplikationen

Da die früh-postoperativen Verlaufsdaten sowohl den Zeitraum der Intensivüberwachung als auch die Aufenthaltsdauer auf der Normalstation umfassten, wurden die jeweils aufgetretenen Komplikationen getrennt voneinander betrachtet. Tabelle 14 gibt einen Überblick über die Komplikationen auf der Intensivstation. Als wesentliche Komplikationen während des Aufenthaltes auf der Intensivstation wurden vor allem Herzrhythmusstörungen verzeichnet. So wiesen 12 Patienten (24 %) eine absolute Arrhythmie und neun Patienten (18 %) Vorhofflimmern auf. Bei vier weiteren Patienten (8 %) kam es im Verlauf zu Erregungsleitungsstörungen im Sinne eines AV-Block 3. Grades, sodass in zwei Fällen für eine Schrittmacherimplantation entschieden wurde. In neun Fällen (18 %)



war die Gabe von Blutprodukten erforderlich, wobei sieben dieser neun Patienten bereits während der Operation Fremdblut erhalten hatten. Zu den selteneren Komplikationen zählten das akute Nierenversagen, die respiratorische Insuffizienz und das Durchgangssyndrom mit jeweils 6 % sowie der Spannungspneumothorax und die katecholaminpflichtige Kreislaufinsuffizienz mit einer Häufigkeit von 4 %. Bei einem Patienten kam es im Anschluss an die Operation zu einem akuten Blutverlust infolge einer Ventrikelruptur, die eine Re-Operation erforderlich machte. Im weiteren Verlauf entwickelte dieser Patient einen Hämatothorax, der im Rahmen einer erneuten Re-Thorakotomie versorgt wurde. Bei einem zweiten Patienten war es zu einer katecholaminpflichtigen Kreislaufinsuffizienz gekommen, in deren späterem Verlauf der Patient ein akutes Nierenversagen entwickelte. Darüber hinaus machte eine respiratorische Insuffizienz die Reintubation notwendig. Der Patient verstarb nach 44 Tagen auf der Intensivstation an den Folgen einer Sepsis. Ein Patient (2 %) erlitt während seines Aufenthaltes auf der Intensivstation einen Hirninfarkt.

**Tabelle 14: Komplikationen auf der Intensivstation (n = 50)**

<b>Art der Komplikation</b>	<b>Anzahl (n)</b>	<b>Anteil (%)</b>
<b>Arrhythmia absoluta</b>	12	<b>24</b>
<b>Vorhofflimmern</b>	9	<b>18</b>
<b>AV-Block 3°</b>	4	<b>8</b>
<b>Blutverlust</b>	9	<b>18</b>
<b>Akutes Nierenversagen</b>	3	<b>6</b>
<b>Respiratorische Insuffizienz</b>	3	<b>6</b>
<b>Durchgangssyndrom</b>	3	<b>6</b>
<b>Spannungspneumothorax</b>	2	<b>4</b>
<b>Katecholaminpfl.</b>	2	<b>4</b>
<b>Kreislaufinsuffizienz</b>		
<b>Blutung bei Ventrikelruptur</b>	1	<b>2</b>
<b>Hämatothorax</b>	1	<b>2</b>
<b>Hirninfarkt</b>	1	<b>2</b>
<b>Pneumonie</b>	1	<b>2</b>
<b>Sepsis</b>	1	<b>2</b>

Tabelle 15 stellt die Komplikationen dar, die auf der Normalstation auftraten. Wie auf der Intensivstation standen hier ebenfalls Herzrhythmusstörungen im Vordergrund. So wiesen elf Patienten (23 %) eine absolute Arrhythmie und zehn Patienten (21 %) Vorhofflimmern auf. Bei zwei Patienten (4 %) kam es zu einem Hb-Abfall, wobei in einem Fall für die Gabe von Erythrozytenkonzentraten entschieden wurde. In jeweils einem weiteren Fall wurden ein Pneumothorax, ein Harnwegsinfekt und ein Hirninfarkt dokumentiert.

**Tabelle 15: Komplikationen auf der Normalstation (n = 50)**

<b>Art der Komplikation</b>	<b>Anzahl der Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
<b>Vorhofflimmern</b>	11	<b>23</b>
<b>Arrhythmia absoluta</b>	10	<b>21</b>
<b>Hb-Abfall</b>	2	<b>4</b>
<b>Pneumothorax</b>	1	<b>2</b>
<b>Hirninfarkt</b>	1	<b>2</b>
<b>Harnwegsinfekt</b>	1	<b>2</b>

### 3.3.5 Echokardiografische Ergebnisse

Bei der ersten postoperativen Untersuchung, die während des Aufenthaltes auf der Normalstation durchgeführt wurde, standen die Beurteilung der Funktion der Aortenklappenprothesen und die Beurteilung der Aortendiameterreduktion im Vordergrund. Der Durchmesser der Aortenwurzel bzw. der Aorta ascendens konnte bei 36 Patienten (72 %) ausgemessen werden, in 14 Fällen (28 %) erfolgte keine Größenmessung. Die erfassten Werte betragen im Mittel 38 mm. Als Maximalwert wurde bei einem Patienten ein Durchmesser von 52 mm gemessen, der kleinste dokumentierte Wert betrug 30 mm.

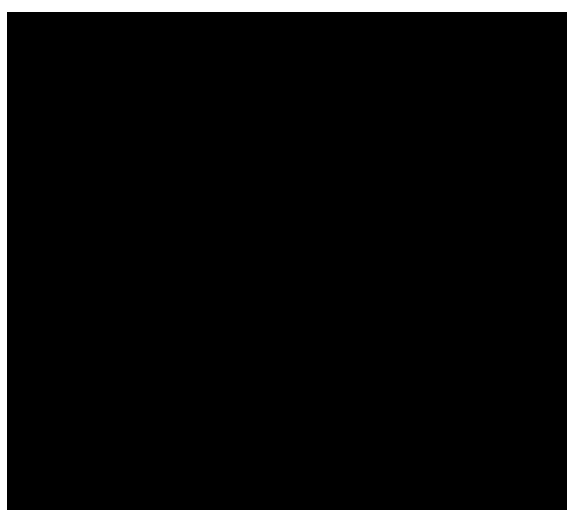
Tabelle 16 zeigt eine Zuordnung der Patienten zu dem jeweiligen Größenintervall des gemessenen Aortendiameters. Dabei bezieht sich die Angabe des prozentualen Anteils auf das Patientenkollektiv, bei dem die entsprechenden Werte dokumentiert waren (n = 36). Wie der Tabelle zu entnehmen ist, wiesen 33 der 36

Patienten (92 %) einen früh-postoperativ gemessenen Aortendurchmesser von 31–50 mm auf. Von diesen 33 Patienten wiederum konnte bei 23 Patienten (70 %) der Aortendurchmesser auf 31–40 mm verkleinert werden. Bei zwei Patienten (6 %) wurde ein Durchmesser verzeichnet, der kleiner als 31 mm war. In nur einem Fall (3 %) lag der Aortendiameter in dem Bereich von 51–60 mm.

**Tabelle 16: Darstellung der prozentualen Verteilung in Bezug auf den echokardiografisch früh-postoperativ ermittelten Aortendiameter (n = 36)**

<b>Durchmesser (TTE)</b>	<b>Anzahl der Patienten (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
<b>&lt; 31 mm</b>	2	6 (4 bei n = 50)
<b>31–40 mm</b>	23	64 (46 bei n = 50)
<b>41–50 mm</b>	10	28 (20 bei n = 50)
<b>51–60 mm</b>	1	3 (2 bei n = 50)
<b>&gt; 60 mm</b>	0	0
<b>Keine Größenangabe</b>	14	28 bei n = 50

Der statistische Vergleich der präoperativ und postoperativ echokardiografisch gemessenen Aortendiameter zeigt eine hochsignifikante Diameterreduktion durch die durchgeführte Operation (Abbildung 13; t-Test;  $p < 0,001$ ).



**Abbildung 13: Statistischer Vergleich der präoperativ und früh-postoperativ echokardiografisch gemessenen Aortendiameter.** Es zeigt sich eine hochsignifikante Diameterreduktion ( $p < 0,001$ ).

### 3.3.6 EKG-Befund

Tabelle 17 gibt einen Überblick über die früh-postoperativen EKG-Befunde während des Aufenthaltes auf der Normalstation. Zu drei Patienten konnten diesbezüglich keine Angaben gemacht werden. Ein Patient verstarb auf der Intensivstation, ein weiterer wurde im Anschluss an den intensivmedizinischen Aufenthalt in ein anderes Krankenhaus verlegt und im Falle des dritten Patienten lagen keine Daten vor. Bei insgesamt 38 Patienten (81 %) wurde zum Zeitpunkt des Aufenthaltes auf der Normalstation ein Sinusrhythmus dokumentiert, bei neun Patienten (19 %) eine intermittierende absolute Arrhythmie verzeichnet. Darunter befanden sich 8 Patienten (17 %), bei denen die intermittierende absolute Arrhythmie mit Vorhofflimmern einherging. Erregungsleitungsstörungen im Sinne eines AV-Blockes waren bei insgesamt sieben Patienten (15 %) zu beobachten, wobei sechs Patienten (13 %) einen AV-Block 1. Grades aufwiesen und ein Patient (2 %) einen AV-Block 3. Grades zeigte. Als intraventrikuläre Leitungsstörung wiesen zwei Patienten (4 %) einen kompletten Rechtsschenkelblock und neun Patienten (19 %) einen kompletten Linksschenkelblock auf. Bei insgesamt 16 Patienten (34 %) wurden Erregungsbildungsstörungen im Sinne von Vorhofflimmern, ventrikulären, supraventrikulären und suprabifurkalen Extrasystolen verzeichnet. Im Vergleich der früh-postoperativen mit den präoperativen EKG-Befunden zeigte sich, dass bei acht Patienten postoperativ eine intermittierende absolute Arrhythmie neu aufgetreten war, die in sieben Fällen auch mit Vorhofflimmern einherging. Im Falle von vier Patienten, bei denen präoperativ eine intermittierende absolute Arrhythmie dokumentiert wurde, war später auf der Normalstation ein Sinusrhythmus festzustellen. In einem Fall blieb die präoperativ diagnostizierte, intermittierende absolute Arrhythmie mit Vorhofflimmern auch postoperativ bestehen. Zwei Patienten, die präoperativ eine intermittierende absolute Arrhythmie mit Vorhofflimmern aufwiesen, konnten hinsichtlich ihrer postoperativen Daten nicht beurteilt werden, da einer von ihnen auf der Intensivstation verstorben und der zweite direkt im Anschluss an den Intensivaufenthalt in ein anderes Krankenhaus verlegt worden war.

