

Aus der Klinik und Poliklinik für Thorax-, Herz- und Thorakaler Gefäßchirurgie
des Universitätsklinikums Würzburg
Klinikdirektor der Herz-Thorax-Chirurgie: Prof. Dr. med. Rainer G. Leyh

**Langzeitergebnisse nach Ross-Prozedur
Eine retrospektive Analyse**

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
vorgelegt von

Lena Schießer
aus Würzburg

Würzburg, September 2021

Referent: Prof. Dr. med. Rainer G. Leyh

Korreferent: PD. Dr. med. Sebastian Herrmann

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 23.06.22

Die Promovendin ist Kieferorthopädin

Für M.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Herzklappenerkrankungen	1
1.2	Eigenschaften der Spenderklappen Homograft und Matrixprothese.....	3
1.3	Fragestellung und Zielsetzung	4
2	Material und Methoden	5
2.1	Patientenkollektiv.....	5
2.2	Methodik	5
2.2.1	Methodik der Operationstechniken (SK und WE)	5
2.2.2	Erläuterungen anatomischer und echokardiografischer Bezeichnungen	8
2.2.2.1	Aortenklappenstenose	8
2.2.2.2	Kappeninsuffizienz und PHT	9
2.2.2.3	LVEDD, IVSD, LVPWD.....	10
2.2.2.4	Ejektionsfraktion	10
2.2.2.5	TAPSE.....	10
2.2.2.6	sPAP	11
2.2.2.7	Pulmonalklappenstenose	11
2.2.2.8	Annulus, Sinus, sinutubulärer Übergang.....	11
2.3	Nachbeobachtung	13
2.4	Bewertungskriterien.....	14
2.5	Datenerhebung.....	14
2.6	Ethikvotum und Datenschutz	16
2.7	Statistik.....	16
3	Ergebnisse.....	17
3.1	Vergleich der Operationstechniken Subkoronartechnik und Wurzelersatztechnik.....	17
3.1.1	Präoperative Parameter	17
3.1.2	Intraoperative Parameter.....	20
3.1.3	Postoperative Parameter	21
3.2	Vergleich von Homograft und Matrixprothese	25
3.2.1	Präoperative Parameter	25
3.2.2	Intraoperative Parameter.....	28
3.2.3	Postoperative Parameter	28
3.3	Deskriptive Darstellung der Reoperationsgruppe.....	32
4	Diskussion	37
4.1	Vergleich der Operationstechniken Subkoronartechnik und Wurzelersatztechnik.....	37
4.2	Vergleich von Homograft und Matrixprothese	44

4.3	Limitationen der Studie	50
4.4	Schlussfolgerung.....	52
5	Zusammenfassung.....	53
6	Literaturverzeichnis	54

Appendix

I	Abkürzungsverzeichnis	
II	Tabellenverzeichnis.....	
III	Abbildungsverzeichnis.....	
IV	Danksagung	
V	Lebenslauf	

1 Einleitung

1.1 Herzklappenerkrankungen

Die Prävalenz der Herzklappenerkrankungen beträgt in den Industrieländern 2,5 % [1]. Hauptursache stellen degenerative Veränderungen der Klappen dar, welche mit Verkalkungen einhergehen. Dagegen treten Klappenvitien in Entwicklungsländern besonders im Rahmen des rheumatischen Fiebers auf [1-3]. Weiterhin zählen Patienten mit infektiöser Endokarditis und myokardialen Dysfunktionen zu den möglichen Betroffenen [2, 3]. Neben den beschriebenen erworbenen Vitien liegen auch angeborene Klappenanomalien vor, welche zu Funktionsstörungen des Herzens führen [2].

Die Erkrankung kann symptomlos verlaufen, jedoch äußern sich ausgeprägte Formen unter anderem in rascher Ermüdbarkeit, Angina pectoris sowie Schwindel und Synkopen [3]. Zudem zählen die Herzklappenerkrankungen zur Gruppe der Risikofaktoren für Herzinsuffizienz [4]. In den Vereinigten Staaten liegt die Mortalitätsrate bei knapp 20.000 Patienten jährlich [5].

Die Klappenfehler treten in Form von Stenosen, Insuffizienzen oder als kombiniertes Vitium auf. Aufgrund der höheren Druckverhältnisse sind die Mitralklappe und Aortenklappe des linken Herzens häufiger betroffen als die Trikuspidal- und Pulmonalklappe des rechten Herzens. In Europa dominieren die Aortenklappenstenose (AS) und Mitralklappeninsuffizienz (MI) [6]. Während sich bei den Patienten > 70 Jahren mit AS besonders degenerative Herzklappenfehler manifestieren, liegt bei den Patienten < 70 Jahren mit AS eine bikuspidale Aortenklappe als Hauptursache vor. Dabei stellt die bikuspidale Ausbildung der Aortenklappe mit nur zwei statt drei Taschen deren häufigste angeborene Fehlbildung dar [7].

Abhängig von der betroffenen Klappe, der Art des Vitiums, der bestehenden Symptomatik und den Resultaten der Diagnostik wird entweder eine konservative Therapie mit Medikamenten oder eine chirurgische Therapie eingeleitet. Bei einem Defekt der Aortenklappe äußert sich die chirurgische Therapie entweder in einer Klappenrekonstruktion oder dem Ersatz der Klappe [3]. Die Mehrheit der Eingriffe besteht jedoch aus Klappenersatzverfahren [8]. Diesbezüglich werden weltweit jährlich mehr als 200.000 Operationen durchgeführt [9, 10].

Die ideale Ersatzklappe sollte die natürliche Aortenklappe in ihren Eigenschaften optimal nachahmen [11]. Folglich weist sie eine ausgezeichnete Hämodynamik, eine hohe Resistenz gegenüber der Entstehung von Thromben sowie lange Haltbarkeit auf und ist zudem einfach zu implantieren. Bisher werden biologische und mechanische Prothesen für den Aortenklappenersatz verwendet [12, 13]. Allerdings stellt keine der beiden Varianten die

„ideale Ersatzklappe“ dar [11]. Während der Nachteil der Mechanoprothese (MP) aufgrund der hohen Thrombogenität in der lebenslangen, postoperativen Einnahme von Antikoagulanzen liegt, ist die Haltbarkeit der Bioprothese (BP) – abhängig vom Alter und Begleiterkrankungen wie z. B. Dialysepflichtigkeit – stark limitiert. Deswegen ist die Implantation einer BP erst ab einem Lebensalter von ≥ 65 Jahren sowie bei einer begrenzten Lebenserwartung des Patienten indiziert oder, wenn eine Einnahme von Antikoagulanzen nicht möglich ist [11]. Dagegen wird eine MP Patienten < 65 Lebensjahren empfohlen, da bei ihnen ein erhöhtes Risiko für eine beschleunigte strukturelle Destruktion der BP besteht [11]. Insofern ist der Klappenersatz besonders für 18- bis 60-jährige Patienten problematisch. Während eine BP aufgrund des hohen Risikos für Nachoperationen in dieser Altersgruppe kontraindiziert ist, geht die Implantation einer MP mit enormen Einschränkungen in Bezug auf die Lebensweise und -qualität einher. Aufgrund der weiteren Entwicklung der BP mit der Option einer späteren TAVI-Implantation bei bereits implantierter BP zeigt sich in den letzten Jahren ein Trend zur Implantation von Bioprothesen auch bei jüngeren Patienten.

Eine Alternative zum prothetischen Herzklappenersatz mit einer BP oder MP stellt die Ross-Prozedur dar. Sie bezeichnet ein Operationsverfahren, bei welchem im ersten Schritt die defekte Aortenklappe durch die körpereigene Pulmonalklappe (Autograft) ersetzt wird. Im zweiten Schritt erfolgt die Implantation einer Ersatzklappe für die entnommene Pulmonalklappe [12, 14, 15]. Donald Ross führte diese Operation erstmals 1967 durch [12-14, 16-19]. Da postoperativ keine Antikoagulanzen eingenommen werden müssen, vermittelt die Ross-Prozedur den Eindruck einer optimalen Therapie – vor allem für junge, noch wachsende Patienten, Sportler und Schwangere bei indiziertem Aortenklappenersatz [13, 14, 20, 21].

1.2 Eigenschaften der Spenderklappen Homograft und Matrixprothese

In der vorliegenden Studie diente für die Mehrzahl der Patienten ein kryokonservierter Homograft zum Ersatz der Pulmonalklappe. Der Homograft wird auch als Allograft bezeichnet und stellt ein Transplantat von einem Spender dar, welcher nicht genetisch identisch mit dem Empfänger ist, jedoch derselben Art entstammt. Infolgedessen handelt es sich im Fall der Ross-Prozedur um eine menschliche Spenderklappe, welche beispielsweise von einer Leiche stammt [7].

Der Homograft überzeugt mit einer technisch einfachen Implantation, einer geringen Thromboembolie, verbesserter Homöostase, sehr guter Hämodynamik und hoher Resistenz gegenüber Infektionen [22]. Die mangelnde Verfügbarkeit, das Risiko der Übertragung von Infektionskrankheiten aufgrund der hohen Gesamtkeimzahl sowie das Auftreten von Immunreaktionen mit daraus resultierender Degeneration, Kalzifikation und Funktionsstörung stellen allerdings nicht zu vernachlässigende Nachteile dar [21, 23]. Zudem besteht kein Wachstumspotential [22]. Vor allem aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit des Homografts ist es notwendig eine Alternative zu finden [23].

Im Gegensatz zum Homograft handelt es sich bei der Matrix P Prothese um eine xenogene Pulmonalklappe vom Schwein, welche im Rahmen eines individuellen Prozesses der Autotissue GmbH dezellularisiert und sterilisiert wird [21, 24]. Nach der Dezellularisation und Sterilisation sind alle lebenden Zellkomponenten des Gewebes entfernt und nur die extrazelluläre Matrix bleibt erhalten [22]. Dies vermindert die Immunogenität und soll eine postoperative Kolonisation der Klappe mit autologen, vaskulären Zellen fördern, wodurch Wachstumspotential inklusive der Fähigkeit zur Reparatur und Regeneration erreicht wird [22, 23]. Besonders zeichnet sich der Xenograft durch seine gute Verfügbarkeit aus [24]. Eine weitere Form von Matrixprothesen stellt die Matrix P Plus Prothese dar. Hierbei handelt es sich um eine Matrix P Prothese, welche zusätzlich noch von drei mittels Glutaraldehyd fixierten perikardialen Patches vom Pferd umgeben ist. Diese dienen zur Stabilisation der Prothesenwand und sollen die Verbindung zum rechtsventrikulären Ausflusstrakt erleichtern [22, 24, 25]. Allerdings hemmen die Transplantate mit Glutaraldehyd Studien zufolge die Endothelialisation und führen aufgrund toxischer Schäden zu Narbenbildung [25-27]. Aufgrund dessen wurde eine Matrix P Plus Prothese mit dezellularisiertem Patch vom Pferd entwickelt, welche kein Glutaraldehyd enthält. Sie wird als Matrix P Plus N Prothese bezeichnet [24].

1.3 Fragestellung und Zielsetzung

Ziel dieser retrospektiven Studie ist es das Ergebnis nach Ross-Prozedur zu untersuchen, um deren Stellenwert als Therapiemöglichkeit für den Aortenklappenersatz zu definieren. Die vorliegende Studie analysiert diesbezüglich den Einfluss zweier Operationstechniken der Ross-Prozedur – der Subkoronartechnik (SK) und der Wurzelersatztechnik (WE). Weiterhin findet ein Vergleich zwischen zwei Arten von Pulmonalklappenersatz – Homograft und Matrixprothese – in Bezug auf Haltbarkeit und Funktion statt. Aufgrund des Homograftmangels soll ermittelt werden, ob die Matrixprothese das Niveau eines Homografts in Haltbarkeit und Funktion erreicht.

2 Material und Methoden

Im folgenden Kapitel wird zunächst das Patientenkollektiv dieser Studie vorgestellt. Im Anschluss erfolgt eine Schilderung der beiden Operationstechniken der Ross-Prozedur sowie eine Erläuterung relevanter Echokardiografie-Parameter. Das Kapitel 2.3 behandelt die Informationen bezüglich der Nachbeobachtungszeit und in Kapitel 2.4 werden die Erfolgskriterien der Studie definiert. Abschließend wird das Vorgehen bezüglich der Datenerhebung sowie der statistischen Auswertung dargestellt.

2.1 Patientenkollektiv

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte eine retrospektive Analyse der Daten von 172 Patienten, welche aufgrund einer Aortenklappenstenose oder -insuffizienz in der Klinik und Poliklinik für Herz-, Thorax- und Thorakale Gefäßchirurgie der Universitätsklinik Würzburg entsprechend der Ross-Prozedur operiert wurden. Der Zeitraum der Betrachtung liegt bei 10 Jahren und 7,5 Monaten (19.06.2007 bis 31.01.2018).

Zuerst werden die beiden Operationstechniken Subkoronartechnik (SK: 103 Patienten) und Wurzelersatztechnik (WE: 51 Patienten) innerhalb einer Homograftpatientengruppe miteinander verglichen (siehe Kap. 3.1). Somit erhielten die Patienten beider Operationstechnikgruppen im zweiten Schritt der Ross-Prozedur einen Homograft zum Ersatz der Pulmonalklappe. Neben der Homograftgruppe (154 Patienten) liegt der Studie eine Matrixpatientengruppe aus 18 Patienten vor. Bei diesen 18 Patienten wurde statt eines Homografts eine Matrixprothese in Pulmonalposition implantiert. 15 der 18 Patienten wurden in SK und 3 der 18 Patienten wurden in WE operiert. In Kap. 3.2 erfolgt ein Vergleich von Homograft- und Matrixgruppe in Bezug auf Haltbarkeit und Funktion der beiden Ersatzklappen. Dieser zweite Vergleich bleibt unberücksichtigt von der verwendeten Operationstechnik der Ross-Prozedur.

Abschließend werden in Kap. 3.3 diejenigen Patienten dargestellt, welche aufgrund eines Klappenvitiums reoperiert werden mussten.

2.2 Methodik

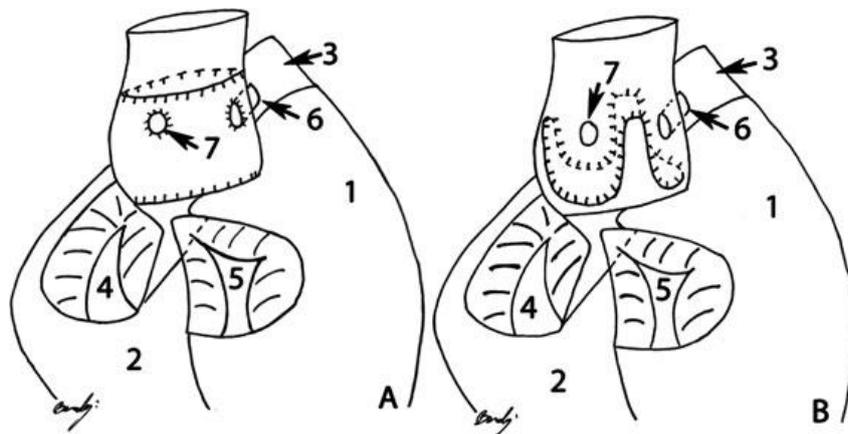
2.2.1 Methodik der Operationstechniken (SK und WE)

Die Ross-Prozedur erfolgte in dieser Arbeit entsprechend zweier Operationstechniken, der Subkoronartechnik (SK) und der Wurzelersatztechnik (WE). SK und WE beschreiben jeweils

ein unterschiedliches Vorgehen bei der Implantation der körpereigenen Pulmonalklappe, welche auch als Autograft bezeichnet wird, an Stelle der defekten Aortenklappe. Infolgedessen bezieht sich die Art der Operationstechnik nur auf den ersten Teil der Ross-Prozedur. Im zweiten Teil der Ross-Prozedur erfolgt der Ersatz der Pulmonalklappe mit einer Spenderklappe (siehe Kap. 1.2).

Ursprünglich führten die Chirurgen den Aortenklappenersatz nach Ross in SK durch [18, 20]. Aufgrund der einfacheren Ausführung und daher kürzeren Operationsdauer wurde jedoch im Laufe der Zeit die WE bevorzugt angewendet [28]. Hierbei wird die Aortenwurzel durch die zuvor frei präparierte körpereigene Pulmonalklappe einschließlich ihrer Wandanteile ersetzt. Anschließend erfolgt eine Reimplantation der Koronargefäße in die neue Aortenwurzel. Dagegen implantieren die Chirurgen bei der SK die Pulmonalklappe nach Entfernung ihrer Wandanteile in die ursprüngliche Wurzel der Aorta. Die Nähte liegen hier unterhalb der Abgänge der Herzkranzgefäße, weshalb eine Reimplantation nicht nötig ist. Folglich wird in diesem Fall nur die Aortenklappe ausgetauscht. Die Wandanteile der Aortenwurzel bleiben jedoch *in situ* [29]. Nach Ersatz der Aortenklappe durch den Autograft, entweder in WE oder in SK, erfolgt jeweils in einem zweiten Schritt die Implantation einer Ersatzklappe für die Pulmonalklappe, welche in Kapitel 1.2 erläutert wurde.

Die Abbildung 1 stellt die Operationstechniken SK und WE dar und im Folgenden zeigen die Abbildungen 2-6 den Autograft sowie dessen Präparation und Insertion.