Tabelle 17: Darstellung der früh-postoperativen EKG-Befunde (n = 47)

<b>EKG-Befund</b>	<b>Anzahl (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
<b>Vorhofrhythmus</b>		
<b>Sinusrhythmus</b>	38	81 (76 bei n = 50)
<b>Intermittierende Arrhythmia absoluta</b>	9	19 (18 bei n = 50)
<b>Erregungsleitungsstörungen</b>		
<b>AV-Block 1. Grades</b>	6	13 (12 bei n = 50)
<b>AV-Block 2. Grades</b>	0	0
<b>AV-Block 3. Grades</b>	1	2 (2 bei n = 50)
<b>Intraventrikuläre Leitungsstörung</b>		
<b>Inkompletter RSB</b>	4	9 (8 bei n = 50)
<b>Kompletter RSB</b>	2	4 (4 bei n = 50)
<b>Inkompletter LSB</b>	9	19 (18 bei n = 50)
<b>Kompletter LSB</b>	9	19 (18 bei n = 50)
<b>Erregungsbildungsstörungen</b>		
<b>Suprabifurkale ES</b>	4	9 (8 bei n = 50)
<b>Supraventrikuläre ES</b>	1	2 (2 bei n = 50)
<b>Ventrikuläre ES</b>	3	6 (6 bei n = 50)
<b>Vorhofflimmern</b>	8	17 (16 bei n = 50)

### 3.3.7 Befunde bei Entlassung

Von den 50 Patienten des Patientenkollektivs wurden 43 (86 %) bis zu ihrer Entlassung in unserer Klinik behandelt. Ein Patient verstarb auf der Intensivstation an den Folgen einer Sepsis. Die Patienten wurden durchschnittlich nach 12,8 Tagen entlassen. Die kürzeste Aufenthaltsdauer auf der Normalstation betrug fünf Tage, der längste Behandlungszeitraum belief sich auf 22 Tage. Die Patienten wurden in der Regel in eine Rehabilitationsklinik oder nach Hause entlassen, um dann nach einigen Tagen die geplante postoperative Rehabilitation zu beginnen. Alle 43 Patienten waren zum Zeitpunkt der Entlassung vollständig mobilisiert. Die Wundheilung verlief bei allen *per primam*. Insgesamt sechs Patienten wurden zur

stationären Weiterbehandlung in andere Krankenhäuser verlegt. Die Liegezeit dieser sechs Patienten auf unserer Normalstation bis zum Zeitpunkt der Verlegung betrug im Durchschnitt 4,3 Tage. Zwei Patienten konnten sofort im Anschluss an ihren Intensivaufenthalt verlegt werden, die längste Zeit bis zur Übernahme des Patienten durch die weiterbehandelnde Klinik belief sich auf 10 Tage.

### 3.4 Spät-postoperative Verlaufsdaten

Im Rahmen der späteren Verlaufskontrolle, die von Dezember 2005 bis April 2006 durchgeführt wurde, nahmen 14 Patienten an der Nachuntersuchung teil. Der durchschnittliche Zeitabstand zur Operation betrug zu diesem Zeitpunkt 69 Monate bzw. 5,8 Jahre. Die Nachuntersuchung umfasste sowohl eine transthorakale echokardiografische Untersuchung als auch eine bildgebende Beurteilung des betroffenen Gefäßabschnittes mittels einer Kontrastmittelcomputertomografie. Es zeigte sich, dass insgesamt fünf Patienten (10 %) des Patientenkollektivs (n = 50) verstorben waren, worunter sich ein Patient befand, der 44 Tage nach dem operativen Eingriff auf unserer Intensivstation an den Folgen eines Herz-Kreislaufversagens verstarb. Bezüglich der anderen vier Patienten stellte sich auf Nachfrage bei dem jeweiligen Hausarzt des Patienten heraus, dass ein Patient 5½ Jahre nach der Operation an den Folgen eines Morbus Werlhof verstarb. Der zweite Patient verstarb 1½ Jahre postoperativ unter kardio-pulmonaler Reanimation bei vorausgegangenem Kammerflimmern. Zu den weiteren zwei Patienten konnten wir im Rahmen unserer Nachforschungen hinsichtlich des Todeszeitpunktes und der Todesursache keine Daten erheben.

#### 3.4.1 Echokardiografische Ergebnisse

Eine Größenangabe für den Diameter der Aortenwurzel bzw. der Aorta ascendens im langfristigen Verlauf wurde bei 14 Patienten erhoben (28 %). Die erfassten Werte betrugen im Mittel 39 mm. Als Maximalwert wurde bei einem Patienten ein Durchmesser von 55 mm gemessen, der kleinste dokumentierte Wert betrug 29 mm. Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

**Tabelle 18: Darstellung der prozentualen Verteilung in Bezug auf den echokardiografisch spät-postoperativ ermittelten Aortendiameter (n = 14)**

<b>Aneurysmadurchmesser (TTE)</b>	<b>Anzahl (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
<b>&lt; 31 mm</b>	1	7 (2 bei n = 50)
<b>31–40 mm</b>	7	50 (14 bei n = 50)
<b>41–50 mm</b>	5	36 (10 bei n = 50)
<b>51–60 mm</b>	1	7 (2 bei n = 50)
<b>&gt; 60 mm</b>	0	0
<b>Keine Größenangabe</b>	36	72 bei n = 50

Tabelle 18 zeigt eine Zuordnung der Patienten zu dem jeweiligen Größenintervall des gemessenen Aortendiameters. Dabei bezieht sich die Angabe des prozentualen Anteils auf das Patientenkollektiv, bei dem die entsprechenden Werte dokumentiert waren (n = 14). Bei der Hälfte der Patienten (sieben Patienten) wurde ein Diameter von 31 mm bis 40 mm verzeichnet. In fünf Fällen (36 %) wurde der Aortendurchmesser mit 41 mm bis 50 mm angegeben. Ein Patient (7 %) wies mit 29 mm den kleinsten gemessenen Durchmesser auf und in einem Fall (7 %) wurde ein Aortendiameter von 55 mm gemessen.

### 3.4.2 Computertomografische Ergebnisse

Im Rahmen der Nachuntersuchung wurde bei den 14 Patienten neben der transthorakalen Echokardiografie auch eine bildgebende Untersuchung der Aorta ascendens in Form einer Kontrastmittelcomputertomografie durchgeführt. Tabelle 19 stellt die Ergebnisse von 13 der 14 nachuntersuchten Patienten dar.

**Tabelle 19: Prozentuale Verteilung des computertomografisch spät-postoperativ ermittelten Aortendiameters (n = 13)**

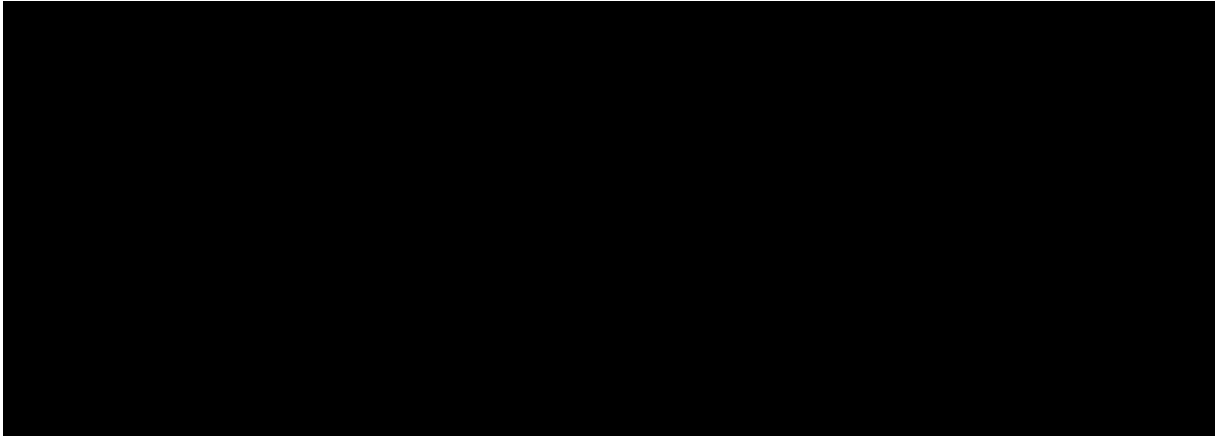
<b>Aneurysmadurchmesser (CT)</b>	<b>Anzahl (n)</b>	<b>Prozentualer Anteil (%)</b>
<b>31–40 mm</b>	<b>8</b>	<b>62 (16 bei n = 50)</b>
<b>41–50 mm</b>	<b>4</b>	<b>31 (8 bei n = 50)</b>
<b>51–60 mm</b>	<b>1</b>	<b>8 (2 bei n = 50)</b>
<b>&gt; 60 mm</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Keine Größenangabe</b>	<b>37</b>	<b>74 bei n = 50</b>

Bei den untersuchten Patienten ergab sich in der transversalen Aufnahme auf Höhe der Aorta ascendens ein Durchmesser von im Durchschnitt 39 mm. Der größte Wert konnte mit 54 mm angegeben werden, 31 mm wurden als kleinster gemessener Wert dokumentiert. In acht Fällen (62 %) lag der Aortendiameter im Bereich von 31 mm bis 40 mm, bei vier Patienten (31 %) wurde ein Durchmesser von 41 mm bis 50 mm verzeichnet. Ein Patient (8 %) wies mit 54 mm den größten gemessenen Diameter auf.

### 3.4.3 Vergleich der echokardiografischen sowie der computertomografischen Daten im Verlauf

Die in der Echokardiografie und Computertomografie gemessenen Durchmesser der Aorta ascendens wurden gegenübergestellt, um die beiden Untersuchungsverfahren miteinander vergleichen zu können (Abbildung 14). Von den 14 zur Nachuntersuchung erschienenen Patienten konnte aus beiden Messverfahren auf die Daten von 13 Patienten für den direkten Vergleich zurückgegriffen werden.



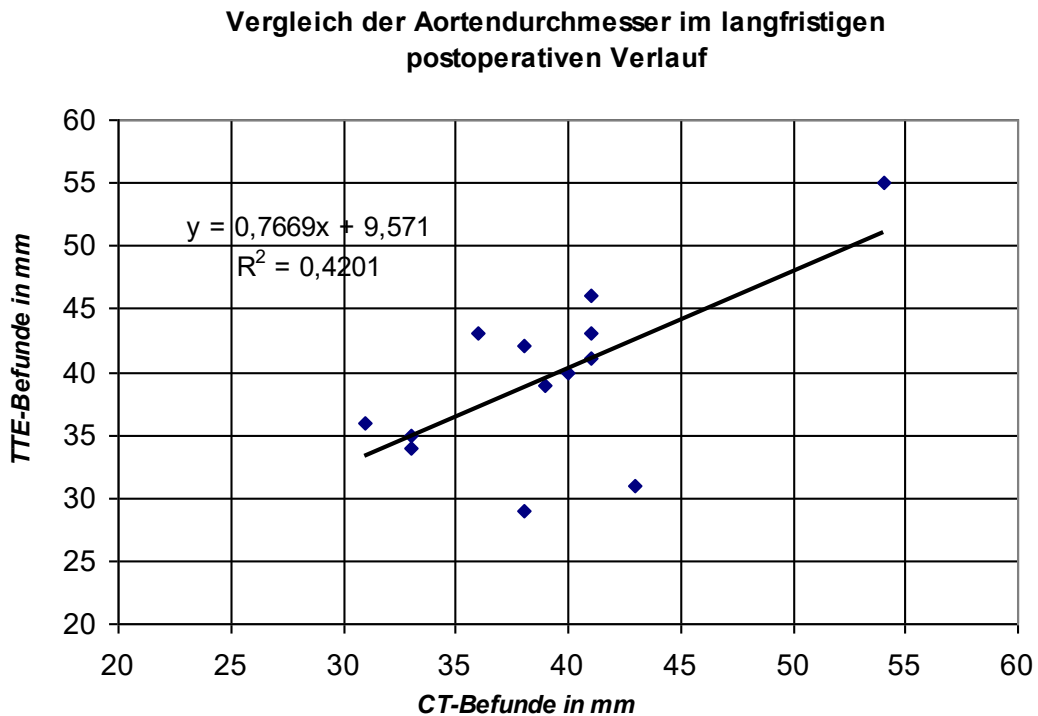


**Abbildung 14: Vergleich der spät-postoperativ computertomografisch und echokardiografisch ermittelten Aortendurchmesser.** A, direkter Vergleich der Messergebnisse bei individuellen Patienten. B, Vergleich der Mittelwerte der Messergebnisse mittels TTE und CT. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ( $p = 0,8541$ , t-Test).

Bei der Gegenüberstellung zeigte sich eine mäßig gute Annäherung der echokardiografisch an die computertomografisch gewonnenen Daten. Die durchschnittliche Differenz der in beiden Messverfahren ermittelten Werte betrug 0,5 cm und die Spannbreite der jeweils größten und kleinsten gemessenen Abweichung reichte von -7 mm bis +12 mm.

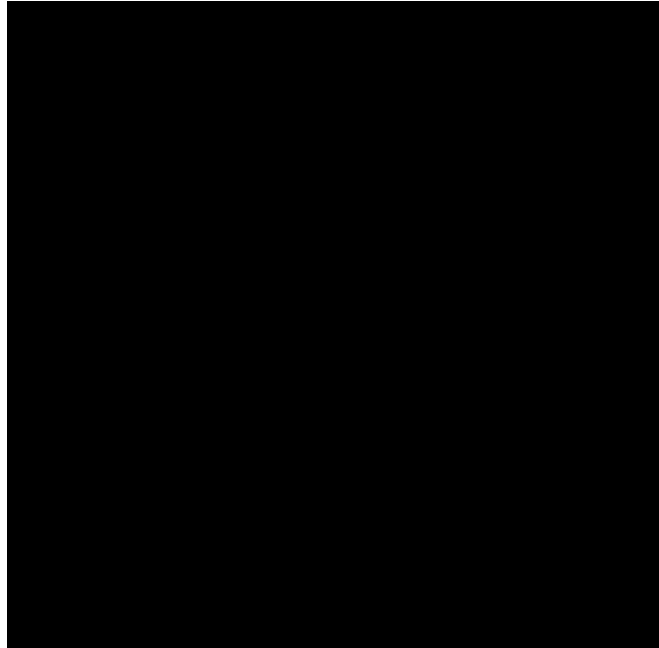
Es stellte sich heraus, dass die echokardiografisch ermittelten Daten in acht von 13 Fällen im Durchschnitt etwa 3,4 mm über den computertomografisch gemessenen Werten lagen (Max.: 7 mm; Min.: 1 mm). In zwei Fällen war der echokardiografisch ermittelte Wert jedoch um jeweils 12 mm bzw. 9 mm kleiner als der computertomografisch bestimmte Aortendurchmesser. Bei drei Patienten wurde eine Übereinstimmung der in beiden Verfahren ermittelten Werte verzeichnet. Der Mittelwert der computertomografischen Messungen betrug 39,08 mm im Vergleich zu 39,54 mm in der echokardiografischen Bestimmung; dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,8541$ , t-Test). Für die Standardabweichung wurde bezüglich der radiologischen Messmethode ein Wert von 5,78 mm ermittelt. Die Standardabweichung der echokardiografischen Messdaten ergab einen Wert von 6,84 mm. Um zu prüfen, inwiefern ein Zusammenhang zwischen den echokardiografisch und computertomografisch gemessenen Aortendurchmessern im langfristigen Verlauf besteht, wurden erneut Regressionsanalysen durchgeführt

und die Ergebnisse in Form einer Regressionsgeraden (Abbildung 15) veranschaulicht. Das Bestimmtheitsmaß lag in diesem Fall bei 0,42.



**Abbildung 15: Korrelation zwischen computertomografisch und echokardiografisch ermittelten Aortendurchmessern im langfristigen postoperativen Verlauf.** Es zeigte sich eine mäßige Korrelation zwischen beiden Werten.

Anschließend wurden die präoperativ, früh-postoperativ und spät-postoperativ erhobenen Daten untereinander verglichen und statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Abb. 16 zusammengefasst.



**Abbildung 16: Vergleich der (echokardiografisch) prä-, früh- und spät-postoperativ ermittelten Aortendurchmesser.** Es zeigte sich eine signifikante Diameterreduktion zwischen dem prä- und früh postoperativ erhobenen Messzeitpunkt ( $p < 0,0001$ ) sowie dem prä- und spät-postoperativ erhobenen Messzeitpunkt ( $p < 0,0001$ ). Zwischen dem früh- und spät-postoperativ erhobenen Diameter zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $p > 0,05$ ; jeweils ANOVA mit multiplen Gruppenvergleichen nach Tukey).

Die präoperativ ermittelten Werte betragen im Durchschnitt 48,38 mm im Vergleich zu 38 mm im früh-postoperativen sowie 39,15 mm im spät-postoperativen Verlauf. Damit wurde über den gesamten Beobachtungszeitraum eine durchschnittliche Diameterreduktion von 9,23 mm verzeichnet. Die kleinste gemessene Diameterreduktion belief sich auf 1 mm, als größter Wert konnten 29 mm angegeben werden. In zwei Fällen wurde ein Zuwachs von 2 bzw. 3 mm dokumentiert. Die statistische Auswertung bestätigte eine signifikante Diameterreduktion vom präoperativ erhobenen Messzeitpunkt zu den prä- und spät-postoperativ erhobenen Messzeitpunkten (jeweils  $p < 0,0001$ ).

## 4 DISKUSSION

Das im Rahmen dieser Studie an einem definierten Kollektiv von 50 Patienten untersuchte operative Verfahren bezieht sich auf die Aorta ascendens, anatomisch definiert als jener Bereich, der zwischen dem Aortenklappenring und dem Abgang des Truncus brachiocephalicus liegt. Dabei lässt sich die aufsteigende Aorta noch in den Bereich der Aortenwurzel, oder auch Bulbus aortae genannt, und in die eigentliche aszendierende Aorta unterteilen. Als Aortenwurzel wird der Aortenabschnitt vom Klappenring bis ungefähr 2 cm aufwärts, welcher die Aortenklappensegel und die Abgänge der Koronararterien birgt, bezeichnet.

### 4.1 Patientenkollektiv und präoperative Untersuchungsergebnisse

Um den Einsatz und das Prinzip der verschiedenen operativen Verfahren zur Korrektur der Aortenaneurysmen beurteilen zu können, ist es wichtig, dabei auch die dem Krankheitsbild zugrunde liegenden pathomorphologischen Veränderungen zu berücksichtigen, die im Patientenkollektiv typischerweise anzutreffen sind.