Wurzelerstatttechnik [29]

Subkoronartechnik [29]

Abb. 1 Operationstechniken SK und WE

- 1) Rechter Ventrikel, 2) Linker Ventrikel, 3) Pulmonalarterie, 4) Mitralklappe, 5) Trikuspidalklappe
6) Rechte Koronararterie, 7) Linke Koronararterie

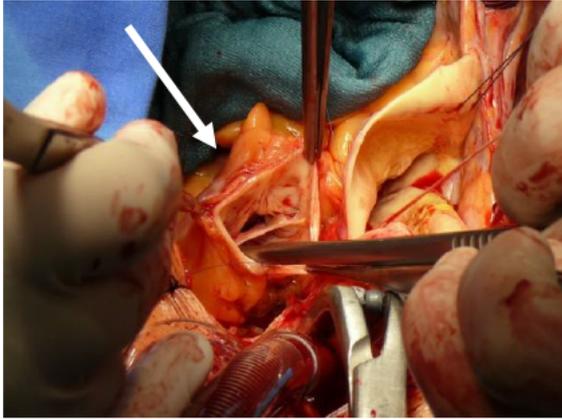


Abb. 2 Inspektion der Pulmonalklappe

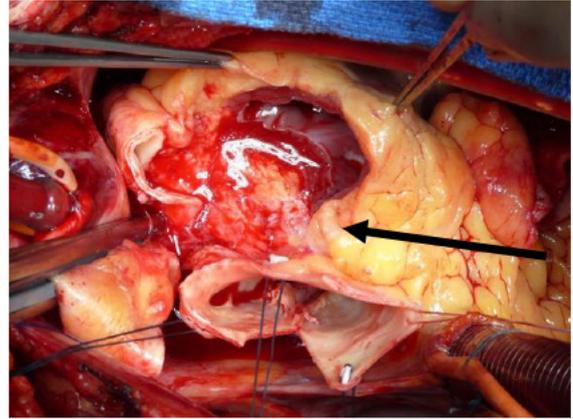


Abb. 4 Situs nach Entfernung der Aortenklappe und des Autografts

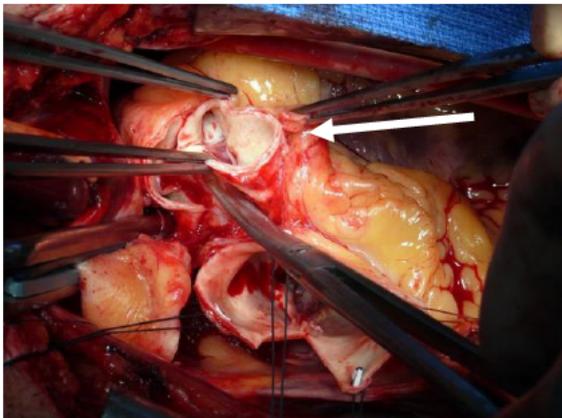


Abb. 3 Präparation des Autografts

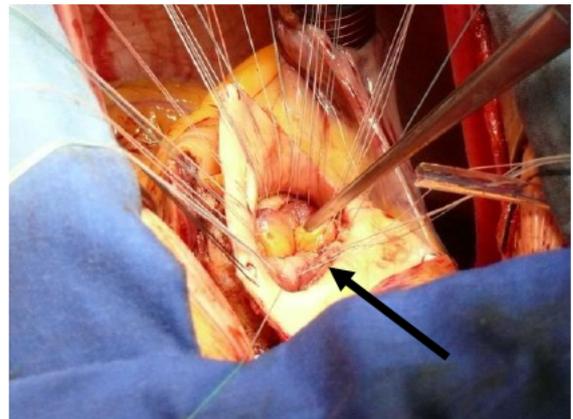


Abb. 5 Insertion des Autografts

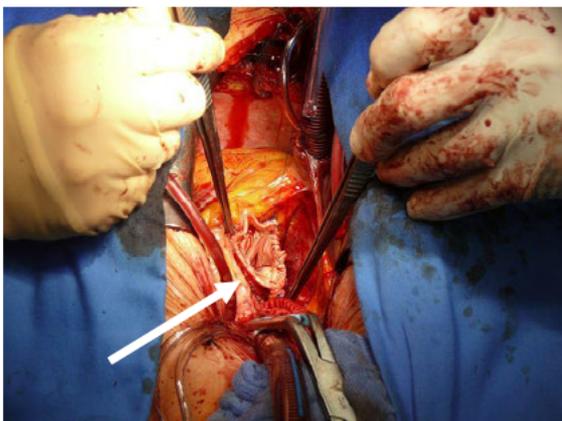


Abb. 6 Implantierter Autograft

Die Durchführung der jeweiligen Operationstechnik, SK oder WE, erfolgte in dieser Arbeit nicht anhand spezieller Befunden, sondern war abhängig von der Expertise des jeweiligen Operateurs.

2.2.2 Erläuterungen anatomischer und echokardiografischer Bezeichnungen

Tab. 1 Normalwerte der Klappenöffnungsflächen der Aorten- und der Pulmonalklappe [30]

	Klappenöffnungsfläche (cm ²)
Aortenklappe	2,6 – 3,5
Pulmonalklappe	2,5 – 3,5

2.2.2.1 Aortenklappenstenose

Die Aortenklappenstenose (AS) bezeichnet eine vorliegende Verengung des linksventrikulären Ausflusstraktes. Je nach Lokalisation wird zwischen einer supralvalvulären, einer valvulären und einer subvalvulären AS differenziert [7]. Mittels hämodynamischer Parameter kann eine Einteilung in drei Schweregrade erfolgen (siehe Tab. 2).

Tab. 2 Klassifikation der Aortenklappenstenose [3, 31]

(AVA: Aortic Valve Area)

Parameter	Schwere der AS		
	Leicht	Mittel	Schwer
Aortenklappenöffnungsfläche (cm ²)	> 1,5	1,0-1,5	< 1,0
Mittlerer Druckgradient (mmHg)	< 20	20-40	40
Maximale transvalvuläre Flussgeschwindigkeit (m/s)	< 3,0	3,0-4,0	> 4,0
AVA index (Klappenöffnungsfläche pro Körperoberfläche) (cm ² / m ²)	> 0,85	0,6 – 0,85	< 0,6
"Velocity ratio" [31]	> 0,5	0,25 – 0,5	< 0,25

Tab. 3 Indikationskriterien für einen Aortenklappenersatz bei Erwachsenen mit Aortenklappenstenose [32-34]

(EF: Ejektionsfraktion (s. Kap. 2.2.2.4))

Schwere, symptomatische Aortenklappenstenose
Schwere Aortenklappenstenose, die eine EF < 50 % verursacht

2.2.2.2 Klappeninsuffizienz und PHT

Bei der Aortenklappeninsuffizienz (AI) handelt es sich um eine Schlussunfähigkeit der Taschenklappen der Aorta, weshalb ein pathologischer Rückfluss (Regurgitation) des Blutes in den linken Ventrikel während der Diastole auftritt. Zur Beurteilung des Schweregrades der AI dient unter anderem die Druckabfallhalbwertszeit (pressure half-time, PHT).

Als PHT wird die Zeit bezeichnet, welche verstreicht, bis der anfängliche maximale frühdiastolische Druckgradient zwischen dem linken Vorhof und dem linken Ventrikel auf die Hälfte des ursprünglichen Wertes abgesunken ist [35]. Die Dehnbarkeit des linken Ventrikels und Vorhofes, die linksventrikuläre Relaxation und das linksventrikuläre Einstromvolumen beeinflussen neben anderen Faktoren den PHT. Eine Insuffizienz führt aufgrund eines schnellen Anstiegs des diastolischen Ventrikeldrucks zu einem verminderten PHT [35, 36].

Tab. 4 Schweregradeinteilung der Aortenklappeninsuffizienz [33, 37]

(RVol: Regurgitationsvolumen; VCW: Vena Contracta Width; EROA: effective regurgitation orifice area (Fläche des effektiven Regurgitationsvolumens))

	Leicht	Moderat		Schwer
Aortenklappenmorphologie	normal	Normal bis abnormal		Großer Koaptationsdefekt
PHT	> 500	500-200		< 200
VCW (cm)	< 0,3	0,3-0,6		> 0,6
RVol (ml/Schlag)	< 30	30-44	45-59	≥ 60
RF (%)	< 30	30-39	40-49	≥ 50
EROA (cm ²)	< 0,10	0,10-0,19	0,20-0,29	≥ 0,30
	AR Grad 1	AR Grad 2	AR Grad 3	AR Grad 4

Ein PHT < 100 ms am rechten Herzen dient als Diagnoseparameter einer schweren Pulmonalklappeninsuffizienz [37].

Tab. 5 Indikationskriterien für einen Aortenklappenersatz bei Erwachsenen mit Aortenklappeninsuffizienz [33, 34]

(EF: Ejektionsfraktion (s. Kap. 2.2.2.4))

Schwere, symptomatische Aortenklappeninsuffizienz
Schwere, asymptotische Aortenklappeninsuffizienz, die eine EF < 50 % verursacht
Schwere, asymptotische Aortenklappeninsuffizienz, wenn eine OP an der Aorta ascendens oder an einer anderen Herzklappe nötig ist

2.2.2.3 LVEDD, IVSD, LVPWD

Der LVEDD bezeichnet den linksventrikulären enddiastolischen Durchmesser. Der Normwert liegt bei 33-56 mm [38]. Vergrößerte Werte liegen unter anderem bei einer Aorten- oder Mitralklappeninsuffizienz vor [38].

Während die Abkürzung IVSD die enddiastolische Septumdicke beschreibt, stellt LVPWD die linksventrikuläre enddiastolische Hinterwanddicke dar. Die Normwerte betragen jeweils 6-11 mm [38]. Neben einer Reihe anderer Pathologien nimmt die Septumdicke bei chronischer Druckbelastung zu und die Hinterwanddicke weist einen vergrößerten Durchmesser bei chronischer Druck- und Volumenbelastung auf [38]. Bei erhöhter Belastung, beispielsweise aufgrund eines Klappenvitiums, vergrößert sich die Herzmuskeldicke, um der Belastung Stand zu halten. Übersteigt die Belastung die Kontraktionskraft des Herzmuskels, erhöht sich das enddiastolische Volumen und somit der enddiastolische Durchmesser.

2.2.2.4 Ejektionsfraktion

Die Ejektionsfraktion (EF) entspricht dem Quotienten aus dem ausgeworfenen Blutvolumen des linken Ventrikels und dem enddiastolischen Volumen. Das ausgeworfene Blutvolumen stellt das Ergebnis aus der Differenz von enddiastolischem und endsystolischem Volumen des linken Ventrikels dar [35]. Enddiastolisches und endsystolisches Volumen wurden mittels biplaner Simpson Methode ermittelt.

Tab. 6 Befundung der Ejektionsfraktion [38]

	EF (%)
Normalbefund	≥ 60
Gering eingeschränkte EF	50-59
Mäßig eingeschränkte EF	40-49
Schwer eingeschränkte EF	< 30

2.2.2.5 TAPSE

Die echokardiografische Beurteilung der systolischen Funktion des rechten Ventrikels gestaltet sich aufgrund des anatomischen Aufbaus und Kontraktionsmusters etwas komplexer. Zur Beurteilung dient unter anderem die Anteriorbewegung des Trikuspidalklappenannulus (TAPSE, *tricuspid annular plane systolic excursion*) während der Kontraktionsphase [38, 39].

Tab. 7 Befundung der TAPSE [38]

	TAPSE (mm)
Normalbefund	> 20
Grenzwertig pathologisch	16-19
Pathologisch	< 15

2.2.2.6 sPAP

Der sPAP definiert den systolischen Pulmonalarteriendruck mit einem Normwert von 15-30 mmHg [3]. Bei der echokardiografischen Messung des sPAP handelt es sich nicht um eine direkte Druckmessung. Mittels Messung der Regurgitationsgeschwindigkeit (V_{max}) über der Trikuspidalklappe wird der Druckgradient zwischen rechtem Vorhof und rechtem Ventrikel abgeleitet und hierauf basierend der sPAP indirekt geschätzt [40].

2.2.2.7 Pulmonalklappenstenose

Tab. 8 Schweregradeinteilung einer Pulmonalklappenstenose [41]

Schweregrad	Systolischer Druckgradient (mmHg)	Klappenöffnungsfläche (cm ²)
I (unbedeutend)	< 25	1 – 2
II (leicht)	25-49	0,5 - 1
III (mäßig)	50-79	0,25 – 0,5
IV (schwer)	> 80	< 0,25

2.2.2.8 Annulus, Sinus, sinutubulärer Übergang

Der anatomischen Nomenklatur zufolge beinhaltet die Aortenwurzel drei halbmondförmige Taschenklappen (Valvulae), welche als rechts-, links- und akoronare Taschen bezeichnet werden, drei Sinus, die Kommissuren sowie die dreieckigen Bereiche zwischen den Taschenklappen, die „Interleaflet Triangles“ [42].

Das proximale Ende der Aortenwurzel wird von den halbmondförmigen Anheftungen der Taschenklappen gebildet und als ventrikuloarterieller Übergang bezeichnet. Dort befindet sich der Annulus. Der Begriff Annulus weist fälschlicherweise auf eine ringförmige Struktur hin, beschreibt jedoch eine Ansammlung fibrösen Gewebes in kronenförmiger Gestaltung zur Fixierung und Stabilisierung der Valvulae [42, 43].

Die benachbarten, über eine kurze Strecke parallel verlaufenden Insertionen der Taschenklappen werden als Kommissuren bezeichnet. Dabei stellen die fibrösen, dreieckigen Bereiche unterhalb der Kommissuren zwischen den Taschenklappen die sogenannten „Interleaflet Triangles“ dar [42]. Distal der wannenförmigen Ausbuchtungen der Taschenklappen befindet sich jeweils der Sinus, wobei im rechten und linken Sinus die

Ostien der gleichnamigen Koronararterien liegen. Der Übergang von den Sinus zur aufsteigenden Aorta am distalen Ende der Aortenwurzel wird als sinutubulärer Übergang bezeichnet [42-44].

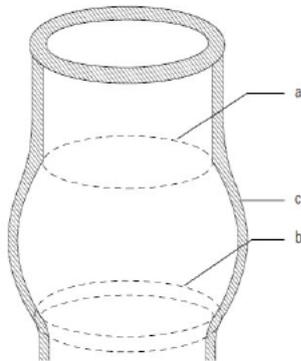


Abb. 7 Aortenwurzel [42]

a) Sinutubulärer Übergang b) Annulus c) Sinus

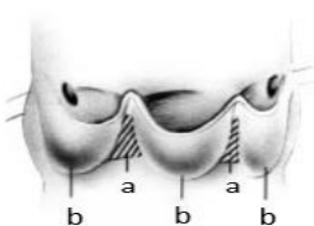


Abb. 8 Länglicher Schnitt durch den linken koronaren Sinus [42]

a) „Interleaflet triangles“ [42], b) Taschenklappen

Tab. 9 Vermessung der Aortenwurzel eines Erwachsenen [45]

	Messwerte (cm)		Messwerte bezogen auf die Körperoberfläche (cm ²)	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
Annulus	2,6 ± 0,3	2,3 ± 0,2	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1
Sinus	3,4 ± 0,3	3,0 ± 0,3	1,7 ± 0,2	1,8 ± 0,2
Sinutubulärer Übergang	3,0 ± 0,3	2,6 ± 0,3	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,2

Die Messungen werden in der parasternalen Längsachsensicht von Vorderkante zu Vorderkante durchgeführt, jeweils zum Diastolenende. Nur der Aortenannulus wird in der Systolenmitte gemessen [34].

2.3 Nachbeobachtung

Die mittlere Nachbeobachtungszeit betrug $6,2 \pm 4,5$ Jahre. Die Nachbeobachtungszeit der 172 Patienten erfolgte jeweils vom Datum des chirurgischen Eingriffes des jeweiligen Patienten an (= Beginn der Nachbeobachtung) bis zum Zeitpunkt seiner letzten Visite (= Ende der Nachbeobachtung). Hierbei konnte es sich um den letzten Kontrollbesuch oder den Tod des Patienten handeln. In dieser Studie wurden für jeden Patienten die Daten ausgewählter Parameter (s. Tab. 10) der präoperativen Echokardiografie-Untersuchung sowie der ersten postoperativen Echokardiografie-Untersuchung vor Entlassung und der letzten postoperativen Echokardiografie-Untersuchung am Ende der Nachbeobachtungszeit für die Analysen aufgenommen (siehe Abb. 9).

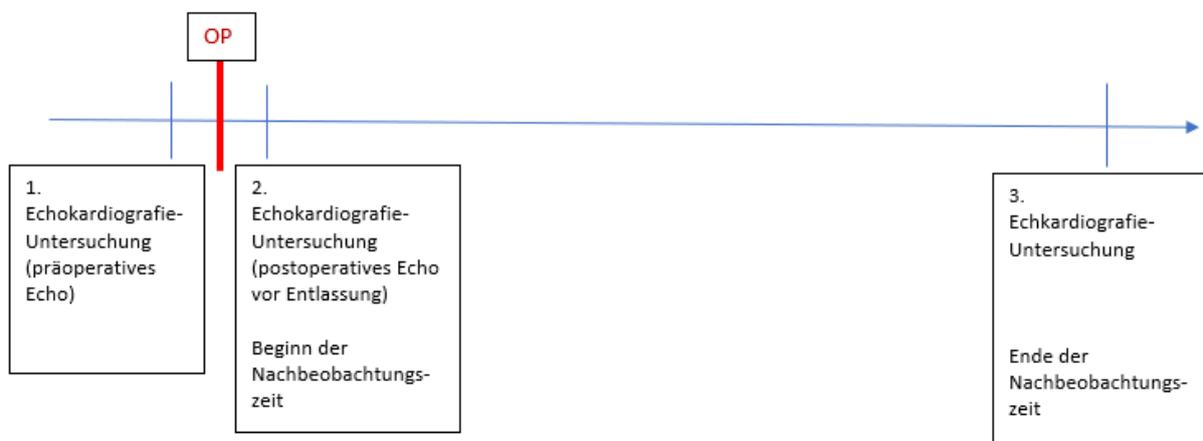


Abb. 9 Darstellung der durchgeführten Untersuchungen

Im Falle der Notwendigkeit einer Reoperation aufgrund eines Klappenvitiums wurden zusätzlich auch die Daten der Echokardiografie-Parameter aus den Echokardiografie-Untersuchungen vor und nach der Reoperation festgehalten (siehe Abb. 10).