Das mediane Patientenalter in unserer Studie war 64 Jahre, und es waren knapp doppelt so viele Männer wie Frauen vertreten. Neben dem Aneurysma wiesen die Patienten häufig zusätzlich eine Aortenstenose, eine Aorteninsuffizienz oder ein kombiniertes Aortenvitium auf. In Bezug auf zugrunde liegende Risikofaktoren (Hypertonus, Diabetes, Rauchen, Adipositas) sowie (internistische) Begleiterkrankungen waren die in der Literatur als charakteristisch beschriebenen Merkmale [21, 23] auch bei den von uns untersuchten Patienten häufig. Neben einem arteriellen Hypertonus und einer generalisierten Arteriosklerose sind vor allem angeborene bikuspidale Aortenklappenvitien als klassische Risikofaktoren zu nennen [57]. In einer Untersuchung analysierten Della Corte et al. (2007), welche Einflussfaktoren der Entstehung einer Aortendilatation im Falle einer bikuspiden Aortenklappe zugrunde liegen. Dazu führten sie bei 280 Patienten echokardiografische Untersuchungen durch und entwickelten multivariante Regressionsmodelle, anhand derer eine Dilatation sowohl im aszendierenden als auch im Wurzelbereich vorausberechnet werden sollte. Bei 83,2 % der Patienten

zeigte sich eine Aortendilatation, die vorwiegend im mittleren Teil der aufsteigenden Aorta lokalisiert war. Bei 43,2 % der Patienten war die Indikation zur chirurgischen Intervention gegeben. Della Corte et al. (2007) kamen zu der Feststellung, dass das Alter, ein bestehender Hypertonus und der Schweregrad einer Aortenklappenstenose wesentliche begünstigende Faktoren im Hinblick auf eine Aortendilatation waren. Dabei verhielt sich das Ausmaß der Dilatation proportional zu der Klappenstenose, was auf eine durch einen poststenotischen Mechanismus verursachte Dilatation schließen ließ [58].

An klinischen Symptomen, die häufig den Grund für den Arztkontakt darstellten, gaben 74 % der Patienten Belastungsdyspnoe und 26 % eine Angina-pectoris-Symptomatik an. Auch dies deckt sich mit Literaturangaben und spricht für die Repräsentativität der Studienkohorte [24, 25, 30]. Zudem war bei 17 Patienten (34 %) eine eingeschränkte linksventrikuläre Funktion festgestellt worden, unter Herzrhythmusstörungen (intermittierende absolute Arrhythmie) litten sieben Patienten (14 %). Mit den beschriebenen Krankheitsbildern stellt das von uns untersuchte Studienkollektiv somit einen typischen Querschnitt durch das betroffene Patientengut dar und ist als repräsentativ anzusehen.

Zur Bestimmung des Schweregrads des vorliegenden Krankheitsbildes wurden die Auswurffractionen bestimmt; zusätzlich wurde eine Klassifikation der Aortenklappenstenose nach Druckgradienten und Aortenklappenöffnungsfläche vorgenommen. Hierbei zeigte sich keine vorherrschende Prädominanz bezüglich eines bestimmten Auswurffractionenintervalls. Aufgrund der geringen Datenerhebung in Bezug auf die Aortenklappenöffnungsfläche, des Problems einer eindeutigen und allgemeingültigen Zuteilung der Patienten in den jeweiligen Schweregrad des Vitiums sowie der fehlenden Berücksichtigung eines kombinierten Vitiums in der oben beschriebenen Klassifikation muss die Verteilung der Schweregrade der Aortenklappenitien in der vorliegenden Untersuchung kritisch gesehen werden. Trotzdem decken sich die Resultate der Untersuchungen weitgehend mit den in der Literatur publizierten Angaben zu vergleichbaren Patientenkollektiven.

Bei allen Patienten wurde die obligate präoperative Koronarangiografie durchgeführt, womit bei 17 Patienten ein stenosierender Prozess der

Herzkranzgefäße (KHK) nachgewiesen werden konnte. Zudem waren mittels EKG KHK-typische Erregungsleitungsstörungen nachweisbar. Dies ist nicht überraschend, da der KHK weitgehend identische Risikofaktoren zugrunde liegen, wie sie bereits oben für die Entstehung eines Aortenaneurysmas beschrieben wurden (u. a. Hypertonus, Diabetes, Rauchen, Adipositas) [21, 23].

Die Bestimmung des präoperativen Aneurysmadurchmessers wurde echokardiografisch (n = 47) und computertomografisch (n = 17) vorgenommen. Mittels Echokardiografie zeigte sich im gesamten Patientenkollektiv ein mittlerer Aneurysmadurchmesser von 48 mm, mittels CT von 55 mm. Obwohl somit in der CT-Untersuchung leicht höhere Werte erzielt wurden, zeigte die statistische Analyse keinen signifikanten Unterschied zwischen den mit beiden Methoden ermittelten Messwerten. Zudem ergab die Durchführung einer Regressionsanalyse einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen beiden Messwerten. Als Einschränkung bei kritischer Betrachtung ist anzumerken, dass die CT-grafische Ermittlung nur bei einem Teil der Patienten vorgenommen wurde und somit nur bei 17 Patienten beide Werte verglichen werden konnten. Da für die CT-Untersuchung allerdings von einer Schwankungsbreite von bis zu 5-mm-Aortendiameter ausgegangen wird, sind die Ergebnisse beider Messmethoden für die in dieser Studie untersuchten Aneurysmen als gleichwertig zu betrachten.

#### 4.2 Operationsverfahren und perioperativer Verlauf

Die pathophysiologischen Mechanismen, welche der Entstehung von Aortenaneurysmen zugrunde liegen, basieren auf dem Gesetz von Laplace. Die im Falle einer Dilatation auftretende Wandspannung verhält sich proportional zum Produkt aus Aortendurchmesser und Blutdruck und indirekt proportional zur Wandstärke. Somit wird deutlich, dass das Ziel der operativen Korrektur sowohl in der Reduktion der Wandspannung durch Verringerung des Aortendurchmessers als auch in der Vorbeugung einer drohenden Ruptur durch Stabilisierung der Aortenwand liegt. Dabei kommen unterschiedliche Techniken zum Einsatz. Erstreckt sich das Aneurysma auf den Aortenannulus, den sino-tubulären Übergang

oder den Bereich der Aortenwurzel, wie dies vor allem bei Marfan-Patienten der Fall ist, so ist häufig der Ersatz der Aorta ascendens und der Aortenklappe indiziert.

Die Indikation zur externen Wandstabilisierung der Aorta ascendens wird in der Literatur teilweise sehr kontrovers diskutiert. So findet die Methode unter anderem Anwendung bei erworbenen, arteriosklerotischen Aortenaneurysmen, im Falle von Dilatationen bei zystischer Medianekrose sowie beim Marfan-Syndrom und poststenotischen Dilatationen auf dem Boden eines assoziierten Klappenvitiums. Dabei sollte die Indikation zur Operation für jeden Patienten individuell und im Hinblick auf die zugrunde liegende Pathogenese gestellt werden [59]. Darüber hinaus sollten auch der Allgemeinzustand des Patienten sowie seine Begleiterkrankungen berücksichtigt werden. Während die Leitlinien der ESC von 2014 das Verfahren nicht grundsätzlich empfehlen, legen die Autoren auch dar, welche Patienten im Speziellen davon profitieren können: ältere Patienten mit einer hohen Steifheit der Aorta oder Hochrisikopatienten [28].

Robicsek (1982) berichtet in einer seiner Studien über seine Erfahrungen mit 104 Patienten, bei denen die Methode des Aortenwrappings angewandt wurde und kommt zu dem Schluss, dass vor allem Patienten mit kleinen fusiformen Aneurysmen der abdominellen Aorta und Patienten mit kleinen und mittelgroßen Aneurysmen der thorakalen Aorta sowie ältere Patienten mit ungünstig lokalisierten Aneurysmen von der Operationsmethode profitieren. Des Weiteren beschreibt er die erfolgreiche Behandlung poststenotischer Dilatationen im Rahmen von Aortenklappenstenosen [55]; diese Daten wurden über 30 Jahre darauf von Choi et al. bestätigt [60]. Das von Robicsek 1971 angewandte Verfahren bei sechs Patienten mit poststenotischer Dilatation beinhaltete den Ersatz der Aortenklappe, eine Diameterreduktion der dilatierten Aorta im Sinne einer Reduktionsplastik mit anschließender Dacron-Ummantelung. Die Nachbeobachtungszeit erstreckte sich von der sechsten postoperativen Woche bis zweieinhalb Jahre nach der Operation. Keiner der Patienten erlitt in der späteren Folge eine Klappendysfunktion oder eine Undichtigkeit im Bereich der Ummantelung. Vor allem aber kam es in keinem der Fälle zu einer postoperativen Redilatation der Aorta. In einem 1991 erschienenen Artikel von Milgater et al. berichtet der Autor von Erfahrungen mit einer Variante der externen Wandstabilisierung, die im Langzeitverlauf ebenfalls erfolgreiche Ergebnisse aufzuweisen hat [61]. Dabei wurde das Operationsverfahren vor allem

bei Patienten angewandt, bei denen in gleicher Sitzung eine Aortenklappenoperation durchgeführt wurde und die zugleich eine stark arteriosklerotisch veränderte Aorta oder eine sehr dünnwandige und fragile Aortenwand aufwiesen. Im Gegensatz zu Dacron-, Teflon- oder Gore-Tex-Platten bietet die Verwendung von „Dacron mesh“ aufgrund der Elastizität den Vorteil des einfachen Modellierens und der homogenen Anpassung entlang der Aorta. Des Weiteren wurde das Risiko einer Hämatabildung unterhalb des Dacron-Netzes aufgrund der gitterartigen Beschaffenheit des „Dacron mesh“ deutlich minimiert.

Ungeachtet der oftmals kontrovers diskutierten Indikationsstellung zur externen Aortenummantelung stellen vor allem die Größe des Aneurysmas sowie die Größenprogredienz oder das Vorhandensein akuter Beschwerden die Indikation zur operativen Therapie dar. Besonders hinsichtlich einer Größenzunahme auf 5 mm oder mehr innerhalb kurzer Zeit ist mit einem deutlich erhöhten Risiko einer Aneurysmaruptur zu rechnen [28, 62]. Im Falle von Aneurysmen mit extrem großem Durchmesser, bei akuten Aortendissektionen und bei bestehender Rupturgefahr hat sich die Ummantelung der Aorta nicht als die Methode der Wahl erwiesen, in solchen Fällen sollte ein kompletter Gefäßersatz mittels einer Prothese erfolgen.

An der Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie der Universität Düsseldorf bildete zur Zeit der Datenerhebung für die vorliegende Studie ein intraoperativ gemessener Aortendurchmesser von 45 bis 65 mm die Grundlage zur Durchführung einer Aortenreduktionsplastik mit anschließender externen Aortenummantelung. In allen Fällen konnte eine Dilatation des sinu-tubulären Überganges ausgeschlossen werden und die ermittelten Werte im Bereich des Aortenbogens lagen im Normbereich. In der hier vorgestellten Studie führten wir als typischen Zugangsweg bei allen Patienten die mediane Sternotomie durch. Daran schloss sich die aorto-atriale Kanülierung zum Anschluss der Herz-Lungen-Maschine und die Gabe einer kristalloiden Kardioplegielösung an. Alle Eingriffe fanden in moderater Hypothermie (30°C) statt. Die operative Umfangsreduktion bei Dilatation der Aorta ascendens erfolgte meistens im Anschluss an weitere Eingriffe am Herzen. So führten wir zunächst bei 49 Patienten einen Aortenklappenersatz durch, bei 29 Patienten war zusätzlich eine subvalvuläre Myektomie erforderlich und 13 weitere Patienten erhielten einen koronaren Bypass. Zwei Patienten waren bereits in früherer Zeit schon einmal kardio-chirurgisch operiert worden und 14 Patienten wiesen eine



angeborene bikuspidale Aortenklappe auf. In Anlehnung an das von Robicsek und Thubrikar beschriebene Verfahren [63] führten wir dann die Aortenreduktionsplastik durch: beginnend mit einer Inzision entlang der Vorderseite des Gefäßes in Richtung des nonkoronaren Sinus Valsalva erzielten wir die Aortenreduktion durch Entfernung eines ovalen Streifens der Aortenwand im Bereich der maximalen Konvexität der Aorta ascendens. Daran anschließend wurde die Aortenwand mit 4.0-Prolene-Nähten doppelläufig verschlossen. Abgesehen davon verstärkten wir bei 92 % der Patienten die Aorta von außen mit einer unbeschichteten Dacron-Prothese, um die Aortenwand zusätzlich zu stabilisieren.

Das angewendete Operationsverfahren ist eine Abwandlung des initial von Cabrol entwickelten Vorgehens [51]. Bei diesem wird ein Prothesenrohr an die distale Aorta descendens anastomosiert und im Anschluss daran das Conduit in herkömmlicher Weise eingesetzt. In der Folge werden die beiden Koronarostien zunächst mit einer 8-mm-Dacronprothese verbunden und dann Seit-zu-Seit mit dem Aszendensrohr anastomosiert. Diese Methode kommt vor allem dann zur Anwendung, wenn es sich um einen Re-Eingriff mit schwer mobilisierbaren Koronarostien oder um fragiles Gewebe im Bereich der Ostien handelt.

Das beschriebene Standardverfahren wurde im Laufe der medizinischen Weiterentwicklung stets modifiziert und weiterentwickelt [64]. So finden sich seit einigen Jahren immer häufiger sogenannte „Root remodeling“-Verfahren, bei denen eine wandverstärkende und umfangreduzierende Aortenplastik Anwendung findet. Dabei wird die dilatierte Aorta durch Raffung und Ummantelung mittels einer extern angelegten Aortenprothese auf ein normales Maß reduziert. Als einer der Ersten beschrieb Robicsek seine Technik der externen Wandstabilisierung mithilfe einer Dacron-Prothese, die vor allem bei Patienten mit einer poststenotischen Aortendilatation auf dem Boden einer Aortenklappenerkrankung angewendet wird [65]. Bei diesem Verfahren, welches des Anschlusses an die Herz-Lungen-Maschine bedarf, wird zunächst der Klappenersatz durchgeführt. Dann wird durch eine ovale Exzision ein Teil der vorderen Aortenwand entfernt und diese im Anschluss daran mit einer fortlaufenden Prolenenahrt verschlossen, sodass mit diesem Schritt bereits eine Umfangsreduktion erzielt wird. Als Nächstes wird eine geeignete Dacron-Prothese zugeschnitten und um die vormals dilatierte Aorta

gelegt. Die Ränder werden mit nicht resorbierbarem Nahtmaterial verschlossen. Zum Schluss wird die Dacron-Prothese an der zuvor implantierten Klappe fixiert.

Eine Studie von Milgalter et al. aus dem Jahr 1991 bestätigt die guten Langzeitergebnisse dieses Verfahrens, dessen Vorteil zum einen in der Dehnbarkeit des Materials liegt, zum anderen verhindert die externe Wandstabilisierung eine Thrombozytenaggregation und -adhäsion, wie dies bei dem kompletten Ersatz der Aorta ascendens mittels einer Rohrprothese der Fall wäre [61].

Im Rahmen der Weiterentwicklung der Technik von Robicsek wäre schließlich noch die sogenannte „waistcoat-aortoplasty“ zu nennen. Dabei wird auf die externe Prothesenummantelung verzichtet, die Verstärkung und Umfangsreduktion der dilatierten Aorta wird allein durch Raffung und Doppelung der Aortenwand erzielt. Della Corte et al. publizierten 2003 ihre Erfahrungen mit dieser Methode, die bei 73 Patienten angewandt wurde. Die frühe Mortalitätsrate betrug 0 % und insgesamt war die postoperative Morbidität gering. Hinsichtlich des Operationserfolges verzeichneten die Autoren eine signifikante Umfangsreduktion, wenngleich bestätigende Langzeitergebnisse nicht vorliegen [66].

Als wesentliche Alternative zu dem in dieser Studie angewendeten operativen Vorgehen wäre das von Hugh Bentall im Jahre 1968 eingeführte Verfahren zu nennen. Es besteht im Ersatz der Aortenklappe durch eine Klappenprothese, während das Aneurysma exzidiert und durch eine Rohrprothese ersetzt wird [49]. In einer großen Studie berichten Gott et al. über ihre 24-jährige Therapieerfahrung hinsichtlich dieser Methode bei 271 Marfan-Patienten. Demnach wurde in der Zeit zwischen 1976 und 2000 das Aortenaneurysma bei 232 Patienten durch ein sogenanntes Composite-Graft ersetzt, 15 Patienten erhielten ein Homograft und bei 24 Patienten wurde ein klappenerhaltendes Verfahren gewählt. Bei 235 Patienten handelte es sich um einen elektiven Eingriff, dessen 30-Tages-Mortalität 0 % betrug. Im Falle der 36 notfallmäßig operierten Patienten traten zwei Todesfälle in der früh-postoperativen Phase auf. Bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Studie im Jahre 2002 lebten noch 83 % der Patienten. Die Autoren sehen in dem Verfahren nach Bentall bei Marfan-Patienten vor allem den Vorteil des geringen Operationsrisikos. Dabei empfehlen sie den elektiven Ersatz der Aortenwurzel,

solange diese einen Durchmesser von 6 cm noch nicht erreicht hat, um das Risiko einer Dissektion oder Ruptur zu minimieren [67].

In den nachfolgenden Jahren wurde auch diese Methode mehrfach abgewandelt und weiterentwickelt. So wird unter der modifizierten Bentall- oder Button-Technik die Implantation einer klappentragenden Prothese mit Reimplantation der Koronarostien verstanden [68]. So berichten beispielsweise Michielon et al. im Jahre 2001 von ihren Erfahrungen mit der modifizierten "Button-Bentall-Technik" [69]. In dem Zeitraum zwischen 1991 und 2000 wurden 135 Patienten nach dieser Methode operiert. Anlass zur Operation war bei 74 Patienten das Vorliegen einer annuloaortalen Ektasie, in 31 Fällen lag eine Typ-A-Dissektion vor und 30 Patienten zeigten ein Aortenaneurysma ohne Dissektion. Bei 34 der insgesamt 135 Patienten handelte es sich um einen notfallmäßig durchgeführten Eingriff. Die 30-Tages-Mortalität betrug 5,18 % und die 9-Jahres-Überlebensrate lag bei 91,8 %. Die Rate von erforderlichen Reoperationen belief sich auf 11,9 %. Die Autoren sehen die Vorteile dieses Verfahrens vor allem in der Möglichkeit der Wahl einer Prothese entsprechend dem jeweiligen Patientenprofil. Des Weiteren ermöglicht die Reimplantation der Koronarostien nach der Button-Technik eine Reduzierung der Spannung im Bereich der Anastomose.

Eine retrospektive Studie von Gelsomino et al. stellt die Früh- und Langzeitergebnisse von 72 Patienten dar, bei denen in einem Zeitraum von 1986 bis zum Jahre 2002 ein Aortenwurzeleratz im Sinne einer Bentall-Operation durchgeführt wurde. Dabei erwies sich die annuloaortale Ektasie als häufigstes zugrunde liegendes Krankheitsbild, gefolgt von Typ-A-Dissektionen, atherosklerotischen Aneurysmen und poststenotischen Dilatationen. Hierbei konnten eine 30-Tagesmortalität von 5,5 % und eine 16-Jahresüberlebensrate von 91,7 % erzielt werden. Darüber hinaus war bei keinem Patienten eine Re-Operation erforderlich. Aufgrund ihrer Ergebnisse bezeichnen die Autoren das Verfahren nach Bentall als Methode der Wahl für den Aortenwurzeleratz mit Reimplantation der Koronarien [70].

Die eigentliche Schnitt-Naht-Zeit (Operationszeit) betrug in unserer Studie durchschnittlich 215 Minuten (130–315 Minuten), die Perfusionszeit aller Operationen an der Herz-Lungen-Maschine betrug im Durchschnitt 110 Minuten

(75–157 Minuten). Wird nur die Standardoperation (Eingriff an der Aortenklappe und Operation der Aorta ascendens in der beschriebenen Form) betrachtet, so ergab sich eine Durchschnittszeit von 106 Minuten. Die längste Perfusionszeit mit durchschnittlich 126 Minuten verzeichneten wir bei den beiden Patienten, bei denen eine Bypassoperation sowie das Standardverfahren, jedoch ohne Prothesenummantelung, durchgeführt wurden. Aufgrund der relativ großen Differenz von 107 zu 144 Minuten und der Tatsache, dass dieses Verfahren nur bei zwei Patienten zur Anwendung kam, bleibt der ermittelte Durchschnittswert von 126 Minuten als kritisch zu betrachten. Die Ischämiezeit betrug in Bezug auf alle Operationen im Durchschnitt 68 Minuten (44–102 Minuten), die Reperfusionzeit aller Operationen im Durchschnitt 31 Minuten (18–58 Minuten).