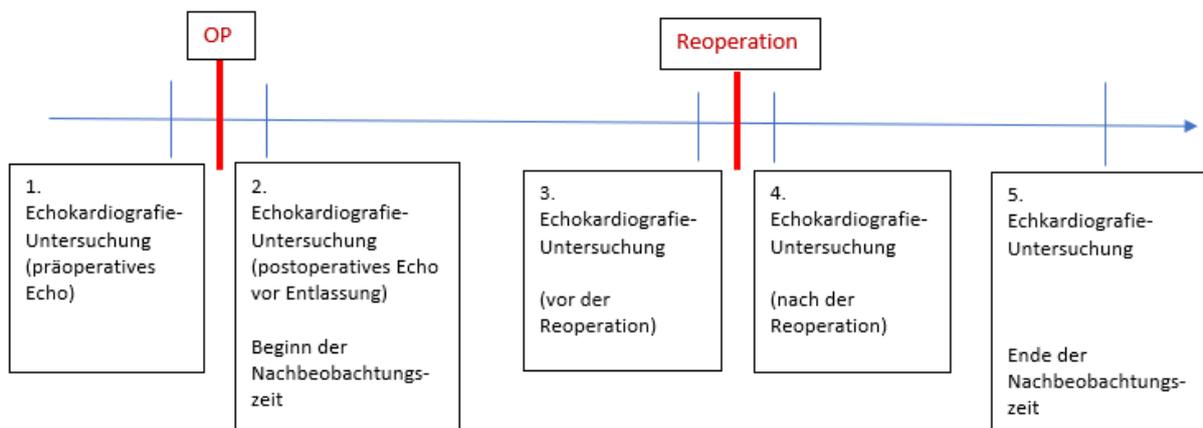


Abb. 10 Darstellung der Untersuchungen, die bei den Reoperationspatienten durchgeführt wurden

Bezüglich des präoperativen Wertes für den PHT der Pulmonalklappe in der WE-, SK-, Matrix- sowie HG Gruppe konnten aus den im SAP vorliegenden Echokardiografie-Untersuchungen keine Informationen gewonnen werden. Ebenso lagen keine Werte vor für den postoperativen PHT des rechtsventrikulären Ausflusstraktes (RVOT) in der HG Gruppe am Beginn des Follow UP, in der Matrixgruppe am Ende des Follow Up und in der WE Gruppe während des gesamten Follow UP.

Zudem konnten nur die Daten von 7 der 15 Reoperationspatienten lückenlos erfasst werden. Bei den restlichen 8 Reoperationspatienten fehlten folgende Parameter: Angaben zur OP-Indikation, die präoperativen und postoperativen Echokardiografie-Parameter, präoperative Befunde bezüglich des Vorliegens von Insuffizienzen an der Aorten-, -Pulmonal-, oder Triksupidalklappe sowie Informationen hinsichtlich der postoperativen Klappenfunktionen. Die Genauigkeit in der Recherche und Ergebnisfindung hinsichtlich aller Endpunkte wird dadurch eingeschränkt. Von diesen 8 Reoperationspatienten waren drei aus der Homograftgruppe und wurden ursprünglich in SK operiert, 4 aus der Matrixgruppe und wurden ursprünglich in SK operiert und ein Patient aus der Matrixgruppe, der ursprünglich in WE operiert wurde.

2.4 Bewertungskriterien

Das Ergebnis der Ross-Prozedur wurde primär anhand der Freiheit von Reoperationen aufgrund eines Klappenvitiums sowie der Letalität bewertet. Sekundär dienten die postoperativen Echokardiografie-Parameter bezüglich der Hämodynamik sowie der postoperative klinische Verlauf als Messwerte. Letzterer wurde anhand der NYHA Klassifikation der Patienten beurteilt. Die Informationen bezüglich des jeweiligen NYHA Stadiums stammen aus den Arztbriefen aus der Verwaltungssoftware SAP.

2.5 Datenerhebung

Für diese retrospektive Studie wurden zu Beginn die zu ermittelnden prä-, intra- und postoperative Parameter festgelegt, welche für jeden Patienten jeweils in einem Erhebungsbogen zusammengefasst wurden (siehe Tab. 10).

Die ermittelten Patientendaten wurden den Operationsberichten, den Echokardiografiebefunden und Arztbriefen aus der Verwaltungssoftware SAP des Zentralarchivs der Universität Würzburg entnommen. Mittels SAP konnten sowohl Informationen aus klinikinternen Dokumenten als auch aus Fremdbefunden einweisender Ärzte gewonnen werden. Die erhobenen Daten wurden mit Hilfe von Microsoft® Excel 2016 in einer Datenbank organisiert und für weitere Auswertungen anonymisiert.

Im Folgenden gibt Tab. 10 eine Übersicht bezüglich der Parameter, welche für jeden Patienten erhoben wurden.

Tab. 10 Erhebungsbogen

(AG: Autograft; AV: Aortenklappe; AÖF/PÖF: Öffnungsfläche der Aortenklappe/Pulmonalklappe; Insuff: Insuffizienz; ÖF: Öffnungsfläche; PV: Pulmonalklappe; RVOT: rechtsventrikulärer Ausflusstrakt; TV: Trikuspidalklappe)

Präoperative Parameter	Intraoperative Parameter	Postoperative Parameter
Alter	OP Datum	Revision
Größe	OP Technik	Tod
Gewicht	OP Dauer	NYHA Klassifikation
BMI	Aortenabklemmzeit	
Diabetes	Bypasszeit	
OP Indikation	Art der Spenderklappe (PV)	
NYHA Klassifikation	Intraoperative Revision	
Präoperative Echokardiografie-Variablen:		Postoperative Echokardiografie-Variablen:
LVEDD		LVEDD
IVSD		IVSD
LVPWD		LVPWD
Ejektionsfraktion		Ejektionsfraktion
TAPSE		TAPSE
sPAP		sPAP
Annulus		Annulus
Sinus		Sinus
Sinutubulärer Übergang		Sinutubulärer Übergang
Vmax (AV)		Vmax (AG)
dPmax (AV)		dPmax (AG)
AÖF		ÖF (AG)
Insuff. (AV)		Insuff. (AG)
PHT (AV)		PHT (AG)
Vmax (PV)		Vmax (RVOT)
dPmax (PV)		dPmax (RVOT)
PÖF		ÖF (RVOT)
Insuff. (PV)		Insuff. (RVOT)
PHT (PV)		PHT (RVOT)

Für jeden Patienten wurden die oben genannten Variablen aus der präoperativen Echokardiografie-Untersuchung sowie aus der ersten und letzten postoperativen Echokardiografie-Untersuchung während der Nachbeobachtungszeit aufgenommen und für die Analyse verwendet. Falls es postoperativ zu einer Reoperation aufgrund eines Klappenvitiums kam, wurden zudem die Daten aus der Echokardiografie-Untersuchung vor und nach der Reoperation erfasst (siehe Abb. 9 und Abb. 10, Kap. 2.3).

2.6 Ethikvotum und Datenschutz

Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns ist ein Ethikantrag nicht durchgeführt worden. Die Regeln des Datenschutzes wurden im Rahmen der Auswertung allseits beachtet.

2.7 Statistik

Zur statistischen Auswertung der Daten wurde das Programm IBM SPSS Statistics 25 verwendet. Zunächst erfolgte die statistische Datenanalyse in Bezug auf die prä-, intra- und postoperativen Parameter für die 154 Patienten der Homograftpatientengruppe. Da diese, wie in Kapitel 2.1 geschildert, entsprechend der durchgeführten Operationstechnik in zwei Untergruppen aufgeteilt wurde, findet anhand der Resultate der statistischen Datenanalyse in Kapitel 3.1 ein Vergleich der beiden Techniken statt. Weiterhin wurden die Daten derjenigen 18 Patienten statistisch ausgewertet, welche eine Matrixprothese zum Ersatz der Pulmonalklappe implantiert bekamen. Die Resultate werden in Kapitel 3.2 anhand eines Vergleichs bezüglich Homograft- und Matrixpatientengruppe geschildert, um so einen möglichen Einfluss der verwendeten Ersatzklappe für die Pulmonalklappe hinsichtlich der Langzeitstabilität der Ross-Prozedur feststellen zu können.

Für die metrischen Variablen des Erhebungsbogens wurden Mittelwerte und Standardabweichungen ermittelt. Zur Untersuchung von statistisch signifikanten Unterschieden diente bei den metrischen Variablen der T-Test, bei ordinalen Variablen der Mann-Whitney-U Test und bei nominalen Variablen der Chi-Quadrat-Test. Ein signifikanter Unterschied ist für p-Werte $< 0,05$ definiert.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte durch die Doktorandin mit Unterstützung von Hr. Aziz Wahbi.

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der statistischen Datenanalyse bezüglich der erhobenen prä-, intra- und postoperativen Parameter geschildert.

In Kap. 3.1 werden die beiden Operationstechniken SK (103 Patienten) und WE (51 Patienten) innerhalb einer Homograftpatientengruppe miteinander verglichen. Alle 154 Patienten dieser Gruppe erhielten somit hierbei während der Ross-Prozedur einen Homograaft zum Ersatz der Pulmonalklappe. Anschließend erfolgt in Kapitel 3.2 ein Vergleich dieser Homograaftpatientengruppe (154 Patienten) mit einer Matrixpatientengruppe aus 18 Patienten in Bezug auf Haltbarkeit und Funktion der beiden Ersatzklappen. Letztlich werden in Kapitel 3.3 die Patienten deskriptiv dargestellt, die aufgrund eines Klappenvitiums nachoperiert wurden (Reoperationspatientengruppe).

3.1 Vergleich der Operationstechniken Subkoronartechnik und Wurzelersatztechnik

3.1.1 Präoperative Parameter

Tab. 11 Demographische Daten, Vorerkrankungen und – befunde, präoperatives NYHA Stadium

(SK: Subkoronartechnikgruppe; WE: Wurzelersatztechnikgruppe; PE:Perikarderguss)

	Gesamt (n= 154)	SK (n= 103)	WE (n= 51)	p-Wert
Alter (Jahr)	56,40 ± 9,89	45,20 ± 9,75	48,86 ± 9,83	0,032
Größe (cm)	174,81 ± 14,31	173,58 ± 16,21	177,39 ± 8,66	0,138
Gewicht (kg)	84,83 ± 20,07	85,37 ± 21,40	83,67 ± 17,05	0,637
BMI ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$)	27,03 ± 4,78	27,36 ± 4,94	26,33 ± 4,41	0,232
Diabetes mellitus (%)	2,6 (4/154)	0,0 (0/103)	7,8 (4/51)	0,005
AE (%)	1,3 (2/154)	1,0 (1/103)	2,0 (1/51)	0,551
NYHA Stadium (%)				0,179
I	33,6	28,9	35,7	
II	45,6	50,6	42,9	
III	16,8	16,9	16,6	
IV	4,0	3,6	4,8	

Bezüglich der demographischen Daten der Patienten beider Gruppen wurde nur das Alter der Patienten zum Operationszeitpunkt betreffend ein signifikanter Unterschied zwischen den Operationstechnikgruppen ermittelt ($p = 0,032$) (siehe Tab. 11). Dabei waren die Patienten der SK Gruppe im Durchschnitt jünger. Weiterhin ergaben sich größere Mittelwerte in der SK Gruppe für Gewicht und BMI.

Die Patienten beider Gruppen wurden präoperativ vorwiegend Stadium II der NYHA Klassifikation zugeordnet (siehe Tab. 11).

Tab. 12 OP Indikationen

(AI: Aortenklappeninsuffizienz; AS: Aortenklappenstenose)

	Gesamt (n= 151)	SK (n= 100)	WE (n= 51)	p-Wert
AS				0,127
I° (%)	18,1	15,4	23,5	
II° (%)	43,9	48,1	35,3	
III° (%)	21,3	22,1	19,6	
AI				0,033
I° (%)	27,3	27,4	27,1	
II° (%)	24,0	24,5	22,9	
III° (%)	20,8	24,5	12,5	

Als Indikation für die Operation der Patienten beider Gruppen lag eine AS sowie eine AI – jeweils in unterschiedlichen Ausprägungsgraden (I°, II°, III°) – vor. Sowohl bei den Patienten der SK Gruppe als auch der WE Gruppe dominierte präoperativ eine mittelschwere AS. Während in der SK Gruppe die Verteilung bezüglich AI I°, II° und III° prozentual ähnlich war (27,4 %, 24,5 % und 24,5 %), lag bei den Patienten der WE Gruppe überwiegend eine leichte AI vor. Zudem waren im Vergleich der beiden Gruppen doppelt so viele Patienten der SK Gruppe präoperativ von einer schweren AI betroffen. (siehe Tab. 12).

Tab. 13 Präoperative Echokardiografie-Parameter

(AÖF: Öffnungsfläche der AV; AV: Aortenklappe; dPmax AV/PV: maximaler Druckgradient über der AV/PV; PÖV: Öffnungsfläche der PV; PV: Pulmonalklappe; StÜ: Sinutubulärer Übergang; Vmax AV/PV: maximale Flussgeschwindigkeit über der AV/PV)

	Gesamt (n= 151)	SK (n= 100)	WE (n= 51)	p-Wert
LVEDD (mm)	50,12 ± 8,28	49,66 ± 8,48	51,07 ± 7,87	0,375
IVSD (mm)	13,02 ± 4,27	13,16 ± 4,59	12,73 ± 3,57	0,595
LVPWD (mm)	12,02 ± 2,68	12,28 ± 2,80	11,52 ± 2,40	0,147
EF (%)	62,76 ± 9,17	63,17 ± 8,47	61,90 ± 10,53	0,457
TAPSE (mm)	23,10 ± 3,68	23,60 ± 3,95	21,16 ± 1,32	0,152
sPAP (mmHg)	29,73 ± 6,75	31,13 ± 6,21	26,10 ± 6,90	0,004
Annulus (mm)	27,39 ± 4,50	27,08 ± 4,33	28,17 ± 4,91	0,330
Sinus (mm)	34,65 ± 6,31	34,20 ± 6,57	35,42 ± 5,99	0,573
StÜ (mm)	36,45 ± 8,39	36,59 ± 8,14	36,10 ± 9,21	0,832
Vmax AV (m/s)	3,49 ± 1,19	3,55 ± 1,22	3,34 ± 1,11	0,396
dPmax AV (mmHg)	58,29 ± 31,52	61,26 ± 30,70	51,90 ± 32,71	0,121
AÖF (cm ²)	1,17 ± 0,79	0,98 ± 0,39	1,25 ± 0,89	0,126
PHT AV (ms)	363,36 ± 215,84	270,67 ± 98,84	389,62 ± 112,71	0,728
Vmax PV (m/s)	1,65 ± 0,52	1,05 ± 0,31	1,08 ± 0,55	0,531
dPmax PV (mmHg)	8,67 ± 3,26	8,62 ± 3,22	8,79 ± 3,47	0,862
PÖF (cm ²)	4,20 ± 0,41	4,06 ± 0,39	4,55 ± 0,21	0,172
PHT (ms)				

Für die Septumdicke (IVSD), die Hinterwanddicke (LVPWD), TAPSE, sPAP, die maximale Flussgeschwindigkeit über der Aortenklappe (Vmax AV) und für den maximalen Druckgradienten (dPmax AV) lagen in der SK Gruppe jeweils größere Mittelwerte präoperativ vor. Jedoch stellte sich nur bezüglich des sPAP der Unterschied zwischen den beiden Gruppen als signifikant heraus (p = 0,004). Dagegen ergaben sich hinsichtlich der Diameter des Annulus und Sinus tendenziell höhere Mittelwerte in der WE Gruppe. Der Diameter des Sinus lag jeweils in beiden Gruppen präoperativ im oberen Normbereich, der des Annulus und sinutubulären Übergangs war jeweils leicht erhöht. Weiterhin erhöhte Mittelwerte wurden hinsichtlich Vmax AV und dPmax AV sowohl in der SK Gruppe als auch in der WE Gruppe ermittelt (siehe Tab. 13).

Tab. 14 Klappeninsuffizienzen (präoperativ)

(AV: Aortenklappe; PV: Pulmonalklappe; TV: Trikuspidalklappe; I°: leicht; II°: mittelschwer; III°: schwer)

	Gesamt (n= 151)	SK (n=100)	WE (n=51)	p-Wert
AV				0,030
I° (%)	27,6	25,8	31,7	
II° (%)	27,6	26,9	29,3	
III° (%)	22,4	26,9	12,2	
PV				0,414
I° (%)	13,5	10,4	20,7	
II° (%)	1,1	0,0	3,4	
III° (%)	0,0	0,0	0,0	
TV				0,776
I° (%)	56,1	56,8	54,8	
II° (%)	0,0	0,0	0,0	
III° (%)	3,3	3,7	2,4	

Während die prozentuale Verteilung hinsichtlich einer präoperativ vorliegenden leichten, mittelschweren oder schweren Aortenklappeninsuffizienz (AI I°, II°, III°) in der SK Gruppe ähnlich war, dominierte bei den Patienten der WE Gruppe eine leichte sowie mittelschwere AI. Diesbezüglich wurde mit einem p-Wert von 0,03 ein signifikanter Unterschied ermittelt. Diese diagnostizierten Insuffizienzen stellten allerdings nicht zwangsläufig auch die Indikation für die Operation des jeweiligen Patienten, sondern wurden nur im Rahmen der Diagnostik als Befund aufgenommen (siehe Tab. 14).

3.1.2 Intraoperative Parameter

Tab. 15 Intraoperative Parameter

	Gesamt (n= 154)	SK (n=103)	WE (n=51)	p-Wert
OP Dauer (min)	287,76 ± 47,65	292,35 ± 40,91	278,40 ± 58,44	0,134
Aorten- klemmzeit (min)	175,65 ± 34,17	189,45 ± 25,77	139,37 ± 26,14	0,000
Bypass- zeit (min)	205,57 ± 44,50	214,30 ± 25,99	182,59 ± 69,36	0,028

Hinsichtlich der intraoperativen Parameter – Operationsdauer, Aortenklemmzeit sowie der Bypasszeit – ergaben sich in der SK Gruppe aufgrund der komplexeren Ausführung jeweils höhere Mittelwerte (siehe Tab.15).