Die statistische Auswertung ergab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen präoperativ mittels TTE erhobenem Aneurysmadurchmesser und Ischämiezeit, Reperfusionzeit, Bypasszeit sowie gesamter OP-Dauer. Dies bedeutet, dass die Größe des Aneurysmas in unserer Studie keinen signifikanten Einfluss auf die perioperativen Kenngrößen hatte. Dies widerspricht Daten, die von Brewster et al. für abdominelle Aneurysmata zusammengefasst wurden; allerdings ist bei diesen Operationen die Abklemmzeit der Nierengefäße ein essenzieller Faktor für den Outcome, was auf unsere Patientenkohorte nicht zutrifft [71]. Die ungünstige prognostische Bedeutung der Aneurysmagröße im Hinblick auf eine mögliche Ruptur kann hingegen als gesichert gelten [72].

Insgesamt traten bei drei Patienten (6 %) intraoperative Komplikationen (jeweils ein Fall von Tachyarrhythmia absoluta, Sinusbradykardie und akutem Rechtsherzversagen) auf. Eine Katecholamingabe im Anschluss an die extrakorporale Zirkulation war bei 13 Patienten (26 %) notwendig. Neunzehn Patienten erhielten Erythrozytenkonzentrate (EK) und 11 Patienten Fresh Frozen Plasma (FFP). Bei einem Patienten substituierten wir Thrombozytenkonzentrate (TK). Diese Daten stehen im Einklang mit publizierten Ergebnissen größerer Studien sowie publizierter Meta-Analysen und verdeutlichen den hohen technischen Standard des operativen Vorgehens [73-77].

### 4.3 Früh-postoperativer Verlauf und Operationsergebnisse

Die Erfassung der früh-postoperativen Verlaufsdaten bezog sich sowohl auf den Zeitraum der Intensivüberwachung als auch auf den Aufenthalt auf der Normalstation. Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Patienten auf der Intensivstation betrug 4,4 Tage. Auch hier zeigte sich mittels Regressionsanalyse kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Liegezeit und dem präoperativen Aneurysmadurchmesser, der OP-Dauer und dem Patientenalter. Da der letztgenannte Zusammenhang einen starken statistischen Trend aufwies ( $p = 0,1563$ ), wurde die Patientenkohorte anhand des medianen Alters in zwei gleich große Gruppen eingeteilt. Nun zeigte sich eine signifikant längere Dauer der Liegezeit auf der Intensivstation für Patienten, die älter als 65,5 Jahre waren. Dieser Zusammenhang ist aus vorliegenden Untersuchungen zu anderen Erkrankungsbildern bereits bekannt und durch die verzögerte Wundheilung, die verlangsamte Erholung der Nieren- und Lungenfunktion und das abgeschwächte Immunsystem bei älteren im Vergleich zu jüngeren Patienten zu begründen [78-81]. Somit sollte bei der Risiko-Nutzen-Abwägung einer Aneurysmaoperation für ältere Patienten bereits die längere Verweildauer auf der Intensivstation mit einbezogen werden.

Für die Beatmungszeit zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang mit den untersuchten Variablen, auch nicht mit dem Patientenalter. Zwar gibt es diesbezüglich widersprüchliche Daten in der publizierten Literatur [82], allerdings muss hierzu angemerkt werden, dass in diese Untersuchungen auch zahlreiche internistische Patienten mit bereits krankheitsbedingt kompromittierter Lungenfunktion einfließen, die in unserem (kardio-)chirurgischen Patientenkollektiv nicht vorkamen.

Im früh-operativen Verlauf erlitt ein Patient (2 %) einen Hirninfarkt; knapp ein Fünftel der Patienten zeigte (passagere) EKG-Auffälligkeiten. Dieses Ergebnis deckt sich erneut mit im Rahmen der Leitlinien publizierten Raten und ist ein erneuter Beleg für ein gegenüber internationalen (Meta-)Analysen vergleichbares Risikoprofil unserer Patientenkohorte im früh-postoperativen Verlauf [56].

Die gesamte Aufenthaltsdauer der Patienten in unserer Klinik betrug durchschnittlich 12,8 Tage; alle Patienten waren zum Zeitpunkt der Entlassung voll

mobilisiert. Die durch die OP erreichte Reduktion des Aortendurchmessers wurde echokardiografisch bestimmt. Erwartungsgemäß zeigte sich eine hochsignifikante Reduktion des Durchmessers, weshalb das OP-Ergebnis zum frühen postoperativen Zeitpunkt als hoch zufriedenstellend bezeichnet werden kann. Dies bestätigt den hohen Stellenwert der chirurgischen Therapie bei der Behandlung des thorakalen Aortenaneurysmas, wie er auch Eingang in die aktuellen Leitlinien gefunden hat [28].

#### 4.4 Langzeitverlauf

Zur Erfassung des Outcomes im Langzeitverlauf wurden im Schnitt 69 Monate (knapp 6 Jahre) nach der Operation Nachuntersuchungen durchgeführt (transthorakale echokardiografische Untersuchung sowie Kontrastmittelcomputertomografie), an denen 14 Patienten teilnahmen. Fünf Patienten waren mittlerweile verstorben, wobei sich bei keinem Patienten ein kausaler Bezug der Todesursache zu der durchgeführten OP herstellen ließ.

Als wesentlicher Parameter für den langfristigen Outcome wurde mit beiden Methoden erneut der Diameter der Aortenwurzel bzw. der Aorta ascendens bestimmt. Hier ergab sich sowohl mittels Echokardiografie als auch mit der Computertomografie ein Mittelwert von 39 mm; wie erwartet, zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen beider Messverfahren ( $p = 0,8541$ ). Dafür zeigte die Regressionsanalyse einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen beiden Messgrößen ( $p < 0,0001$ ). Dies bestätigt die auch in die aktuelle Leitlinie eingeflossene Beobachtung, dass auch im langfristigen Verlauf sowohl die Echokardiografie als auch die Computertomografie gut geeignet sind, Größenveränderungen der Aortenwurzel zu detektieren [28]

Im Vergleich zu den unmittelbar nach der OP erhobenen Messgrößen zeigte sich eine minimale, nicht signifikante Zunahme des mittleren Durchmessers; der Vergleich zu den präoperativ erhobenen Daten bestätigte allerdings die signifikante Diameterreduktion durch die OP. Da der Unterschied zwischen den früh- und spät-postoperativ erhobenen Daten im Bereich der Messunsicherheit liegt, kann davon ausgegangen werden, dass die OP-Resultate auch im Langzeitverlauf stabil bleiben

und es nicht zu einer erneuten Größenzunahme kommt. Dies bestätigt Daten aus der vorliegenden Literatur [83, 84].

#### 4.5 Schlussfolgerungen

Aus den im Rahmen dieser Dissertation erhobenen und ausgewerteten Daten an einem Kollektiv von 50 als repräsentativ anzusehenden Patienten lässt sich schließen, dass die Aortenreduktionsplastik mit externer Wandverstärkung ein sicheres und effektives Verfahren darstellt, bei dem eine deutliche und langfristig stabile Reduktion des Aortendurchmessers mit einer geringen Morbidität und Mortalität einhergeht. Mortalitäts- und Komplikationsraten entsprachen den vergleichbaren Daten großer, internationaler Studien. Wir zeigten, dass die präoperative Aneurysmagröße keinen Einflussfaktor für ein erhöhtes peri- oder postoperatives Risiko darstellt; lediglich bei Patienten älter als 65,5 Jahre ist mit tendenziell längeren Liegezeiten auf der Intensivstation zu rechnen. Die Bestimmung des Aortendurchmessers kann sowohl prä- als auch postoperativ mittels transthorakaler Echokardiografie oder CT vorgenommen werden, da sich die Messergebnisse mit beiden Verfahren nicht signifikant unterscheiden. Eine minimale Zunahme des Aortendurchmessers im langfristigen postoperativen Verlauf ist möglich, jedoch statistisch nicht signifikant. Zusammenfassend tragen die Ergebnisse dieser Dissertation dazu bei, das Risikoprofil von Patienten mit proximalen thorakalen Aortenaneurysmen besser abzuschätzen und somit die Datenlage zu verbessern, auf der die individuelle Therapieentscheidung für jeden Patienten fußt.