3.1.3 Postoperative Parameter

Tab. 16 Reoperations- und Todesfälle

	Gesamt	SK	WE	p-Wert
Reoperationen (%) aufgrund eines Vitiums des Autografts	5,8 (9/154)	6,8 (7/103)	3,9 (2/51)	0,474
Todesfälle (%)	1,9 (3/154)	1,9 (2/103)	1,9 (1/51)	0,317

Aufgrund einer postoperativ auftretenden Klappenfunktionsstörung fand bei 7/103 Patienten der SK Gruppe und 2/51 Patienten der WE Gruppe eine Reoperation am Autograft statt. Bei vier der sieben Reoperationspatienten der SK Gruppe wurde präoperativ eine mittelschwere und bei einem eine schwere AI diagnostiziert. Bei beiden Reoperationspatienten der WE Gruppe lag eine mittelschwere AI vor. Weiterhin wurde bei drei der sieben Reoperationspatienten der SK Gruppe und bei einem der beiden Reoperationspatienten der WE Gruppe präoperativ ein Diameter des Annulus ≥ 27 mm festgestellt. Ein LVEDD > 55 mm wurde bei zwei Reoperationspatienten der SK Gruppe und bei einem der WE Gruppe ermittelt. In Kap. 3.3 werden diejenigen Patienten, welche wegen eines Klappenvitiums nachoperiert werden mussten, detailliert dargestellt. Drei Patienten, wobei zwei ursprünglich in SK und einer in WE operiert wurde, verstarben postoperativ. Der erste Verstorbene wurde primär aufgrund einer hochgradigen AI in SK operiert. Nachdem zwei Tage postoperativ eine Reoperation aufgrund einer erneut auftretenden Insuffizienz erfolgte, verstarb der Patient am darauf folgenden Tag. Der Tod des zweiten Patienten ereignete sich acht Jahre postoperativ nicht kardial bedingt. In der WE Gruppe verstarb ein Patient postoperativ an einem Leberversagen mit begleitender diffuser Blutungsneigung drei Tage postoperativ.

Tab. 17 NYHA Stadium (postoperativ)

	Gesamt (n= 154)	SK (n= 103)	WE (n= 51)	p-Wert
NYHA Stadium				0,030
I (%)	80,0	74,1	95,5	
II (%)	20,0	25,9	4,5	
III (%)	0,0	0,0	0,0	
IV (%)	0,0	0,0	0,0	

Die Patienten beider Operationstechnikgruppen ließen sich nach erfolgter Ross-Prozedur zwar vorwiegend Stadium I (SK Gruppe: 74,1 %, WE Gruppe: 95,5 %) der NYHA Klassifikation zuteilen. Dennoch ergab sich statistischer Auswertung zufolge ein signifikanter Unterschied ($p = 0,03$) (siehe Tab. 17).

Tab. 18 Postoperative

Echokardiografie-Parameter (zu Beginn der Nachbeobachtungszeit)

(AG: Autograft; HG: Homograft; StÜ: Sinutubulärer Übergang; ÖF: Öffnungsfläche)

	Gesamt (n= 151)	SK (n= 100)	WE (n= 51)	p-Wert
LVEDD (mm)	47,46 ± 7,88	47,45 ± 7,65	47,47 ± 8,43	0,989
IVSD (mm)	13,20 ± 3,62	13,23 ± 3,82	13,13 ± 3,18	0,872
LVPWD (mm)	12,19 ± 3,52	12,18 ± 3,41	12,21 ± 3,84	0,972
EF (%)	61,77 ± 9,76	61,01 ± 9,08	63,32 ± 10,93	0,175
TAPSE (mm)	20,26 ± 3,35	20,02 ± 3,42	21,33 ± 2,95	0,295
sPAP (mmHg)	30,43 ± 7,39	31,17 ± 8,20	28,77 ± 4,89	0,208
Annulus (mm)	24,13 ± 3,67	23,43 ± 3,49	25,89 ± 3,57	0,002
Sinus (mm)	30,98 ± 5,07	29,25 ± 4,22	34,19 ± 5,02	0,000
StÜ (mm)	27,57 ± 4,17	26,85 ± 3,47	29,03 ± 5,08	0,017
Vmax AG (m/s)	1,46 ± 0,47	1,59 ± 0,46	1,17 ± 0,34	0,000
dPmax AG (mmHg)	8,99 ± 6,64	10,17 ± 7,25	6,61 ± 4,36	0,000
ÖF AG (cm ²)	3,32 ± 1,07	3,09 ± 0,91	3,82 ± 1,20	0,001
PHT AG (ms)	474,68 ± 256,09	476,53 ± 230,12	466,63 ± 417,16	0,954
Vmax HG (m/s)	1,39 ± 1,08	1,29 ± 0,38	1,59 ± 1,82	0,124
dPmax HG (mmHg)	9,79 ± 4,27	9,82 ± 4,45	9,73 ± 3,92	0,912
ÖF HG (cm ²)	4,85 ± 0,45	4,84 ± 0,57	4,87 ± 0,28	0,863
PHT HG (ms)	487,0	487,0		

Tab. 19 Postoperative

Echokardiografie-Parameter (am Ende der Nachbeobachtungszeit)

(AG: Autograft; HG: Homograft; StÜ: Sinutubulärer Übergang; ÖF: Öffnungsfläche)

	Gesamt (n= 151)	SK (n= 100)	WE (n= 51)	p-Wert
LVEDD (mm)	46,94 ± 6,47	46,78 ± 6,06	47,28 ± 7,36	0,695
IVSD (mm)	10,16 ± 2,57	10,00 ± 2,40	10,54 ± 2,93	0,287
LVPWD (mm)	9,68 ± 2,06	9,58 ± 2,11	9,94 ± 1,94	0,378
EF (%)	60,60 ± 8,30	60,76 ± 7,97	60,23 ± 9,12	0,738
TAPSE (mm)	20,82 ± 2,22	20,97 ± 2,07	20,44 ± 2,57	0,288
sPAP (mmHg)	34,27 ± 8,15	34,13 ± 8,63	34,55 ± 7,18	0,823
Annulus (mm)	24,30 ± 3,55	23,61 ± 3,12	26,03 ± 4,02	0,001
Sinus (mm)	32,27 ± 3,82	31,53 ± 3,31	34,20 ± 4,43	0,003
StÜ (mm)	28,70 ± 4,39	27,89 ± 4,06	30,44 ± 4,70	0,041
Vmax AG (m/s)	1,29 ± 0,30	1,36 ± 0,31	1,13 ± 0,21	0,000
dPmax AG (mmHg)	6,84 ± 3,65	7,43 ± 3,99	5,56 ± 2,34	0,006
ÖF AG (cm ²)	3,57 ± 0,84	3,44 ± 0,78	3,84 ± 0,88	0,013
PHT AG (ms)	426,89 ± 219,74	409,24 ± 188,09	463,66 ± 280,46	0,551
Vmax HG (m/s)	1,59 ± 0,49	1,61 ± 0,49	1,55 ± 0,49	0,531
dPmax HG (mmHg)	11,50 ± 6,22	11,77 ± 6,71	10,90 ± 5,01	0,480
ÖF HG (cm ²)	4,85 ± 2,50	5,77 ± 2,85	3,93 ± 1,82	0,147
PHT HG (ms)	400,0	400,0		

Die postoperativen Werte der Ejektionsfraktion ähnelten den präoperativen und entsprachen über den gesamten postoperativen Zeitraum hinweg der Norm.

Im Vergleich zu den präoperativ ermittelten Werten des LVEDD (SK Gruppe: $49,6 \pm 8,48$ mm, WE Gruppe: $51,07 \pm 7,87$ mm) wurden niedrigere Werte im Rahmen der Nachbeobachtungszeit in beiden Gruppen ermittelt.

Ausgehend von den präoperativen Mittelwerten wurden bei Entlassung sowie am Ende des Follow Up in beiden Gruppen niedrigere Mittelwerte für die Diameter des Annulus, des Sinus und des sinutubulären Übergangs festgestellt. Dennoch ergaben sich in der WE Gruppe bezüglich dieser drei Parameter bei Entlassung und während der Nachbeobachtungszeit höhere Werte als in der SK Gruppe. Die Unterschiede zwischen den Operationstechniken waren jeweils signifikant. Im Laufe der Nachkontrollen nahmen die Mittelwerte für die Diameter des Annulus, des Sinus und des sinutubulären Übergangs in der WE Gruppe leicht zu.

Im Vergleich zu den präoperativ erhöhten Werten lagen am Ende des Follow Up die Mittelwerte der maximalen Flussgeschwindigkeit über dem Autograft (V_{\max} AG) (SK Gruppe: $1,36 \pm 0,31$ m/s; WE Gruppe: $1,13 \pm 0,21$ m/s), des maximalen Druckgradienten (dP_{\max} AG) (SK Gruppe: $7,43 \pm 3,99$ mmHg; WE Gruppe: $5,56 \pm 2,34$ mmHg) sowie der Öffnungsfläche des Autografts (ÖF AG) (SKG: $3,44 \pm 0,78$ cm²; WEG: $3,84 \pm 0,88$ cm²) in beiden Gruppen im Normbereich. Zudem waren V_{\max} AG und dP_{\max} AG in beiden Gruppen bei der letzten Echokardiografie-Untersuchung im Rahmen der Nachkontrollen tendenziell jeweils etwas niedriger als die Mittelwerte der erhobenen Parameter vor Entlassung. Wie bereits präoperativ beim Vergleich von SK Gruppe und WE Gruppe in Hinsicht auf die Aortenklappe beobachtet, ergaben sich in der SK Gruppe auch postoperativ höhere Mittelwerte für V_{\max} AG sowie für dP_{\max} AG. Bezüglich ÖF AG wurde in der SK Gruppe ein kleinerer Mittelwert errechnet sowohl vor Entlassung als auch am Ende der Nachbeobachtungszeit. Der statistischen Auswertung zufolge stellten sich die Unterschiede in Bezug auf diese drei Variablen (V_{\max} AG, dP_{\max} AG, ÖF AG) als signifikant heraus (siehe Tab. 18, 19). Jedoch weist dies keine klinische Bedeutung auf.

Tab. 20 und Tab. 21 stellen die Klappenfunktion von Autograft, Homograft und Trikuspidalklappe nach erfolgter Ross-Prozedur dar. Ein signifikanter Unterschied wurde am Ende der Nachbeobachtungszeit hinsichtlich der Funktion des Homografts ermittelt. Dieses Ergebnis sollte hinsichtlich des Vergleichs der Operationstechniken SK und WE jedoch eher als Nebenbefund aufgenommen werden, da die Funktion des Homografts von der Art der Operationstechnik nicht beeinflusst wird.

Tab. 20 Klappenfunktionen (zu Beginn der Nachbeobachtungszeit)

	Gesamt (n=151)	SK (n=100)	WE (n=51)	p-Wert
Insuffizienz AG				0,798
I° (%)	23,8	21,2	28,8	
II° (%)	3,3	5,1	0,0	
III° (%)	0,0	0,0	0,0	
Insuffizienz HG				0,630
I° (%)	18,6	19,4	17,1	
II° (%)	2,2	2,0	2,1	
III° (%)	0,0	0,0	0,0	
Insuffizienz TV				0,022
I° (%)	49,3	55,2	38,0	
II° (%)	0,0	0,0	0,0	
III° (%)	0,0	0,0	0,0	

Tab. 21 Klappenfunktionen (am Ende der Nachbeobachtungszeit)

	Gesamt (n=151)	SK (n=100)	WE (n=51)	p-Wert
Insuffizienz AG				0,296
I° (%)	54,2	52,7	57,5	
II° (%)	18,3	19,8	15,0	
III° (%)	4,6	5,5	2,5	
Insuffizienz HG				0,010
I° (%)	51,6	59,5	32,4	
II° (%)	5,5	3,4	10,8	
III° (%)	0,8	1,1	0,0	
Insuffizienz TV				0,705
I° (%)	77,7	80,9	68,7	
II° (%)	2,5	1,1	6,2	
III° (%)	0,8	1,1	0,0	

Während in der SK Gruppe präoperativ eine AI zu 25,8 % (AI I°) und jeweils zu 26,9 % (AI II° und AI III°) vorlag, waren in der WE Gruppe präoperativ 31,7 % (AI I°), 29,3 % (AI II°) sowie 12,2 % (AI III°) betroffen. Diesbezüglich wurden postoperativ niedrigere Werte in beiden Gruppen in Bezug auf eine mittelschwere und schwere Insuffizienz ermittelt.

Tab. 22 Auftreten einer postoperativen Insuffizienz des Autografts in der SK Gruppe bei Patienten mit einem präoperativ vorliegendem Diameter des Annulus ≥ 27 mm oder LVEDD > 45 mm oder PHT < 500 ms

	Annulus ≥ 27 mm	LVEDD > 45 mm	PHT < 500 ms
Postoperative AG Insuffizienz I° (%)	34,6	46,6	50,0
Postoperative AG Insuffizienz II° (%)	26,9	16,6	25,0
Postoperative AG Insuffizienz III° (%)	3,8	1,6	0,0

Tab. 23 Auftreten einer postoperativen Insuffizienz des Autografts in der WE Gruppe bei Patienten mit einem präoperativ vorliegendem Diameter des Annulus ≥ 27 mm oder LVEDD > 45 mm oder PHT < 500 ms

	Annulus ≥ 27 mm	LVEDD > 45 mm	PHT < 500 ms
AG Insuffizienz I° (%)	71,4	55,2	55,2
AG Insuffizienz II° (%)	14,3	13,7	22,2
AG Insuffizienz III° (%)	0,0	0,0	0,0

Bei Patienten mit einem präoperativ vorliegendem Diameter des Annulus ≥ 27 mm oder LVEDD > 45 mm oder einem präoperativ vorliegenden PHT < 500 ms wurde postoperativ in beiden Gruppen vorwiegend eine leichte Insuffizienz des Autografts diagnostiziert. Im Gegensatz zur SK Gruppe liegt in der WE Gruppe der Diameter des Annulus ≥ 27 mm als dominierender Faktor bei den Patienten mit einer postoperativen leichten Insuffizienz des Autografts vor.

3.2 Vergleich von Homograft und Matrixprothese

3.2.1 Präoperative Parameter

Tab. 24 Demographische Daten, Vorerkrankungen und -befunde, präoperatives NYHA Stadium

(HGG: Homograftpatientengruppe; MG: Matrixpatientengruppe)

	Gesamt (n= 172)	MG (n= 18)	HGG (n= 154)	p-Wert
Alter (Jahr)	47,30 \pm 9,90	51,28 \pm 9,96	46,40 \pm 9,89	0,049
Größe (cm)	174,20 \pm 13,20	173,21 \pm 8,51	174,81 \pm 14,31	0,643
Gewicht (kg)	82,75 \pm 17,70	79,04 \pm 13,10	84,83 \pm 20,07	0,340
BMI ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$)	26,95 \pm 4,23	26,25 \pm 3,43	27,03 \pm 4,78	0,503
AE (%)	2,9 (5/172)	16,6 (3/18)	1,3 (2/154)	0,009
Diabetes mellitus (%)	2,3 (4/172)	0% (0/18)	2,6 (4/154)	0,543
NYHA Stadium				0,961
I (%)	35,3	34,4	35,8	
II (%)	48,1	42,4	50,0	
III (%)	9,3	19,2	7,1	
IV (%)	6,3	4,0	7,1	

Hinsichtlich der demographischen Daten sowie des präoperativ diagnostizierten NYHA Stadiums der beiden Patientengruppen (MG und HGG) stellten sich – außer das Alter betreffend – keine signifikanten Unterschiede heraus.

In der Matrixgruppe wurde bei 3/18 Patienten (16,6 %) eine Aortenklappenendokarditis präoperativ diagnostiziert, in der HGG bei 2/154 (1,3 %; siehe Tab. 24). Der statistischen Auswertung zufolge war dieser Unterschied signifikant ($p = 0,009$; siehe Tab. 24).

Tab. 25 OP Indikationen

(AE: Aortenklappenendokarditis; AI: Aortenklappeninsuffizienz; AS: Aortenklappenstenose)

	MG (n= 13)	HGG (n= 151)	p-Wert
AS			0,064
I° (%)	6,7	18,1	
II° (%)	26,7	43,9	
III° (%)	53,3	21,3	
AI			0,114
I° (%)	37,5	27,3	
II° (%)	25,0	24,0	
III° (%)	6,3	20,8	

Indikation der Operation war bei den Patienten der MG zu 53,3 % eine schwere AS (AS III°) und bei den Patienten der HGG zu 43,9 % eine mittelschwere AS (AS II°) (siehe Tab. 25).

Wie unten dargestellt wurden für den linksventrikulären enddiastolischen Durchmesser (LVEDD), die Septumdicke (IVSD) und die Hinterwanddicke (LVPWD) größere Mittelwerte in der HGG ermittelt, jedoch jeweils ohne signifikanten Unterschied (siehe Tab. 26). Im Weiteren lagen für die Diameter des Annulus, Sinus und sinutubulären Übergangs größere Mittelwerte in der HGG vor, allerdings nur mit signifikantem Unterschied bezüglich des Sinus und sinutubulären Übergangs ($p = 0,001$). Dagegen wurden in der MG größere Mittelwerte für die maximale Flussgeschwindigkeit über der Aortenklappe (V_{max} AV) und für den maximalen Druckgradienten (dP_{max} AV) ermittelt. In beiden Gruppen befanden sich die Werte zudem deutlich oberhalb des Normbereiches (MG: $4,19 \pm 1,13$ m/s und $71,54 \pm 25,06$ mmHg; HGG: $3,49 \pm 1,19$ m/s und $58,29 \pm 31,52$ mmHg). Bezüglich der Aortenklappenöffnungsfläche wies die MG folglich einen kleineren Mittelwert auf (AÖF: $0,78 \pm 0,36$ cm²). Die Pulmonalklappe war präoperativ unauffällig. Für die restlichen Echokardiografie-Parameter ergaben sich in beiden Gruppen ähnliche Mittelwerte, welche im Normbereich lagen. Der errechnete Mittelwert des PHT bezieht sich nur auf die Patientengruppe, die von einer AI betroffen war.

Tab. 26 Präoperative Echokardiografie-Parameter

(StÜ: Sinutubulärer Übergang)

	MG (n= 13)	HGG (n= 151)	p-Wert
LVEDD (mm)	47,0 ± 8,91	50,12 ± 8,28	0,257
IVSD (mm)	12,0 ± 2,40	13,02 ± 4,27	0,451
LVPWD (mm)	11,0 ± 1,63	12,02 ± 2,68	0,226
EF (%)	63,07 ± 13,06	62,76 ± 9,17	0,929
TAPSE (mm)	24,0 ± 2,64	23,10 ± 3,68	0,686
sPAP (mm)	29,0 ± 4,14	29,73 ± 6,75	0,812
Annulus (mm)	26,0 ± 2,54	27,39 ± 4,50	0,496
Sinus (mm)	28,0 ± 4,0	34,65 ± 6,31	0,001
StÜ (mm)	23,33 ± 2,88	36,45 ± 8,39	0,001
Vmax AV (m/s)	4,19 ± 1,13	3,49 ± 1,19	0,019
dPmax AV (mmHg)	71,54 ± 25,06	58,29 ± 31,52	0,089
AÖF (cm ²)	0,78 ± 0,36	1,17 ± 0,79	0,040
PHT AV (ms)	400,0 ± 0,0	363,36 ± 215,84	0,855
Vmax PV (m/s)	1,14 ± 0,53	1,16 ± 1,22	0,945
dPmax PV (mmHg)	9,20 ± 3,03	8,67 ± 3,26	0,512
PÖF (cm ²)	4,50 ± 0,0	4,20 ± 0,41	0,002
PHT (ms)			

Tab. 27 Klappeninsuffizienzen (präoperativ)

	MG (n= 13)	HGG (n= 151)	p-Wert
AV			0,309
I° (%)	50,0	27,6	
II° (%)	14,3	27,6	
III° (%)	14,3	22,4	
PV			0,974
I° (%)	9,1	13,5	
II° (%)	0,0	1,1	
III° (%)	0,0	0,0	
TV			0,953
I° (%)	50,0	56,1	
II° (%)	0,0	0,0	
III° (%)	0,0	3,3	

Im Rahmen der präoperativen Echokardiografie-Untersuchung wurden Insuffizienzen der Aorten (AV)-, Pulmonal (PV)-, und Trikuspidalklappe (TV) diagnostiziert (s. Tab. 27). Diese waren jedoch nicht operationswürdig. Signifikante Unterschiede wurden nicht festgestellt.

3.2.2 Intraoperative Parameter

Tab. 28 Intraoperative Parameter

	MG (n= 18)	HGG (n=154)	p-Wert
OP Dauer (min)	284,57 ± 34,33	287,76 ± 47,65	0,799
Aorten-klemm-zeit (min)	178,00 ± 27,00	175,65 ± 34,17	0,759
Bypass-zeit (min)	201,64 ± 25,90	205,57 ± 44,50	0,578
Perioperative Revisionen (%)	0,0 (0/18)	0,6 (1/154)	1,0

Während bezüglich der Operationsdauer sowie der Bypasszeit etwas größere Mittelwerte in der HGG ermittelt wurden, lagen hinsichtlich der Aortenklammzeit größere Werte in der MG vor. (siehe Tab. 28). Der statistischen Auswertung zufolge waren diese Unterschiede jedoch nicht signifikant.

3.2.3 Postoperative Parameter

Tab. 29 Reoperations- und Todesfälle

	Gesamt	MG	HGG	p-Wert
Reoperationen aufgrund eines Klappenvitiums (%)	8,7 (15/172)	33,3 (6/18)	5,8 (9/154)	0,0001
Todesfälle (%)	2,3 (4/172)	5,6 (1/18)	1,9 (3/154)	0,360

Von Reoperationen aufgrund eines Klappenvitiums waren in der MG 6/18 (33,3 %) und in der HGG 9/154 (5,8 %) der Patienten betroffen. Diesbezüglich wurde ein signifikanter Unterschied ($p = 0,0001$) ermittelt (siehe Tab. 29). Bei allen Patienten der HGG handelte es sich jedoch immer um ein Vitium des Autografts, wohingegen die Reoperationen der MG bei allen 6/18 Patienten aufgrund einer Funktionsstörung der implantierten Matrixprothese erfolgten. Die Patienten, bei welchen nach erfolgter Ross-Prozedur erneut ein Klappenvitium auftrat und infolgedessen nachoperiert werden mussten, sind in Kap. 3.3 detailliert dargestellt. In der MG verstarb eine Patientin 5,5 Jahre nach dem Eingriff in SK. Dagegen wurden in der HGG drei verstorbene Patienten ermittelt, welche in Kap. 3.1 geschildert werden.

Während sich postoperativ 80 % der Patienten der HGG NYHA Stadium I zuordnen ließen, waren es in der MG nur 50 %. Bei den restlichen Patienten der MG wurde NYHA Stadium II

zu 40 % und Stadium III zu 10 % diagnostiziert. Für die übrigen 20 % der HGG lag Stadium II vor. Der Vergleich diesbezüglich ergab einen signifikanten Unterschied ($p = 0,030$) (siehe Tab. 30).

Tab. 30 NYHA Stadium (postoperativ)

	Gesamt (n = 172)	MG (n= 18)	HGG (n= 154)	p-Wert
NYHA Stadium				0,030
I (%)	76,6	50,0	80,0	
II (%)	22,2	40,0	20,0	
III (%)	1,5	10,0	0,0	
IV (%)	0,0	0,0	0,0	

Tab. 31 und Tab. 32 bilden eine Gegenüberstellung der MG und HGG in Bezug auf die errechneten Mittelwerte der erhobenen postoperativen Echokardiografie-Parameter jeweils zu Beginn und am Ende der Nachbeobachtungszeit ab. In beiden Gruppen erhöhte sich der Mittelwert des sPAP im Laufe der Nachbeobachtungszeit, wobei in der MG der Druckanstieg stärker ausfiel. Bezüglich der Werte der letzten Echokardiografie-Untersuchung, welche beide oberhalb des Normbereiches lagen (MG: $39,72 \pm 9,87$ mmHg; HG: $34,27 \pm 8,15$ mmHg), stellte sich ein signifikanter Unterschied heraus. Ausgehend von präoperativ deutlich erhöhten Mittelwerten für Vmax (MG: $4,19 \pm 1,13$ m/s; HGG: $3,49 \pm 1,19$ m/s) und dPmax AV (MG: $71,54 \pm 25,06$ mmHg; HGG: $58,29 \pm 31,52$ mmHg) lagen am Ende der Nachbeobachtungszeit hinsichtlich beider Parameter in beiden Gruppen jeweils reduzierte Werte vor.

Die Werte für Vmax und dPmax RVOT waren in der MG über den gesamten postoperativen Zeitraum hinweg größer. Bezüglich des anhand der letzten Echokardiografie errechneten Mittelwertes von dPmax RVOT (MG: $21,46 \pm 14,88$ mmHg; HGG: $11,50 \pm 6,22$ mmHg) war der Unterschied zwischen den Gruppen signifikant ($p = 0,034$).

Tab. 31 Postoperative

Echokardiografie-Parameter

(zu Beginn der Nachbeobachtungszeit)

(RVOT: Rechtsventrikulärer Ausflusstrakt)

	MG (n = 13)	HGG (n = 151)	p- Wert
LVEDD (mm)	45,66 ± 10,41	47,46 ± 7,88	0,444
IVSD (mm)	12,33 ± 2,96	13,20 ± 3,62	0,422
LVPWD (mm)	9,50 ± 1,50	12,19 ± 3,52	0,010
EF (%)	65,07 ± 9,78	61,77 ± 9,76	0,241
TAPSE (mm)	21,14 ± 2,60	20,26 ± 3,35	0,510
sPAP (mmHg)	31,14 ± 4,14	30,43 ± 7,39	0,778
Annulus (mm)	24,66 ± 3,53	24,13 ± 2,67	0,764
Sinus (mm)	32,44 ± 4,97	30,98 ± 5,07	0,438
StÜ (mm)	32,00 ± 4,20	27,57 ± 4,17	0,005
Vmax AG (m/s)	1,35 ± 0,27	1,46 ± 0,47	0,390
dPmax AG (mmHg)	7,95 ± 3,67	8,99 ± 6,64	0,553
ÖF AG (cm ²)	3,32 ± 1,03	3,32 ± 1,07	0,976
PHT AG (ms)	488,0 ± 186,67	474,68 ± 256,09	0,117
Vmax RVOT (m/s)	1,43 ± 0,55	1,39 ± 1,08	0,901
dPmax RVOT (mmHg)	10,21 ± 5,91	9,79 ± 4,27	0,806
ÖF RVOT (cm ²)	5,20 ± 0,00	4,85 ± 0,45	0,469
PHT RVOT (ms)	620,00 ± 0,00		

Tab. 32 Postoperative

Echokardiografie-Parameter

(am Ende der Nachbeobachtungszeit)

(RVOT: Rechtsventrikulärer Ausflusstrakt)

	MG (n= 13)	HGG (n= 151)	p- Wert
LVEDD (mm)	47,38 ± 8,02	46,94 ± 6,47	0,809
IVSD (mm)	9,90 ± 1,70	10,16 ± 2,57	0,750
LVPWD (mm)	9,27 ± 1,55	9,68 ± 2,06	0,508
EF (%)	56,35 ± 9,13	60,60 ± 8,30	0,069
TAPSE (mm)	21,92 ± 7,70	20,82 ± 2,22	0,594
sPAP (mmHg)	39,72 ± 9,87	34,27 ± 8,15	0,045
Annulus (mm)	24,22 ± 2,86	24,30 ± 3,55	0,933
Sinus (mm)	33,00 ± 3,64	32,27 ± 3,82	0,605
StÜ (mm)	31,00 ± 5,71	28,70 ± 4,39	0,312
Vmax AG (m/s)	1,29 ± 0,26	1,29 ± 0,30	0,966
dPmax AG (mmHg)	6,64 ± 2,46	6,84 ± 3,65	0,838
ÖF AG (cm ²)	3,58 ± 0,87	3,57 ± 0,84	0,990
PHT AG (ms)	346,66 ± 150,11	426,89 ± 219,74	0,536
Vmax RVOT (m/s)	1,98 ± 0,81	1,59 ± 0,49	0,118
dPmax RVOT (mmHg)	21,46 ± 14,88	11,50 ± 6,22	0,034
ÖF RVOT (cm ²)	2,85 ± 3,04	4,85 ± 2,50	0,307
PHT RVOT (ms)		350,00 ± 0,00	

Tab. 33 Klappenfunktionen (zu Beginn der Nachbeobachtungszeit)

	Gesamt (n=164)	MG (n=13)	HGG (n=151)	p- Wert
Insuffizienz AG				0,688
I° (%)	23,6	21,4	23,8	
II° (%)	3,0	0,0	3,3	
III° (%)	0,0	0,0	0,0	
Insuffizienz RVOT				0,696
I° (%)	18,2	14,3	18,6	
II° (%)	1,8	0,0	2,1	
III° (%)	0,0	0,0	0,0	
Insuffizienz TV				0,371
I° (%)	50,0	58,3	49,3	
II° (%)	0,0	0,0	0,0	
III° (%)	0,0	0,0	0,0	

Tab. 34 Klappenfunktionen (am Ende der Nachbeobachtungszeit)

	Gesamt (n=164)	MG (n=13)	HGG (n=151)	p- Wert
Insuffizienz AG				0,221
I°	56,5	78,6	54,2	
II°	17,9	14,3	18,3	
III°	4,8	7,1	4,6	
Insuffizienz RVOT				0,089
I° (%)	52,8	64,3	51,6	
II° (%)	5,7	7,1	5,5	
III° (%)	1,4	7,1	0,8	
Insuffizienz TV				0,118
I° (%)	77,8	78,5	77,7	
II° (%)	3,7	14,3	2,5	
III° (%)	0,7	0,0	0,8	

Bezüglich des Vergleichs der beiden Patientengruppen MG und HGG ist vor allem die Funktion der Ersatzklappe für die Pulmonalklappe postoperativ interessant. Wie oben abgebildet war zum Zeitpunkt der Entlassung und somit zu Beginn der Nachbeobachtungszeit die Zahl an Insuffizienzen sowohl in der HGG als auch in der MG prozentual gering (siehe Tab. 33). Am Ende der Nachbeobachtungszeit überwog dagegen in der MG mit 64,3 % sowie in der HGG mit 51,6 % eine leichte Insuffizienz der jeweiligen Ersatzklappe (siehe Tab. 34).

Sowohl zu Beginn als auch am Ende des Follow Up wurde in keiner der beiden Gruppen ein Perikarderguss diagnostiziert.

3.3 Deskriptive Darstellung der Reoperationsgruppe

Kapitel 3.3 stellt die Gruppe von Patienten dar, welche aufgrund einer Klappenfunktionsstörung nachoperiert werden mussten (Reoperationspatientengruppe).

Tab. 35 gibt zunächst eine Übersicht dieser Patienten in Bezug auf die Operationstechnik, die jeweils während des primären Eingriffes durchgeführt wurde, sowie hinsichtlich der verwendeten Ersatzklappe für die Pulmonalklappe.

Tab.35 Reoperationen

	Gesamt	HGG		MG	
		SK	WE	SK	WE
Reoperationen aufgrund eines Klappenvitiums	15/172 (8,7 %)	7/103 (6,8 %)	2/51 (3,9 %)	5/15 (33,3 %)	1/3 (33,3 %)

15 der 172 Patienten wurden im Laufe der Nachbeobachtungszeit wegen eines Klappenvitiums nachoperiert.

In Tab. 36, Tab. 37 und Tab. 38 werden jeweils die prä-, intra- und postoperativen Parameter der Reoperationspatienten aufgezeigt. Da die Datenerhebung aufgrund mangelnder Compliance mancher Patienten extrem erschwert war, können nur sieben der betroffenen 15 Patienten betrachtet werden.

Bezüglich der postoperativen Echokardiografie-Variablen wurden für jeden Patienten die Daten aus drei Echokardiografien aufgenommen. Die erste Untersuchung erfolgte direkt nach der primären Operation vor Entlassung, die zweite vor der Reoperation und die dritte danach.

Tab. 36 Präoperative Daten der Reoperationspatienten

(Alter: Alter zum Zeitpunkt des primären operativen Eingriffes, Diabetes mell.: Diabetes mellitus; n.: nicht vorhanden; I°: leicht, II°: mittel; III°: schwer)

	P. 1	P. 2	P. 3	P. 4	P. 5	P. 6	P. 7
Alter	44	47	63	46	42	28	47
Geschlecht	männlich	männlich	männlich	männlich	männlich	männlich	männlich
Größe (cm)	186	182	177	183	193	175	187
Gewicht (kg)	78	74	83	85	116	87	110
BMI (kg/m ²)	22,5	22,3	26,5	25,4	31,1	28,4	31,5
OP Indikation	AS II° AI II°	AI II°	AS II° AI III°	AS II°	AI II°	AI II°	AS I° AI II°
Diabetes mell.	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
NYHA	II	II	II	IV	II	II	II
LVEDD (mm)	52		60	48	60	45	41
IVSD (mm)	12		13	14	9	12	12
LVPWD (mm)	15		21	14	13	11	9
EF (%)	57	50	66	42	59	60	57
TAPSE (mm)							20
sPAP (mmHg)			41				
PE (mm)	nein		nein	nein		nein	nein
Annulus (mm)	26	32	33	28	34	24	24
Sinus (mm)	36	38	46	37	44	32	39
StÜ (mm)	35	37	45	32		25	
Vmax AV (m/s)	3,9		3,8	3,9	2,0	1,5	2,9
dPmax AV (mmHg)	40	8	38	39	9	9	24
AÖF (cm ²)	1,2	3,0	1,3	1,1	3,3		1,7
Insuff. AV	II°	II°	III°	n.	II°	II°	II°
PHT AV (ms)	480	460	250		390	420	380
Vmax PV (m/s)	1,0	0,9		0,9	0,8	1,7	0,92
dPmax PV (mmHg)	11	12				4	3
PÖF (cm ²)			3,5				
Insuff. PV	n.	n.	I°	n.	n.	n.	I°
PHT PV (ms)							
Insuff. TV	I°		n.	I°	n.	n.	I°

Tab. 37 Intraoperative Daten der Reoperationspatienten

	P. 1	P. 2	P. 3	P. 4	P. 5	P. 6	P. 7
OP Datum	02.07.08	30.10.08	13.11.09	11.05.10	15.03.12	02.02.15	17.05.17
OP Technik	SK	WE	SK	SK	WE	SK	SK
Spenderklappe für PV	HG	HG	HG	HG	HG	Matrix	HG
OP Dauer (min)	05:17	04:03	05:49	04:25	04:18	04:58	05:00
Aorten-klemmzeit (min)				02:32	02:12	03:29	03:17
Bypasszeit (min)				03:10	02:55	03:12	03:43
Peri-operative Revision	nein						

Tab. 38 Postoperative Daten der Reoperationspatienten

(AG: Autografit; AKE: Aortenklappenersatz; D: Diagnose; PKE: Pulmonalklappenersatz; Ther: Therapie; 1/2/3: 1./2./3. postoperative Echokardiografie)

		Pat. 1	Pat. 2	Pat. 3	Pat. 4	Pat. 5	Pat. 6	Pat. 7
Reoperation: Datum Diagnose Therapie		27.10.16 D: AI III° Ther: AKE	24.09.15 D: AI III° Ther: AKE	17.11.14 D: Endokarditis d. AG Ther: AKE	01.07.10 D: Endokarditis d. AG mit AI, AS Ther: AKE	07.12.17 D: AI II° Ther: AKE	03.08.16 D: AI I°, Stenose (RVOT) Ther: AKE und PKE	07.03.18 D: AI II° Ther: AKE
Tod		nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
NYHA		I				I		I
LVEDD (mm)	1	51	50	60	55	53	50	61
	2	55	61	66	53		46	44
	3	43	50	60	56		44	43
IVSD (mm)	1	12	15	12	10	12	12	9
	2	11		9	13		7	9
	3	10		11	12		10	9
LVPWD (mm)	1	12		13	14	10	12	9
	2	13		11	16		8	9
	3	9		10	11		9	9
EF (%)	1	64	55	73	42	76	67	54
	2	50	53	36	55	56	53	53
	3	63	55	55	70	66	54	55
TAPSE (mm)	1							18
	2					27	26	21
	3	21	23			18	17	16
sPAP (mmHg)	1		26	28			30	40
	2			31		31		
	3	28		29			30	40
PE (mm)	1	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.
	2	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.
	3	n.	n.	n.	n.	n.	n.	n.
Annulus (mm)	1	24	25	26	19	29		21
	2	24	28	26	22	35		23
	3	25	24				28	
Sinus (mm)	1	35	34	31		43		31
	2	34	37	32		41		35
	3	33	35				32	34
StÜ (mm)	1	32	34	27	22			
	2	33	40	28	26			
	3	31	32				28	
Vmax AG (m/s)	1	1,5		1,3	1,8	0,7	1,8	2,26
	2	1,8		1,7	2,3	1,48	1,6	2,15
	3	1,7	1,9	1,2	2,1	1,41	1,6	2,56
dPmax AG (mmHg)	1	10	3,2	8	13	8	13,2	15
	2	13		7	22	9	3	11
	3	14	15	10	18	10	10	10
ÖF AG (cm²)	1	3,6	3,5			3,3	2,9	2,5
	2	2,8			1,5	5		3,8
	3	2	2,5	3,5		2,8	3,5	2,5

Insuff. AG	1 2 3	I° III° n.	I° III° n.	I° II° I°	n. I° n.	n. II° n.	n. I° I°	I° II° I°
PHT AG (ms)	1 2 3	521 260	270	405	520	350		370
Vmax RVOT (m/s)	1 2 3	1,6 1,7	1,7	1,7 1,6	1 1,2 1,1	1,1	2,2 2,8 1,53	1,7 1,6
dPmax RVOT (mmHg)	1 2 3	8,3 12	11,9 11	10 11	11 12	20	19,6 20 9	12 11
ÖF RVOT (cm ²)	1 2 3	4	4,8		5			
Insuff. RVOT	1 2 3	n. I° n.	I° n. n.	n. n. n.	n. n. n.	I°	n. I° n.	I° I° I°
PHT RVOT (ms)	1 2 3							
Insuff. TV	1 2 3	n. I° I°	I° I° n.	I° I°	n. n.	n.	I° n. I°	I° I° I°

Außer Patient 6 (28 Jahre) waren alle Reoperationspatienten ≥ 40 Jahre zum primären Operationszeitpunkt und männlich. Indikation für den primären chirurgischen Eingriff der Ross-Prozedur war jeweils eine AI außer im Fall von Patient 4.