## 5 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Hombach V. Interventionelle Kardiologie, Angiologie und Kardiovaskularchirurgie. Stuttgart: Schattauer; 2001.
- [2] Hombach V. Kardiovaskuläre Chirurgie. Stuttgart: Schattauer; 1990.
- [3] Lehnert H, Schuster H-P. Innere Medizin, Intensivkurs zur Weiterbildung. 3. ed. Stuttgart: Thieme; 2001.
- [4] Martufi G, Gasser T, Appoo J, Di Martino E. Mechano-biology in the thoracic aortic aneurysm: a review and case study. *Biomechanics and modeling in mechanobiology*. 2014;13:917-28.
- [5] Husmann M, Lüscher T. Erkrankungen der Aorta. *Herz-Kreislauf*: Springer; 2014. p. 189-95.
- [6] DeBakey ME, McCollum CH, Crawford ES, Morris Jr G, Howell J, Noon GP, et al. Dissection and dissecting aneurysms of the aorta: twenty-year follow-up of five hundred twenty-seven patients treated surgically. *Surgery*. 1982;92:1118.
- [7] Lansman SL, McCullough JN, Nguyen KH, Spielvogel D, Klein JJ, Galla JD, et al. Subtypes of acute aortic dissection. *The Annals of thoracic surgery*. 1999;67:1975-8.
- [8] Böcker W, Denk H, Heitz PU. Aneurysmen In: Böcker, Denk, Heitz, eds. *Pathologie*. 2 ed. München: Urban & Fischer; 2001.
- [9] Kuivaniemi H, Tromp G, Carey DJ, Elmore JR. The molecular biology and genetics of aneurysms. *Molecular and translational vascular medicine*: Springer; 2012. p. 3-33.
- [10] Kjellqvist S, Maleki S, Olsson T, Chwastyniak M, Branca RMM, Lehtiö J, et al. A combined proteomic and transcriptomic approach shows diverging molecular mechanisms in thoracic aortic aneurysm development in patients with tricuspid-and bicuspid aortic valve. *Molecular & Cellular Proteomics*. 2013;12:407-25.
- [11] Guzik B, Sagan A, Ludew D, Mrowiecki W, Chwała M, Bujak-Gizycka B, et al. Mechanisms of oxidative stress in human aortic aneurysms—association with clinical risk factors for atherosclerosis and disease severity. *International journal of cardiology*. 2013;168:2389-96.
- [12] Li H, Horke S, Förstermann U. Vascular oxidative stress, nitric oxide and atherosclerosis. *Atherosclerosis*. 2014;237:208-19.
- [13] Libby P. Inflammation in atherosclerosis. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*. 2012;32:2045-51.
- [14] Hopkins PN. Molecular biology of atherosclerosis. *Physiological Reviews*. 2013;93:1317-542.
- [15] Brown SL, Busuttill RW, Baker JD, Machleder HI, Moore WS, Barker WF. Bacteriologic and surgical determinants of survival in patients with mycotic aneurysms. *Journal of vascular surgery*. 1984;1:541-7.
- [16] Müller BT, Wegener OR, Grabitz K, Pillny M, Thomas L, Sandmann W. Mycotic aneurysms of the thoracic and abdominal aorta and iliac arteries: experience with anatomic and extra-anatomic repair in 33 cases. *Journal of vascular surgery*. 2001;33:106-13.
- [17] Paulo N, Cascarejo J, Vouga L. Syphilitic aneurysm of the ascending aorta. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2012;14:223-5.



- [18] Jennette JC, Falk RJ, Bacon P, Basu N, Cid M, Ferrario F, et al. 2012 revised international chapel hill consensus conference nomenclature of vasculitides. *Arthritis & Rheumatism*. 2013;65:1-11.
- [19] Finkelmeier B, Mentzer Jr R, Kaiser D, Tegtmeyer C, Nolan S. Chronic traumatic thoracic aneurysm. Influence of operative treatment on natural history: an analysis of reported cases, 1950-1980. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 1982;84:257-66.
- [20] Eliot RS, Wolbrink A, EDWARDS JE. Congenital aneurysm of the left aortic sinus a rare lesion and a rare cause of coronary insufficiency. *Circulation*. 1963;28:951-6.
- [21] Golledge J, Eagle KA. Acute aortic dissection. *The Lancet*. 2008;372:55-66.
- [22] Tadros TM, Klein MD, Shapira OM. Ascending aortic dilatation associated with bicuspid aortic valve pathophysiology, molecular biology, and clinical implications. *Circulation*. 2009;119:880-90.
- [23] Alexander K, Daniel WG, Freund M, Diener H-C, Scherbaum WA. *Thiemes Innere Medizin*. 1. ed. Stuttgart, New York: Thieme; 1999.
- [24] Ruff AL, Teng K, Hu B, Rothberg MB. Screening for abdominal aortic aneurysms in outpatient primary care clinics. *The American journal of medicine*. 2015;128:283-8.
- [25] Baumann F, Makaloski V, Diehm N. Aortenaneurysma und-dissektion. *Der Internist*. 2013;54:535-42.
- [26] Müller M, Lörke C, Burkert B. *Arterielle Aneurysmen. Chirurgie für Studium und Praxis: unter Berücksichtigung des Gegenstandskataloges und der mündlichen Examina in den ärztlichen Prüfungen*. 2012;2013.
- [27] Schäfers H-J, Rossaint R. *Klinische Grundlagen der Herz- und Thoraxchirurgie*. Berlin: ABW Wissenschaftsverlag; 2002.
- [28] Erbel R, Aboyans V, Boileau C, Bossone E, Di Bartolomeo R, Eggebrecht H, et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases. *European heart journal*. 2014;35:2873-926.
- [29] Mehta RH, Suzuki T, Hagan PG, Bossone E, Gilon D, Llovet A, et al. Predicting death in patients with acute type A aortic dissection. *Circulation*. 2002;105:200-6.
- [30] Koepfel T, Greiner A, Jacobs M. *DGG-Leitlinie: Thorakale und thorakoabdominelle Aortenaneurysmen*. 2010.
- [31] Erbel R, Daniel W, Visser C, Engberding R, Roelandt J, Rennollet H, et al. Echocardiography in diagnosis of aortic dissection. *The Lancet*. 1989;333:457-61.
- [32] Vorwerk D, Ruppert V. *Behandlungsrichtlinien bei Aortenaneurysmen*. *Der Radiologe*. 2008;48:1043-6.
- [33] Mortasawi A, Gehle S, Yaghmaie M, Schröder T, Ennker IC, Rosendahl U, et al. Kurz-und Langzeitergebnisse des Aortenklappenersatzes bei 80-und über 80-Jährigen. *Herz*. 2001;26:140-8.
- [34] Mortasawi A, Arnrich B, Walter J, Florath I, Rosendahl U, Albert A, et al. Einfluss des Alters auf die postoperativen Komplikationen und Letalität in der Herzchirurgie. *Herz*. 2003;28:429-36.
- [35] Schmid C, Philipp A. *Herz-Lungen-Maschine. Leitfaden extrakorporale Zirkulation*: Springer; 2011. p. 41-71.
- [36] Moore CH, Murchison C. On a new method of procuring the consolidation of Fibrin in certain incurable Aneurisms: With the Report of a case in which an Aneurism of the ascending Aorta was treated by the insertion of Wire. *Medico-chirurgical transactions*. 1864;47:129-49.

- [37] Blakemore AH, King BG. Electrothermic coagulation of aortic aneurysms. *Journal of the American Medical Association*. 1938;111:1821-7.
- [38] Matas R. Aneurysm of the abdominal aorta at its bifurcation into the common iliac arteries: a pictorial supplement illustrating the history of Corinne D., previously reported as the first recorded instance of cure of an aneurysm of the abdominal aorta by ligation. *Annals of surgery*. 1940;112:909.
- [39] Poppe J. Treatment of aortic aneurysms by wrapping with foreign body. *Diseases of the Chest*. 1949;15:726-32.
- [40] Tuffier T. Intervention chirurgicale directe pour un aneurysme de la crosse de l'aorte: Ligature du sac 1902.
- [41] Bahnson HT. Definitive treatment of saccular aneurysms of the aorta with excision of sac and aortic suture. *Surg Gynecol Obstet*. 1953;96:383-402.
- [42] Cooley DA, De Bakey ME. Surgical considerations of intrathoracic aneurysms of the aorta and great vessels. *Ann Surg*. 1952;135:660-80.
- [43] Sperling M. Gefäßrekonstruktion und Gefäßersatz im Wandel der Letzten 25 Jahre. Hameln: TM-Verlag; 1985.
- [44] Cooley DA, De Bakey ME. Resection of entire ascending aorta in fusiform aneurysm using cardiac bypass. *J Am Med Assoc*. 1956;162:1158-9.
- [45] Muller WH, Jr., Dammann JF, Jr., Warren WD. Surgical correction of cardiovascular deformities in Marfan's syndrome. *Ann Surg*. 1960;152:506-17.
- [46] Starr DS, Weatherford SC, Lawrie GM, Morris GC. Suture material as a factor in the occurrence of anastomotic false aneurysms: an analysis of 26 cases. *Archives of Surgery*. 1979;114:412-5.
- [47] Lawrie GM, Morris Jr GC, Crawford E, Howell JF, Whisennand HH, Badami JP, et al. Improved results of operation for ruptured abdominal aortic aneurysms. *Surgery*. 1979;85:483-8.
- [48] Wheat MW. Treatment of dissecting aneurysms of the aorta: current status. *Progress in cardiovascular diseases*. 1973;16:87-101.
- [49] Bentall H, De Bono A. A technique for complete replacement of the ascending aorta. *Thorax*. 1968;23:338-9.
- [50] Borst HG, Klinner W, Oelert H. Kirschnersche allgemeine und spezielle Operationslehre, Teil 2: Herzchirurgie. 2. ed. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag; 1991.
- [51] Cabrol C, Pavie A, Gandjbakhch I, Villemot JP, Guiraudon G, Laughlin L, et al. Complete replacement of the ascending aorta with reimplantation of the coronary arteries: new surgical approach. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1981;81:309-15.
- [52] Yacoub M. Valve-conserving operation for aortic root aneurysm or dissection. *Operative Techniques in Cardiac and Thoracic Surgery*. 1996;1:57-67.
- [53] Fisch UP, Oldring DJ, Senning Å. Surgical therapy of internal carotid artery lesions of the skull base and temporal bone. *Otolaryngology--Head and Neck Surgery*. 1980;88:548-54.
- [54] Senning A. Developments in cardiac surgery in Stockholm during the mid and late 1950s. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 1989;98:825-32.
- [55] Robicsek F. A new method to treat fusiform aneurysms of the ascending aorta associated with aortic valve disease: an alternative to radical resection. *Ann Thorac Surg*. 1982;34:92-4.
- [56] Achneck HE, Rizzo JA, Tranquilli M, Elefteriades JA. Safety of thoracic aortic surgery in the present era. *The Annals of thoracic surgery*. 2007;84:1180-5.