Ursache für die Reoperationen

In der Homograftgruppe wurden 9/154 Patienten nachoperiert, sieben davon in der SKG und zwei in der WEG. Indikationen der Reoperationen der SKG waren bei 5/7 Fällen eine Insuffizienz des Autografts und bei 2/7 eine Endokarditis des Autografts. Auch die beiden Patienten der WEG mussten aufgrund einer Insuffizienz des Autografts reoperiert werden.

In der MG erfolgte bei 6/18 Patienten eine Reoperation jeweils aufgrund einer Stenose der implantierten Matrixprothese.

Von den insgesamt 15 Reoperationen betrafen somit neun den pulmonalen Autograft und sechs den RVOT, jedoch handelte es sich bei diesen sechs Reoperationen nur um Reoperationen von Matrixprothesen.

Während in der gesamten Studie keine Revision eines Homografts erfolgte, wurden 33,3 % (6/18 Patienten) wegen eines Klappenvitiums der implantierten Matrixprothese nachoperiert. Weiterhin lag bei Betrachtung der Homograftgruppe die Reoperationsrate aufgrund eines Klappenvitiums in der SKG bei 6,8 % (7/103), und in der WEG in diesem Fall bei 3,9 % (2/51).

Bei 1/15 Reoperationspatienten (6,7 %) lag präoperativ eine schwere AI und bei 6/15 (40,0 %) eine mittelschwere AI vor. Zudem wurde präoperativ bei 4/15 Reoperationspatienten ein Diameter des Annulus ≥ 27 mm und bei 3/15 Reoperationspatienten ein LVEDD > 55 mm diagnostiziert. Eine präoperativ vorliegende AI, ein Diameter des Annulus ≥ 27 mm sowie ein LVEDD > 55 mm werden in der Literatur als Risikofaktoren für ein postoperativ auftretendes Klappenvitium erwähnt [46-50].

Zeitpunkt der Reoperationen

Die Reoperationen der SKG erfolgten einen Tag, zwei Monate, ein Jahr, zwei Jahre, fünf Jahre und acht Jahre postoperativ. Eineinhalb, vier und acht Jahre postoperativ ereigneten sich die Reoperationen der Patienten der SKG mit Implantation einer Matrixprothese als Ersatzklappe. Dagegen traten die Nachoperationen der Patienten der WEG, welche im Rahmen der primären Operation einen Homograft erhielten, fünf und sieben Jahre postoperativ auf. Der Patient mit implantierter Matrixprothese der WEG wurde jedoch schon 12 Tage nach erfolgter Ross-Prozedur nachoperiert.

Letalität

Im Laufe des Follow Up sind vier Patienten verstorben. Jedoch handelte es sich bei den vier Verstorbenen nur einmal um einen Reoperationspatienten (siehe Kap. 3.1.3).

4 Diskussion

4.1 Vergleich der Operationstechniken Subkoronartechnik und Wurzelersatztechnik

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Arbeit in Bezug auf die SK Gruppe (103 Patienten) und die WE Gruppe (51 Patienten) diskutiert und mit den internationalen Literaturen verglichen. Die Patienten beider Operationstechnikgruppen erhielten im zweiten Schritt der Ross-Prozedur jeweils einen Homograft zum Ersatz der Pulmonalklappe.

Intraoperative Parameter

In dieser Studie lag für die SK Gruppe eine längere Dauer bezüglich der Operationszeit, der Aortenklemmzeit sowie der Bypasszeit vor. Die Literatur bestätigt diese Ergebnisse. So weisen Berdajs et al. auf eine kürzere Dauer der WE hin [29]. Weiterhin belegen Sievers et al. sowie Charitos et al., dass die SK die komplexere und zeitaufwändigere Technik darstellt [18, 51].

Hämodynamik

Die Echokardiografie-Untersuchungen dieser Arbeit lieferten in Bezug auf die Hämodynamik nach Anwendung beider Techniken sehr gute Ergebnisse, was sich auch in diversen weiteren Studien herausgestellt hatte [13, 18]. Verglichen mit den Daten der präoperativen Diagnostik wurden in Bezug auf den LVEDD niedrigere Werte am Ende der Nachbeobachtungszeit in beiden Gruppen festgestellt. Die Mittelwerte für den postoperativ gemessenen maximalen Druckgradienten und die maximale Flussgeschwindigkeit über dem Autograft waren in der vorliegenden Arbeit in der SK Gruppe etwas größer, lagen aber noch im mittleren Normbereich. Ein möglicher Grund hierfür ist, dass bereits präoperativ bezüglich dieser Parameter größere Werte in der SKG ermittelt wurden. Klinisch trägt dies jedoch keine Relevanz. Zudem setzt auch die Literatur die SK stets in Verbindung mit ausgezeichneter postoperativer Hämodynamik [18].

Annulus, Sinus, sinutubulären Übergang

Für die Diameter des Annulus, des Sinus und des sinutubulären Übergangs wurden größere Mittelwerte in der WE Gruppe berechnet, welche während der Nachbeobachtungszeit in Hinsicht auf Annulus und sinutubulären Übergang gering zunahmen. Die Studie von Hanke Thorsten untersuchte 1014 Patienten, die zwischen 1990 und 2006 entsprechend der Ross-

Prozedur sowohl in SK als auch in WE operiert wurden. Während der Diameter des Annulus in beiden Operationstechnikgruppen nicht anstieg, vergrößerte sich jedoch bei den Patienten der WE Gruppe der Diameter des sinutubulären Übergangs um 0,5 mm pro Jahr [52]. Den Resultaten der Literatur zufolge tritt nach erfolgter Ross-Prozedur in WE eine späte Dilatation der Aortenwurzel acht bis zehn Jahre postoperativ auf [13, 14, 18, 20, 51, 53-56]. Daher erklärt die mittlere Nachbeobachtungszeit dieser Studie von nur $6,2 \pm 4,5$ Jahren, weshalb die Tendenz zur Vergrößerung der Diameter des Annulus und sinutubulären Übergangs in der WE Gruppe der vorliegenden Arbeit gering ist. Die Dilatationen resultieren in einer Insuffizienz des Autografts verbunden mit der Notwendigkeit von Nachoperationen [17, 46, 53]. Bei Patienten, welche in SK operiert wurden, ist keine Dilatation der Wurzel beobachtet worden [16, 18, 20]. Zudem ist hierbei zu erwähnen, dass eine zusätzliche Sicherung des Autografts sowohl annulär als auch im Bereich der proximalen aortalen Anastomose in unserem Patientengut erfolgte. Während die proximale Fixierung, um einer Dilatation des Annulus entgegen zu wirken, durch den Einsatz eines in Glutaraldehyd fixierten Perikardstreifens, der in den Einzelknopfnähten mit integriert wird, durchgeführt wird, erfolgt die distale Fixierung im Bereich der aortalen Anastomose durch den Einsatz einer Rohrprothese, die eine distale Dilatation des Autografts verhindert. Unabhängig von der Operationstechnik könnte das Vorliegen einer Bindegewebserkrankung die Ursache für eine postoperative Vergrößerung der Diameter der Aortenwurzel sein, da bei diesen Patienten ein erhöhtes Risiko für eine Autograftdilatation angenommen wird [57]. In dieser Studie hatte jedoch keiner der Patienten eine Bindegewebserkrankung.

Freiheit von Reoperationen

Nach Anwendung beider Techniken kam es postoperativ zu Reoperationen. Aufgrund von Klappenfunktionsstörungen mussten in der Homograftgruppe sieben der 103 ursprünglich in SK operierten Patienten und zwei der 51 Patienten aus der WEG nachoperiert werden.

Somit betrug die Freiheit von Reoperationen bezüglich eines Klappenvitiums 93,2 % in der SK Gruppe und 96,1 % in der WE Gruppe bei einem Follow Up von $6,2 \pm 4,5$ Jahren. In beiden Gruppen handelte es sich jeweils zu 100 % um ein Vitium des Autografts. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Freiheit von Reoperationen ist nicht signifikant ($p= 0,474$).

Freiheit von Reoperationen des Autografts

Die Freiheit von Reoperationen des Autografts betrug in der Studie von Berdajs et al. 98 % (SK) und 91,2 % (WE) nach zehn Jahren für eine reine Erwachsenengruppe. Die Patienten wurden zwischen 1967 und 2013 operiert [29]. Ähnliche Resultate berichtet die Studie von

Charitos et al. mit einer Freiheit von Reoperationen des Autografts von 98 % (SK) nach fünf Jahren, 94,8 % (SK) nach zehn Jahren und 89,6 % (SK) nach 15 Jahren. Dabei beträgt der Mittelwert des Alters der 203 Patienten $47,2 \pm 13,6$ Jahre und der Operationszeitraum lag zwischen 1994 und 2011 [13]. Dagegen ermittelten Kouchoukos et al. für eine Patientengruppe aus jungen Erwachsenen – in einem Alter von durchschnittlich 31 Jahren – und älteren Kindern schlechtere Ergebnisse nach erfolgter Ross-Prozedur in WE. Nach fünf Jahren stellten sie eine Freiheit von Reoperationen in Höhe von 95 %, nach sieben Jahren in Höhe von 80 % und nach zehn Jahren in Höhe von 75 % fest [54]. Insofern wird die Notwendigkeit von Reoperationen möglicherweise durch das Alter der Patienten beeinflusst. Die Risikofaktoren für Nachoperationen werden auf den folgenden Seiten noch näher betrachtet.

Bezüglich beider Techniken liegt eine geringe Reoperationsrate vor, welche jedoch bei längerer Nachbeobachtungszeit in beiden Gruppen zunimmt. In der vorliegenden Arbeit schneidet im Gegensatz zu den Resultaten der Literatur die WE tendenziell besser ab.

Als wichtiger Parameter hinsichtlich des Vergleichs der beiden Gruppen bezüglich der Reoperationsrate ist zu erwähnen, dass in der SK Gruppe doppelt so viele Patienten eine hochgradige AI präoperativ hatten.

Weiterhin kann das Ergebnis dieser Studie einerseits durch die ungleichmäßig großen und zudem sehr geringen Patientenzahlen (SK: 103, WE: 51), andererseits auch besonders durch eine zu kurze Nachbeobachtungszeit verfälscht sein, welche in dieser Studie nur bei $6,2 \pm 4,5$ Jahren liegt. Erst nach acht bis zehn Jahren postoperativ steigt die Zahl der Reoperationen bei Patienten, welche in WE operiert wurden [13, 20, 51, 54]. Möglicherweise ist die Fixier-Technik des Autografts, um eine Dilatation der Wurzel bei der WE zu verhindern, entscheidend bezogen auf die Freiheit von Reoperationen aufgrund einer Insuffizienz des Autografts.

Eine späte, deutliche Zunahme der Reoperationen bei Patienten, welche entsprechend der SK operiert wurden, wurde nicht festgestellt [13, 20]. Auch Charitos et al. belegen diese Beobachtungen. Ausgehend von einer Freiheit von Reoperationen in Höhe von 97 % fünf Jahre postoperativ, sowohl nach erfolgter Ross-Prozedur in SK als auch in WE, betrug diese 12 Jahre postoperativ in der SKG 91 % und in der WEG nur noch 82 % (mittleres Patientenalter: $39,05 \pm 16,5$ Jahre) [51]. Weiterhin bestätigt die vorliegende Arbeit die Resultate der Literatur, denn die Reoperationsfälle der SKG verteilten sich gleichmäßig über den Zeitraum der Nachbeobachtung und ereigneten sich vor allem innerhalb der ersten drei bis vier Jahre. Dagegen traten in der WEG die Reoperationen erst ab einem Zeitraum von fünf Jahren postoperativ auf. Aufgrund der sehr geringen Anzahl an Reoperationen in dieser Studie kann es sich bei dieser Beobachtung dennoch um Zufall handeln. Daher sind in

jedem Fall Studien mit einer größeren Zahl an Patienten und vor allem einer längeren Nachbeobachtungszeit nötig.

Indikationen der Reoperationen des Autografts

In der vorliegenden Dissertationsarbeit lag bei 5/7 Patienten der SK Gruppe, bei welchen eine Reoperation aufgrund eines Klappenvitiums des Autografts durchgeführt wurde, als Ursache jeweils eine Insuffizienz dessen vor und bei den übrigen zwei Patienten eine Endokarditis. Eine Insuffizienz des Autografts war bei den zwei Reoperationsfällen der WE Gruppe ebenfalls der Grund für die Nachoperation. In der Literatur wird ein Klappensegelprolaps und eine auftretende Endokarditis als Indikation für die Reoperation des Autografts nach erfolgter Ross-Prozedur in SK erwähnt [13, 16, 18, 20, 46, 51, 53]. Für die Patienten, die entsprechend der WE operiert wurden, weisen unter anderem Kouchoukos et al. als Ursache für die Nachoperation auf eine Insuffizienz des Autografts hin, hauptsächlich bedingt durch eine Dilatation [14, 46, 53] der neuen Aortenwurzel besonders des Annulus [47] und sinutubulären Übergangs [54]. Ebenso erfolgten die Nachoperationen der Patienten, welche entsprechend der WE operiert wurden, in der Studie von Mokhles et al. vor allem aufgrund einer Dilatation der neuen Aortenwurzel [17].

Insofern korrelieren die Ergebnisse der Literatur mit den Resultaten der vorliegenden Arbeit. Die Problematik hinsichtlich des Nachweises einer Dilatation wurde in diesem Kapitel bereits diskutiert. Für einen besseren Outcome sollte die Durchführung der WE mit einem geeigneten chirurgischen Verfahren zur Verstärkung an den Stellen der Anastomosen kombiniert werden, um das Risiko für die Entstehung einer postoperativen Dilatation der neuen Aortenwurzel zu reduzieren [18].

Risikofaktoren für Reoperationen des Autografts

In dieser Arbeit lag präoperativ bei vier der sieben Reoperationspatienten der SK Gruppe eine mittelschwere und bei einem der sieben eine schwere AI vor. In der WE Gruppe waren beide Reoperationspatienten präoperativ von einer mittelschweren AI betroffen. Bei zwei der sieben Reoperationpatienten der SK Gruppe und einem der beiden der WE Gruppe wurde präoperativ ein LVEDD > 55 mm ermittelt. Weiterhin wurde bei drei der sieben Reoperationspatienten der SK Gruppe sowie bei einem der beiden Reoperationspatienten der WE Gruppe ein Diameter des Annulus ≥ 27 mm diagnostiziert.

Auch in der Literatur wird eine präoperativ vorliegende AI [46-50] und zudem eine Dilatation des Annulus ≥ 27 mm [50] als Risikofaktor für eine postoperative Funktionsstörung des Autografts betrachtet. Das Alter [56] und Geschlecht der Patienten nimmt ebenfalls Einfluss [55]. Schlechtere Ergebnisse wurden für Patienten < 15 Jahre [29] sowie für junge Männer

[47, 58] festgestellt. Da kein Patient zum Operationszeitpunkt < 15 Jahre alt war, kann mit der vorliegenden Studie die Bedeutung des Alters nicht beurteilt werden. Allerdings waren alle Patienten der Reoperationsgruppe männlich. Neben der präoperativ vorliegenden Aortenklappenpathologie sowie dem Alter und Geschlecht der Patienten stellt die Erfahrung des operierenden Chirurgen [55] – besonders bei Durchführung der SK aufgrund ihrer Komplexität [18] – einen wichtigen Faktor dar.

Auch Karaskov et al. zeigten in ihrer Studie einen Zusammenhang bezüglich der Freiheit von Reoperationen und dem Diameter des Annulus auf. Hier lag die Rate hinsichtlich der Freiheit von Reoperationen zehn Jahre postoperativ in einer Patientengruppe mit einem Diameter des Annulus < 27 mm noch bei > 90 %, während sie sich in einer Patientengruppe mit einem Diameter \geq 27 mm bereits bei < 80 % befand [50].

Im Weiteren weisen Charitos et al. darauf hin, dass die Langzeitstabilität des Aortenklappenersatzes und die Freiheit von Reoperationen nach erfolgter Ross-Prozedur vor allem von der verwendeten Operationstechnik abhängen. Dabei wird von besseren Resultaten der SK mit einer Freiheit von Reoperationen in Höhe von 97 % nach zehn Jahren und in Höhe von 91 % nach zwölf Jahren berichtet. Die 2023 Patienten wurden insgesamt in 13 Zentren operiert, jeweils von einem unterschiedlichen Chirurgen [51]. Ebenso berichten Skillington et al. sowie Mokhles et al. von höheren Reoperationsraten der Patienten, welche in WE operiert wurden [17, 53], vor allem ab Beginn der zweiten Dekade postoperativ [53]. Auch Kouchoukos beschreibt die WE als Risikofaktor für eine erhöhte Notwendigkeit von Nachoperationen [46]. Die Ergebnisse dieser Studie hinsichtlich des Einflusses der Operationstechnik auf die Reoperationsrate wurden im Abschnitt „Freiheit von Reoperationen des Autografts“ diskutiert.

Freiheit von Reoperationen des Homografts und Indikationen für die Reoperation

Über den gesamten Zeitraum des Follow Up lag in dieser Studie eine Freiheit von Reoperationen des Homografts in Höhe von 100 % vor. Berdajs et al. weisen darauf hin, dass die jeweils verwendete Operationstechnik keinen Einfluss auf die Langzeitstabilität des RVOT hat, sondern diese vielmehr von der Art des Klappenersatzes sowie vom Alter des Patienten und des Spenders abhängig ist [29]. Umso jünger Spender und Empfänger, desto ungünstiger die Auswirkung auf die Langzeitstabilität [51]. In Kapitel 4.2 werden hinsichtlich des Vergleichs von Homograft- und Matrixgruppe die Reoperationen des RVOT betrachtet.

Letalität

Zwei Patienten der SK Gruppe sind verstorben. Hierbei wurde der erste Patient aufgrund einer Insuffizienz des Autografts zwei Tage nach erfolgter Ross-Prozedur nachoperiert und

verstarb aufgrund einer erneut auftretenden Insuffizienz einen Tag später. Er wurde auch primär aufgrund einer schweren AI operiert. Der Tod des zweiten Patienten ereignete sich acht Jahre nach der primären Operation, allerdings nicht aufgrund kardialer Ursache. Zudem verstarb ein Patient der WE Gruppe aufgrund eines Leberversagens mit begleitender diffuser Blutungsneigung drei Tage postoperativ. Somit lag die Krankenhausmortalität in dieser Studie bei 0,97 % in der SK Gruppe und bei 1,9 % in der WE Gruppe, während die Überlebensrate über den Zeitraum der Nachbeobachtung ($6,2 \pm 4,5$ Jahre) 98,1 % in der SK Gruppe und ebenso 98,1 % in der WE Gruppe betrug.

In der Literatur wird für Patienten einer SK Gruppe bezüglich einer frühen Mortalität von 0,98 % [13] und 0,80 % [16, 29] berichtet, welche sich auf den postoperativen Krankenhausaufenthalt der Patienten bis zur Entlassung bezieht. Die 30 Tage Sterblichkeitsrate liegt entsprechend den Resultaten diverser Studien bei 0,4 % [20] und 0,6 % [18] jeweils für eine SK Gruppe sowie bei 1,7 % für eine WE Gruppe [54]. Weiterhin wurden 94 % (SKG) und 95,3 % (WEG) hinsichtlich einer Zehn-Jahres-Überlebensrate festgestellt [29]. Ebenso ermittelten Kouchoukos et al. eine Zehn-Jahres-Überlebensrate von 96 % für Patienten, welche in WE operiert wurden, und berichten von einem hervorragenden Ergebnis [54]. In der Studie von Luciani et al. lag die Zehn-Jahres-Überlebensrate für eine Patientengruppe, welche sowohl in SK also auch in WE operiert wurde, insgesamt bei 98 % [56].

Den Resultaten der Literatur zufolge ist die WE der SK in Hinsicht auf die späte Überlebensrate zwar leicht überlegen, beide Techniken liefern jedoch sehr gute Ergebnisse. Auch Sievers et al. bestätigen, dass SK und WE eine vergleichbare Überlebensrate aufweisen [16]. Zudem heben diverse andere Studien hervor, dass nach chirurgischem Eingriff in SK eine normale Lebenserwartung erreicht wird [13, 20]. Die geringfügig besseren Ergebnisse der WE sollten bei Berücksichtigung der unterschiedlich großen Patientengruppen unter Vorbehalt betrachtet werden, denn beinahe in allen Studien lagen doppelt so viele Patienten in der SK Gruppe vor. Weiterhin hätte in Anbetracht der geringen Fallzahl der Patienten, welche in dieser Studie in WE operiert wurden, bereits ein einziger Todesfall das Resultat deutlich verändern können.

Wie die Reoperationsrate ist auch die Überlebensrate für sehr junge Patienten tendenziell schlechter [17]. Der Einfluss des Alters kann im Rahmen der vorliegenden Studie nicht überprüft werden, da alle Patienten zum Operationszeitpunkt > 25 Jahre waren.

Postoperativer klinischer Verlauf

Sowohl in dieser Studie als auch in der Literatur wurden die Patienten beider Operationstechnikgruppen postoperativ dem Stadium I der NYHA Klassifikation (SK Gruppe

zu 74,1 %, WE Gruppe zu 95,5 %) zugeteilt [56]. Dennoch war der Unterschied zwischen den Gruppen signifikant ($p= 0,03$). Aufgrund der unterschiedlich großen Patientenzahlen sollte der Unterschied unter Vorbehalt betrachtet werden. Zudem wäre eine klinische Visite sowie eine Ergometrie vorteilhaft gewesen zur besseren Evaluierung des postoperativen klinischen Verlaufs der Patienten in dieser Studie.

4.2 Vergleich von Homograft und Matrixprothese

In Kapitel 4.2 werden die Ergebnisse dieser Studie bezüglich der Ersatzklappen für die Pulmonalklappe – Homograft und Matrixprothese – mit den Resultaten der Literatur verglichen und diskutiert. Die Eigenschaften der beiden Ersatzklappen wurden in Kap. 1.2 näher dargestellt. In der vorliegenden Arbeit erfolgte bei 18 Patienten die Implantation einer Matrixprothese und bei 154 Patienten die Implantation eines Homografts.

Echokardiografie-Parameter

Im Laufe der Nachbeobachtungszeit erhöhten sich die Mittelwerte des Vmax des RVOT in beiden Gruppen, jedoch stärker in der Matrixgruppe (MG: $1,43 \pm 0,55$ m/s und $1,98 \pm 0,81$ m/s; HGG: $1,39 \pm 1,08$ m/s und $1,59 \pm 0,49$ m/s). Ähnliches wurde bezüglich des dPmax des RVOT beobachtet (MG: $10,21 \pm 5,91$ mmHg und $21,46 \pm 14,88$ mmHg; HGG: $9,79 \pm 4,27$ mmHg und $11,50 \pm 6,22$ mmHg). Dabei entstand der errechnete Mittelwert des dPmax von $21,46 \pm 14,88$ mmHg in der Matrixgruppe aufgrund zweier hoher in den Echokardiografien gemessener Werte von jeweils 50 mmHg, welche bei 2/18 Patienten auftraten. Weiterhin wurde bei 3/18 Patienten (16,6 %) der MG und nur bei 2/154 Patienten (1,3 %) der HGG ein maximaler Druckgradient von > 30 mmHg während des Follow Up festgestellt. Auch der sPAP erhöhte sich während des Zeitraums der Nachkontrollen in der MG stärker und lag hier am Ende bei $39,72 \pm 9,87$ mmHg. Somit ergaben sich in der vorliegenden Arbeit für die MG schlechtere Resultate als in der HGG in Bezug auf die postoperative Hämodynamik.

Eine Erklärung für den höheren Gradienten oder die höhere Flussgeschwindigkeit über der Matrixprothese könnten das Klappendesign sowie die Zusammensetzung der Matrix liefern. Weiterhin weist dies möglicherweise auf eine Proliferation an den Nahtstellen der Matrixprothese hin, welche den Anstieg des Druckgradienten begünstigt.

Dagegen werden in der Literatur unterschiedliche Ergebnisse diskutiert. In der Studie von Konertz et al. und Dohem et al. erhielten 50 Patienten zwischen 2002 und 2004 im Rahmen der Ross-Prozedur eine Matrix P Prothese. Das mittlere Alter dieser Patienten lag bei 46 Jahren. Während der Nachbeobachtungszeit wurden gute hämodynamische Resultate, ähnlich denen eines gesunden Patienten, ermittelt. Dabei verhielt sich der Druckgradient über den Zeitraum des Follow Up konstant [21]. Interessant ist diesbezüglich die Stellungnahme von Vesely in seiner Studie. Er wies zunächst darauf hin, dass im Widerspruch zu den Berichten der Studien von Konertz et al. und Dohem et al. einige Patienten aufgrund von Klappenvitien verstarben [27]. Letztgenannte Autoren erwähnten dagegen lediglich den Tod eines Patienten, welcher sich ihren Berichten zufolge nicht kardial bedingt ereignete, und gaben im Weiteren, wie oben erwähnt, sehr zufriedenstellende

hämodynamische Ergebnisse an [21]. Daher sollten diese ausgezeichneten Resultate von Konertz et al. und Dohem et al. in Frage gestellt werden. Nicht zu vernachlässigen ist zudem die Tatsache, dass Konertz und Dohem Teilhaber der Autotissue GmbH sind, einer Produktionsfirma der Matrixprothesen [27]. Perri et al. berichten von einem großen Misserfolg der implantierten Matrixprothesen bei den 93 pädiatrischen Patienten ihrer Studie mit angeborener Herzerkrankung (mittleres Alter 20 Monate). Als Misserfolg wurde jeglicher Umstand in Bezug auf die Matrixprothese definiert, der zu einem Todesfall oder zu deren Ersatz führte. Ursache war zu 61 % eine Stenose, welche als das Auftreten eines maximalen Druckgradienten von ≥ 40 mmHg definiert wurde. Die Nachbeobachtungszeit lag im Durchschnitt bei zwölf Monaten [22]. Auch Hiemann et al. bestätigen negative Erfahrungen. Nach Implantation einer Matrix P Prothese zur Rekonstruktion des rechtsventrikulären Ausflusstraktes bei einem 61-jährigen Mann wurde ein maximaler Druckgradient von 22 mmHg, eine maximale Flussgeschwindigkeit von 1,9 m/s und eine Insuffizienz hinsichtlich des Xenografts diagnostiziert. Mittels histologischer Untersuchung konnte eine Fibrose sowie Monozyteninfiltration festgestellt werden. Die Taschenklappen waren vollständig zerstört. Da keine Infektion nachgewiesen wurde, stand eine Fremdkörperreaktion als Ursache unter Verdacht [59].

Freiheit von Reoperationen der Matrixprothesen und Indikationen der Reoperation

Die Reoperationsrate aufgrund einer Klappenfunktionsstörung des RVOT lag in dieser Studie in der MG bei 33,3 % (6/18). Indikation für die Reoperationen war jeweils eine Stenose der Matrix P Prothese.

In der Studie von Perri et al. traten in 25 von 93 Fällen (27 %) Reinterventionen in der MG bei einer mittleren Nachbeobachtungszeit von zwölf Monaten auf. Zu 70 % war eine Stenose der Matrixprothese die Indikation für den zweiten Eingriff, zu 30 % deren Insuffizienz [22]. Zudem konnte keine Abhängigkeit der Funktionsstörung des RVOT von der Art der implantierten Matrixprothese nachgewiesen werden [22]. Weiterhin berichten Konertz et al. von einer Reoperationsrate in Höhe von 6,5 % (4/61) der Patienten mit angeborener Herzerkrankung (mittleres Alter: sieben Jahre), von denen neun eine Matrix P und 52 eine Matrix P Plus Prothese erhielten. Reoperationen fanden auch hier zu 75 % aufgrund einer Stenose statt. Der mittlere Nachbeobachtungszeitraum betrug 30,5 Monate [24]. Dagegen ermittelten Konertz et al. und Dohem et al. eine Freiheit von Reoperationen von 98 %. Während des sehr kurzen Follow Up – maximal zwei Jahre – kam es bei einem der 50 Patienten, denen eine Matrix P Prothese im Rahmen der Ross-Prozedur implantiert wurde, zu einer Nachoperation an der neuen Pulmonalklappe [21].

Trotz der geringen Zahl von nur 18 Patienten in der MG dieser Arbeit und einer sehr kurzen Nachbeobachtungszeit in anderen Studien traten verhältnismäßig viele Nachoperationen sowohl hier als auch in der Literatur auf. Als Ursache wurde überwiegend eine Stenose festgestellt. Jedoch sollte auch bedacht werden, dass 16 % der Patienten der Matrixgruppe in dieser Studie präoperativ von einer Aortenklappenendokarditis betroffen waren, was die Zahl an Reoperationen in dieser Gruppe negativ beeinflusst haben könnte.

Der Vergleich der Resultate der vorliegenden Studie mit den Ergebnissen der Literatur gestaltet sich insofern schwierig, da bisher vorwiegend Studien bezüglich des Outcomes der Implantation von Matrixprothesen bei Kindern vorliegen. Dagegen lag das mittlere Alter in der MG dieser Studie bei $51,28 \pm 9,96$ Jahren und in der HGG bei $46,60 \pm 9,89$ Jahren. Für Erwachsene wurde von positiven [21] und – einschließlich dieser Studie – von negativen Erfahrungen [59] berichtet, wobei nicht zu vernachlässigen ist, dass die sehr guten Ergebnisse aus den Studien der Teilhaber der Produktionsfirma stammen, welche die Matrixprothesen herstellt. Zudem liegt jeweils nur eine kurze Nachbeobachtungszeit vor. Daher sind Studien mit einem längeren Follow Up nötig.

Risikofaktoren für die Entwicklung einer Klappenfunktionsstörung der Matrixprothese

Hämodynamische Faktoren beeinflussen die Entstehung von Stenosen, denn ein hoher Druckgradient verbunden mit einem beschleunigten Blutfluss und einer steigenden Scherkraft stimulieren eine Proliferation der Intima des die Matrixprothese umgebenden Endothels [25]. Problematisch ist die relativ dicke und unflexible Form des Xenografts. Dadurch entstehen leicht Turbulenzen des Blutflusses am distalen Anastomosenende, gefolgt von möglichen Verletzungen der Intima, welche letztlich deren Proliferation verursachen [26]. Durch eine Änderung der chirurgischen Technik am distalen Ende der Matrixprothese kann diese Proliferation vermindert und so folglich auch die Gefahr für die Bildung von Obstruktionen reduziert werden [25].

Neben den beschriebenen hämodynamischen Faktoren werden immunologische Aspekte diskutiert. Perri et al. wie auch Hiemann et al. deuten wegen des Nachweises von Entzündungszellen auf eine Fremdkörperreaktion als Auslöser für die Entstehung von Klappenfunktionsstörungen der Matrixprothesen hin [22, 59]. Ursächlich dafür sind nicht zelluläre Komponenten in der Matrix wie Glykosaminoglykane, welche mittels Dezellularisationsprozess nicht eliminiert werden, da auf diese Weise nur zelluläre Komponenten aus der Matrix entfernt werden [60].

In der Literatur werden somit hämodynamische sowie immunologische Risikofaktoren für die Entstehung von Klappenfunktionsstörungen der Matrixprothesen diskutiert.

Hämodynamische Einflussfaktoren können mit der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Bei den Patienten, die nachoperiert werden mussten, lagen maximale Druckgradienten von 43-50 mmHg über der Matrixprothese vor sowie eine maximale Flussgeschwindigkeit von 3,1 m/s und 2,9 m/s. Da im Rahmen dieser Studie allerdings keine histologischen Untersuchungen durchgeführt wurden, kann ein immunologischer Einfluss nicht belegt werden.

Freiheit von Reoperationen des Homografts und Indikationen der Reoperationen

In der vorliegenden Arbeit ergab sich eine Freiheit von Reoperationen bezüglich des Homografts in Höhe von 100 %. Juthier et al. erwähnen diesbezüglich eine Rate in Höhe von 99,3 % nach fünf Jahren, 98,1 % nach zehn Jahren und 92,8 % nach 15 Jahren [14]. Hechadie et al. berichten von einer Freiheit in Höhe von 93-100 % bei Erwachsenen und 80-90 % bei Kindern [61]. Als Indikation für die Reoperation wird in der Literatur hauptsächlich eine Stenose [14] sowie eine Endokarditis genannt mit Folge einer Insuffizienz des Homografts [13].

Das Resultat dieser Studie sollte nicht für die Regel gehalten werden, jedoch mit einem sehr guten Erfolg des Homografts verbunden werden, welcher anhand der Ergebnisse anderer Studien auch bei längerer Nachbeobachtungszeit bestätigt wird. Im Folgenden sind die einflusstragenden Faktoren dargestellt.

Risikofaktoren für die Entwicklung einer Klappenfunktionsstörung des Homografts

Im Rahmen einer frühen postoperativen Entzündungsreaktion gegen den Homograft kommt es zu einer Anlagerung fibrösen Gewebes und dadurch zu einer Kompression des Transplantates von außen [17, 58]. Folglich bildet sich eine Stenose. Die Ursache für die Proliferation der Entzündungszellen ist allerdings noch unklar. Das Risiko für eine Reoperation aufgrund einer Klappenfunktionsstörung des Homografts ist umso höher, je kürzer die Dauer der Kryokonservierung [47], je länger die Aortenklammzeit während der Operation und für den Fall, in dem das Transplantat nicht in anatomischer Position implantiert wurde [61, 62]. Da in der Homograftpatientengruppe dieser Studie keine der genannten Risikofaktoren nachgewiesen werden können, erklärt diese Tatsache möglicherweise die hohe ermittelte Freiheit von Reoperationen in Höhe von 100 %.