- [57] Matt P, von Orelli A, Bernet F, Grussenmeyer T, Lefkovits I, Zerkowski HR. Proteomics of ascending aortic aneurysm with bicuspid or tricuspid aortic valve. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2007;15:185-90.
- [58] Della Corte A, Bancone C, Quarto C, Dialetto G, Covino FE, Scardone M, et al. Predictors of ascending aortic dilatation with bicuspid aortic valve: a wide spectrum of disease expression. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2007;31:397-404; discussion -5.
- [59] Cotrufo M, Agozzino L, De Feo M, Della Corte A, De Santo LS, Di Benedetto G, et al. Aortic valve dysfunction and dilated ascending aorta. A complex and controversial association. *Ital Heart J.* 2003;4:589-95.
- [60] Choi MS, Jeong DS, Lee HY, Sung K, Kim WS, Lee YT, et al. Aortic wrapping for a dilated ascending aorta in bicuspid aortic stenosis. *Circulation Journal.* 2015;79:778-84.
- [61] Milgalter E, Laks H. Dacron mesh wrapping to support the aneurysmally dilated or friable ascending aorta. *Ann Thorac Surg.* 1991;52:874-6.
- [62] Laas J, Borst HG. *Chirurgie der thorakalen Aorta.* 5. ed. Stuttgart, New York: Schattauer; 1990.
- [63] Robicsek F, Thubrikar MJ. Conservative operation in the management of annular dilatation and ascending aortic aneurysm. *Ann Thorac Surg.* 1994;57:1672-4.
- [64] Hagl C, Strauch JT, Spielvogel D, Galla JD, Lansman SL, Squitieri R, et al. Is the Bentall procedure for ascending aorta or aortic valve replacement the best approach for long-term event-free survival? *Ann Thorac Surg.* 2003;76:698-703; discussion
- [65] Robicsek F, Daugherty HK, Mullen DC. External grafting of aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1971;61:131-4.
- [66] Della Corte A, De Santo LS, Amarelli C, Romano G, De Feo M, Torella M, et al. Surgical experience with "waistcoat aortoplasty": an update. *Ital Heart J.* 2003;4:875-9.
- [67] Gott VL, Cameron DE, Alejo DE, Greene PS, Shake JG, Caparrelli DJ, et al. Aortic root replacement in 271 Marfan patients: a 24-year experience. *Ann Thorac Surg.* 2002;73:438-43.
- [68] Oberwalder PJ. Die Chirurgie der Aorta ascendens und des Aortenbogens bei Aneurysmen und Dissektionen. *Journal für Kardiologie.* 2001;8:19-24.
- [69] Michielon G, Salvador L, Da Col U, Valfre C. Modified button-Bentall operation for aortic root replacement: the miniskirt technique. *Ann Thorac Surg.* 2001;72:S1059-64.
- [70] Gelsomino S, Morocutti G, Frassani R, Masullo G, Da Col P, Spedicato L, et al. Long-term results of Bentall composite aortic root replacement for ascending aortic aneurysms and dissections. *Chest.* 2003;124:984-8.
- [71] Brewster DC, Cronenwett JL, Hallett JW, Johnston KW, Krupski WC, Matsumura JS. Guidelines for the treatment of abdominal aortic aneurysms: report of a subcommittee of the Joint Council of the American Association for Vascular Surgery and Society for Vascular Surgery. *Journal of vascular surgery.* 2003;37:1106-17.
- [72] Davies RR, Gallo A, Coady MA, Tellides G, Botta DM, Burke B, et al. Novel measurement of relative aortic size predicts rupture of thoracic aortic aneurysms. *The Annals of Thoracic Surgery.* 2006;81:169-77.

- [73] Elefteriades JA. Natural history of thoracic aortic aneurysms: indications for surgery, and surgical versus nonsurgical risks. *The Annals of thoracic surgery*. 2002;74:S1877-S80.
- [74] Bavaria JE, Appoo JJ, Makaroun MS, Verter J, Yu Z-F, Mitchell RS, et al. Endovascular stent grafting versus open surgical repair of descending thoracic aortic aneurysms in low-risk patients: a multicenter comparative trial. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2007;133:369-77. e4.
- [75] Coady MA, Rizzo JA, Hammond GL, Kopf GS, Elefteriades JA. Surgical intervention criteria for thoracic aortic aneurysms: a study of growth rates and complications. *The Annals of thoracic surgery*. 1999;67:1922-6.
- [76] Crawford ES, Crawford JL, Safi HJ, Coselli JS, Hess KR, Brooks B, et al. Thoracoabdominal aortic aneurysms: preoperative and intraoperative factors determining immediate and long-term results of operations in 605 patients. *Journal of Vascular Surgery*. 1986;3:389-404.
- [77] Oladokun D, Patterson B, Sobocinski J, Karthikesalingam A, Loftus I, Thompson M, et al. Systematic Review of the Growth Rates and Influencing Factors in Thoracic Aortic Aneurysms. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2016;51:674-81.
- [78] Zou T. Soziale Charakteristiken und ihre Beziehungen zur Erkrankungsschwere, Verweildauer auf Intensivstation, beatmungsfreie Tage und Besuchsdichte bei chirurgischen Intensivpatienten (Dissertation). Regensburg: University of Regensburg; 2014.
- [79] Bodmann K-F, Ehlers B, Häbel U, Ritschel P, Rühmkorf K. Epidemiologische und prognostische Daten von 2054 Patienten einer internistischen Intensivstation. *DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift*. 1997;122:919-25.
- [80] Marx T, Wiedeck H, Hähnel J, Georgieff M. Beeinflussung der Beatmungs- und Liegedauer traumatisierter Intensivpatienten durch Qualität und Dauer der präklinischen Versorgung. *AINS-Anästhesiologie · Intensivmedizin · Notfallmedizin · Schmerztherapie*. 1994;29:278-81.
- [81] Dorner T, Knopp A, Stettner H, Freidl W. Geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich Aufnahmezeiten auf Intensivstationen, Aufenthaltsdauer und durchgeführten intensivmedizinischen Maßnahmen bei Personen im Alter ab 75 Jahren in einer Österreichischen Region. *Das Gesundheitswesen*. 2010;72:e72-e5.
- [82] Biermann A, Geissler A. Beatmungsfälle und Beatmungsdauer in deutschen Krankenhäusern. *Der Anaesthesist*. 2016;65:663-72.
- [83] Zhou W, Reardon M, Peden EK, Lin PH, Lumsden AB. Hybrid approach to complex thoracic aortic aneurysms in high-risk patients: surgical challenges and clinical outcomes. *Journal of vascular surgery*. 2006;44:688-93.
- [84] Cowan JA, Dimick JB, Henke PK, Huber TS, Stanley JC, Upchurch GR. Surgical treatment of intact thoracoabdominal aortic aneurysms in the United States: hospital and surgeon volume-related outcomes. *Journal of vascular surgery*. 2003;37:1169-74.

## 6 ANHANG

### Tabellarischer Anhang

#### Tabelle 1: Patientenblatt

#### 1. Patientendaten

Name, Vorname	
Geburtsdatum	
Adresse	
Telefon	
Hausarzt	
Aktennummer	
Größe	
Gewicht	
KOF	
Vorerkrankungen	
Frühere Operationen	
Anästhesiebesonderheit	
Dauermedikation	
Art der Operation	
> Klappe	
> Bypass	

**2. Präoperativ**

RR-Werte	
Herzfrequenz	
Temperatur	
Befund EKG	
Befund Echokardiographie	
Befund Doppelsonographie	
Befund Lungenfunktionsprüfung	
Befund Röntgen-Thorax / HTQ	
Befund Coronarangiographie	
Klappengradienten	

### 3. Intraoperativ

Art der durchgeführten OP ( geplant? )	
Myokardprotektion ( Cross cl. / Cardiopl. )	
> Menge	
> Art	
> Zeit	
Zeit → Partieller Bypass	
Zeit → totaler Bypass	
Befund EKG	
Post EKZ	
Dauer der Operation	
Dauer der Reperfusion	
Ischämiedauer insgesamt	
Abklemmzeit	
Befund Herzfunktionsmessung	
Medikation ( Katecholamine )	
> Menge	
> Art	
> Besonderheiten	
Sonstige Besonderheiten	
> IABP	
Blutkonserve	
Wieviel cm wurden gerafft	
> Durchmesser vorher	
> Durchmesser nachher	
Prothese	
> wenn ja, wieviel cm lang	
Zusätzliche Operationen ( z.B. Ersatz der Aortenklappe )	



#### 4. Postoperativ

<b>a) Intensivstation</b>	
Dauer der Überwachung	
Intubations - / Beatmungsdauer	
Komplikationen ( Rhythmusstörungen, etc. )	
Medikation ( v.a. Katecholamine )	
Befund EKG	
RR-Werte	
Herzfrequenz	
Durchmesser der Aorta nach OP	
> Reduktion absolut	
> Technik	



<b>b) Normalstation</b>	
Aufenthaltsdauer	
Befund EKG	
Befund Echokardiographie	
Befund Lungenfunktionsprüfung	
Befund Röntgen - Thorax / HTQ	
RR - Werte	
Herzfrequenz	
Temperatur	
Gewicht	
Komplikationen ( Rhythmusstörungen ? )	
Medikation	
Wundheilungsstörungen	

<b>c) Langfristiger Verlauf</b>	
Verstorben	
> wann	
> woran	
Überlebt:	
Befund Echokardiographie	
Befund EKG	
Befund Lungenfunktionsprüfung	
Befund Röntgen - Thorax / HTQ	
Befund Dopplersonographie	
Befund Coronarangiographie	
Durchmesser der Aorta ( über die Zeit )	

## 7 DANKSAGUNG

An erster Stelle gilt mein Dank sowohl meinem damaligen Doktorvater Herrn Prof. Feindt, der das Promotionsverfahren als Betreuer begleitet und mich bei der wissenschaftlichen und methodischen Arbeit unterstützt hat, als auch Herrn Prof. Korbmacher, ohne dessen persönlichen Einsatz und freundliche Betreuung die Umsetzung dieses Projekts nicht möglich gewesen wäre.

Besonders möchte ich an dieser Stelle meinen Eltern und meinem Kollegen Herrn Dr. Wagner für ihre kontinuierliche Unterstützung und Motivation danken.