Sowohl in der vorliegenden Arbeit als auch in der Literatur lieferte der Ersatz der Pulmonalklappe mit einer Matrixprothese prozentual schlechtere Ergebnisse in Bezug auf die Notwendigkeit von Reoperationen als der Ersatz mit einem Homograft.. Nach Implantation beider Spenderklappen treten Entzündungsreaktionen auf. Im Gegensatz zur Matrixprothese ist im Falle des Homografts der Mechanismus und die Bedeutung bezüglich des Auftretens

von Immunreaktionen noch nicht vollständig geklärt [58, 63]. Obwohl die Gruppe der Patienten mit implantierter Matrixprothese in dieser Arbeit nur sehr klein ist, musste die Matrixprothese bei 6/18 Patienten ausgetauscht werden. Jedoch lag bei 16 % der Patienten der Matrixgruppe präoperativ eine Aortenklappenendokarditis vor. Dieser Befund könnte die Reoperationsrate erheblich beeinflusst haben. In der großen Gruppe der Patienten mit Homograft war bei keinem Patienten eine Reoperation notwendig. Zur besseren Beurteilung ist eine Studie mit vergleichbar großen Patientengruppen sinnvoll.

Letalität

Die Überlebensrate in dieser Studie betrug in der Matrixgruppe 94,5 % und in der Homograftgruppe 98,1 %. Jedoch verstarben in der Homograftgruppe zwei der drei Patienten nicht kardial bedingt. Meyns et al. berichteten von einer Überlebensrate in Höhe von $96 \pm 1,2$ % nach einem Jahr, von $95 \pm 1,4$ % nach fünf Jahren und von $94 \pm 1,5$ % nach zehn Jahren bei den 301 Patienten ihrer Studie, denen zwischen 1989 und 2003 ein Homograft implantiert wurde [64]. In der Studie von Perri et al. verstarben vier der insgesamt 93 Patienten (4,3 %), welchen zur Rekonstruktion des RVOT eine Matrixprothese implantiert wurde. Dabei handelte es sich allerdings jeweils nicht um Todesfälle aufgrund von Klappenvitien [22].

Bei reiner Betrachtung der Prozentzahlen wurden höhere Überlebensraten der Patienten mit implantiertem Homograft festgestellt. Jedoch waren in der Matrixgruppe 16 % der Patienten präoperativ von einer Aortenklappenendokarditis betroffen. Dies könnte das Outcome der Matrixgruppe negativ beeinflusst haben. Zudem sollte nicht vernachlässigt werden, dass die Matrixgruppe in dieser Studie nur aus 18 Patienten besteht, und besonders, dass zwei der drei Patienten der Homograftgruppe nicht aufgrund eines Klappenvitiums des Homografts verstarben. Während der eine Patient der Homograftgruppe aufgrund einer erneut auftretenden Insuffizienz des Autografts verstarb, ereignete sich der Tod der anderen beiden Patienten der Homograftgruppe nicht kardial bedingt. Trotz der großen Patientenzahl der Homograftgruppe in der vorliegenden Arbeit oder beispielsweise auch in der Studie von Meyns et al. wurde eine sehr gute Überlebensrate erreicht.

Postoperativer klinischer Verlauf

Während die Homograftgruppe nach erfolgter Ross-Prozedur zu 80 % Stadium I und zu 20 % Stadium II der NYHA-Klassifikation zugeteilt wurde, wurde bei den Patienten der Matrixgruppe nur zu 50 % Stadium I, aber zu 40 % Stadium II ermittelt.

Der statistischen Auswertung entsprechend war der Unterschied zwischen Homograft- und Matrixgruppe in dieser Studie signifikant ($p= 0,03$). Aufgrund des deutlichen Unterschiedes der Patientenzahlen der beiden Gruppen (18 und 154) in der vorliegenden Arbeit wird die

ermittelte Signifikanz unter Vorbehalt betrachtet. Weiterhin muss bedacht werden, dass in der Matrixgruppe 15 der 18 Patienten in SK operiert wurden, welche auch ein schlechteres klinisches Outcome hatten als die Patienten, die in WE operiert wurden. In der Studie von Weymann et al. befanden sich die Patienten nach Ross-Prozedur mit Implantation einer Matrix P Plus Prothese als Spenderklappe für die Pulmonalklappe in NYHA Stadium I oder II [65].

4.3 Limitationen der Studie

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Analyse, wobei die Daten aus einer zentralen Verwaltungssoftware gewonnen wurden. Daher sind folgende Einschränkungen hinsichtlich der Aussagekraft im Gegensatz zu einer prospektiven Studie zu bedenken:

- Da bei einer prospektiven Studie ein engerer und intensiverer Kontakt zu dem Patientengut besteht, können Daten genauer und lückenloser gewonnen werden und der Zustand eines Patienten oder Komplikationen besser eingeordnet werden.
- Ein Fehlen von Daten durch versäumte Dokumentation oder Komplikationen in der Verwaltungssoftware kann trotz intensiver retrospektiver Datenerhebung nicht ausgeschlossen werden.

In dieser Arbeit wurde daher versucht mit einer sehr genauen und vollständigen Recherche den Einschränkungen einer retrospektiven Betrachtungsweise zu begegnen. Positive Aspekte der retrospektiven Analyse können unter anderem sein, dass es möglich ist Daten einzubeziehen, die bei festgelegten Untersuchungspunkten nicht berücksichtigt worden wären. Weiterhin ist diese patientenschonender verglichen mit patientenbegleitenden prospektiven Studien, welche eher als Belastung empfunden werden können.

Die Beurteilung der Aussagekraft der Ergebnisse der beiden Vergleiche – sowohl hinsichtlich der beiden Operationstechniken SK und WE als auch der Spenderklappen Matrixprothese und Homograft – gestaltet sich in dieser Studie aufgrund der jeweils unterschiedlich großen Patientengruppen äußerst schwierig. Zudem ist die Patientenzahl der Matrixgruppe in der vorliegenden Arbeit für eine aufschlussreiche Bewertung im Prinzip zu klein und die mittlere Nachbeobachtungszeit der Studie insgesamt zu kurz.

Es werden jeweils zwei Gruppen mit unterschiedlichen Vorbefunden verglichen. In der Homograftgruppe lagen dreimal so viele Patienten mit einer präoperativen schwergradigen AI vor und in der Matrixgruppe 50 % mit einer präoperativen schweren AS. In der Homograftgruppe wurden präoperativ nur 20 % mit einer schweren Stenose ermittelt. Weiterhin waren in der Matrixgruppe 16 % der Patienten präoperativ von einer Endokarditis betroffen. Aufgrund der Schwere des Krankheitsbildes hätte diese Patientengruppe aus der Analyse herausgenommen werden müssen. Hinsichtlich des Vergleichs SK Gruppe und WE Gruppe befanden sich in der SK Gruppe doppelt so viele Patienten mit einer präoperativen schweren AI. Dies könnte die Zahl der Todesfälle und Freiheit von Reoperationen deutlich beeinflusst haben.

Um exaktere Ergebnisse bezüglich des Outcomes beider Vergleiche zu erhalten, wären homogenere Gruppen sinnvoll und eine genauere Beschreibung des Patientenkollektivs bezüglich bestehender kardiovaskulärer Risikofaktoren und Vorerkrankungen wie Hyper-

tonie, COPD, Asthma oder Malignomen. Ebenso wäre eine Auflistung postoperativer Komplikationen wie unter anderem Nachblutungen, Infektionen, Wundheilungsstörungen, Sepsis oder Postkardiotomie Syndrom sinnvoll gewesen. Zudem ist die Genauigkeit der Auswertung insofern eingeschränkt, da nur die Daten von 7 der 15 Reoperationspatienten lückenlos vorliegen.

Letztlich liegt eine weitere Limitation der Studie darin, dass bezüglich der Reoperationen und Letalität keine telefonische Nachverfolgung durchgeführt wurde und, dass hinsichtlich des postoperativen klinischen Verlaufs keine klinische Visite erfolgte.

4.4 Schlussfolgerung

Beide Operationstechniken erzielen sehr gute Ergebnisse bezüglich der postoperativen Hämodynamik sowie der Letalität innerhalb des Zeitraums der Nachbeobachtung von im Mittel 6,2 Jahren. Hinsichtlich der Reoperationsraten wurden in dieser Studie geringfügig bessere Resultate in der WE Gruppe ermittelt. Bei einer Nachbeobachtungszeit \geq zehn Jahre überzeugt jedoch der Literatur zufolge die SK mit einer geringeren Reoperationsrate [13, 51]. Ursache hierfür sei eine späte Dilatation der neuen Aortenwurzel acht bis zehn Jahre postoperativ [13, 20, 51], welche als die am häufigsten beobachtete Komplikation besonders nach erfolgter Ross-Prozedur in WE [14, 66] auftrete und mit einer Insuffizienz des Autografts [53] und dadurch bedingter Nachoperation [17] einhergehe. Daher ist es aufgrund der zu kurzen Nachbeobachtungszeit von $6,2 \pm 4,5$ Jahren in dieser Studie nur bedingt möglich eine Aussage hinsichtlich des Einflusses der Operationstechnik in Bezug auf die Reoperationsrate zu treffen. Zudem ist möglicherweise die Fixier-Technik des Autografts, um einer Dilatation der Wurzel bei der WE entgegen zu wirken, entscheidend hinsichtlich der Freiheit von Reoperationen aufgrund einer Insuffizienz der Aortenklappe.

Für den Ersatz der Pulmonalklappe gilt den Resultaten dieser Studie sowie der Literatur zufolge der Homograft weiterhin als „Goldstandard“ [61]. Hinsichtlich des Outcomes der Implantation von Matrixprothesen zur Rekonstruktion des RVOT bei Erwachsenen sind weitere vergleichbare Langzeitstudien nötig. Sowohl bezüglich der Reoperationsrate als auch hinsichtlich des postoperativen NYHA Stadiums und der Hämodynamik wurden in der Homograftgruppe bessere Ergebnisse festgestellt als in der Matrixgruppe. Als Ursachen für den Misserfolg werden unter anderem immunologische und hämodynamische Faktoren in der Literatur diskutiert [25]. Die Überlebensrate ist unabhängig von der Art der verwendeten Ersatzklappe für die Pulmonalklappe in beiden Gruppen sehr gut.

Insofern keine Matrixprothese als Ersatzklappe für die Pulmonalklappe verwendet wird, fällt die Reoperationsrate nach Ross-Prozedur sehr gering aus. Den Resultaten der Literatur zufolge überzeugt die Ross-Prozedur mit ausgezeichneten hämodynamischen Ergebnissen sowie einer sehr guten 15-Jahre-Überlebensrate [17, 48]. Bezüglich der 15-Jahre-Überlebensrate kann die vorliegende Studie keine Informationen liefern, da die Nachbeobachtungszeit im Mittel nur bei 6,2 Jahren lag. Sie bestätigt allerdings sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Überlebensrate innerhalb des Zeitraums der Nachbeobachtung.

5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden 172 Patienten nachuntersucht, bei denen während des Zeitraums Juni 2007 bis Januar 2018 der Aortenklappenersatz entsprechend der Ross-Prozedur mit einem pulmonalen Autograft erfolgte. Ziel war es diesbezüglich den Einfluss der Operationstechnik SK und WE sowie der Art der verwendeten Ersatzklappe für die Pulmonalklappe Matrixprothese und Homograft zu ermitteln. Aufgrund des vorliegenden Homograftmangels sollte speziell eruiert werden, ob eine Matrixprothese das Niveau eines Homografts in Haltbarkeit und Funktion erreicht. Der Erfolg der Ross-Prozedur wurde primär anhand der Freiheit von Reoperationen aufgrund eines Klappenvitiums sowie der Letalität gemessen und sekundär anhand echokardiografischer Parameter sowie des postoperativen klinischen Verlaufs.

Mit 98,1 % liegen in der SK Gruppe sowie auch in der WE Gruppe sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Überlebensrate innerhalb des Zeitraums der Nachbeobachtung von $6,2 \pm 4,5$ Jahren vor. In dieser Studie wurde für die SK Gruppe eine Freiheit von Reoperationen von 93,2 % ermittelt und für die WE Gruppe eine Freiheit von Reoperationen von 96,1 %. Die hämodynamischen Parameter lagen postoperativ in beiden Gruppen im Normbereich. In der SK Gruppe wurde keine Dilatation der Aortenwurzel beobachtet, in der WE Gruppe dagegen eine leichte Dilatation. Aufgrund der Komplexität der Operationstechnik wurden in der SK Gruppe längere Dauern hinsichtlich der Operationsdauer, Aortenklemmzeit sowie Bypasszeit ermittelt. Postoperativ lag bei 74,1 % der Patienten der SK Gruppe und bei 95,5 % der Patienten der WE Gruppe NYHA Stadium I vor.

In der Homograftgruppe wurden mit einer Überlebensrate von 98,1 % tendenziell besserer Ergebnisse ermittelt als in der Matrixgruppe (Überlebensrate: 94,5 %). Die Reoperationsrate lag in der Homograftgruppe bei 0 %, in der Matrixgruppe bei 33 %. Bezüglich der postoperativen hämodynamischen Parametern lagen in der Matrixgruppe mit erhöhten Werten für V_{max} des RVOT sowie für dP_{max} des RVOT schlechtere Ergebnisse vor. 80 % der Patienten der Homograftgruppe und nur 50 % der Patienten der Matrixgruppe befanden sich in NYHA Stadium I postoperativ.

Das Operationsverfahren nach Ross stellt eine sehr gutes Verfahren bei indiziertem Ersatz der Aortenklappe – besonders für junge Erwachsene – dar. Dieser Studie zufolge erreicht die Matrixprothese aktuell nicht das Niveau eines Homografts als Spenderklappe für die Pulmonalklappe.

6 Literaturverzeichnis

1. lung, B. and A. Vahanian, *Epidemiology of acquired valvular heart disease*. Can J Cardiol, 2014. **30**(9): p. 962-70.
2. Boudoulas, H., M. Vavuranakis, and C.F. Wooley, *Valvular heart disease: the influence of changing etiology on nosology*. J Heart Valve Dis, 1994. **3**(5): p. 516-26.
3. Hartmann, F., et al., *Klinikleitfaden Kardiologie*. 6th ed. 2017, München: Elsevier.
4. Wilson, P.W., *An epidemiologic perspective of systemic hypertension, ischemic heart disease, and heart failure*. The American journal of cardiology, 1997. **80**(9): p. 3J-8J.
5. Members, W.G., et al., *Heart disease and stroke statistics—2006 update: a report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee*. Circulation, 2006. **113**(6): p. e85-e151.
6. lung, B., [*Epidemiology of valvular heart diseases in the adult*]. Rev Prat, 2009. **59**(2): p. 173-7.
7. Mewis, C. and B.M. Balletshofer, *Kardiologie compact: alles für Station und Facharztprüfung* 1st ed. 2004, Stuttgart: Thieme.
8. lung, B., et al., *A prospective survey of patients with valvular heart disease in Europe: The Euro Heart Survey on Valvular Heart Disease*. European Heart Journal, 2003. **24**(13): p. 1231-1243.
9. Brown, J.M., et al., *Isolated aortic valve replacement in North America comprising 108,687 patients in 10 years: changes in risks, valve types, and outcomes in the Society of Thoracic Surgeons National Database*. J Thorac Cardiovasc Surg, 2009. **137**(1): p. 82-90.
10. Dijkman, P.E., et al., *Decellularized homologous tissue-engineered heart valves as off-the-shelf alternatives to xeno- and homografts*. Biomaterials, 2012. **33**(18): p. 4545-54.
11. Pibarot, P. and J.G. Dumesnil, *Prosthetic heart valves: selection of the optimal prosthesis and long-term management*. Circulation, 2009. **119**(7): p. 1034-48.
12. Lentini, S., *Ross principle and concept of a living valve*. The Lancet, 2010. **376**(9740): p. 490-491.
13. Charitos, E.I., et al., *Long-term results of 203 young and middle-aged patients with more than 10 years of follow-up after the original subcoronary Ross operation*. Ann Thorac Surg, 2012. **93**(2): p. 495-502.
14. Juthier, F., et al., *Reoperation after the Ross procedure: incidence, management, and survival*. Ann Thorac Surg, 2012. **93**(2): p. 598-604; discussion 605.
15. Kallio, M., et al., *Long-term results of the Ross procedure in a population-based follow-up*. Eur J Cardiothorac Surg, 2015. **47**(5): p. e164-70.
16. Sievers, H., et al., *Midterm results of the Ross procedure preserving the patient's aortic root*. Circulation, 2003. **108** Suppl 1: p. li55-60.
17. Mokhles, M.M., et al., *Autograft and pulmonary allograft performance in the second post-operative decade after the Ross procedure: insights from the Rotterdam Prospective Cohort Study*. European Heart Journal, 2012. **33**(17): p. 2213-2224.

18. Sievers, H.H., et al., *A critical reappraisal of the Ross operation: renaissance of the subcoronary implantation technique?* Circulation, 2006. **114**(1 Suppl): p. I504-11.
19. Ross, D., *Pulmonary valve autotransplantation (the Ross operation)*. Journal of cardiac surgery, 1988. **3**(3S): p. 313-319.
20. Sievers, H.H., et al., *Fourteen years' experience with 501 subcoronary Ross procedures: surgical details and results*. J Thorac Cardiovasc Surg, 2010. **140**(4): p. 816-22, 822.e1-5.
21. Konertz, W., et al., *Hemodynamic characteristics of the Matrix P decellularized xenograft for pulmonary valve replacement during the Ross operation*. J Heart Valve Dis, 2005. **14**(1): p. 78-81.
22. Perri, G., et al., *Early and late failure of tissue-engineered pulmonary valve conduits used for right ventricular outflow tract reconstruction in patients with congenital heart disease*. Eur J Cardiothorac Surg, 2012. **41**(6): p. 1320-5.
23. Dohmen, P.M., et al., *Mid-term clinical results using a tissue-engineered pulmonary valve to reconstruct the right ventricular outflow tract during the Ross procedure*. Ann Thorac Surg, 2007. **84**(3): p. 729-36.
24. Konertz, W., et al., *Right ventricular outflow tract reconstruction with decellularized porcine xenografts in patients with congenital heart disease*. J Heart Valve Dis, 2011. **20**(3): p. 341-7.
25. Ruffer, A., et al., *Early failure of xenogenous de-cellularised pulmonary valve conduits--a word of caution!* Eur J Cardiothorac Surg, 2010. **38**(1): p. 78-85.
26. Dittrich, S., et al., *Comparison of porcine xenografts and homografts for pulmonary valve replacement in children*. The Annals of Thoracic Surgery, 2000. **70**(3): p. 717-722.
27. Vesely, I., *Heart valve tissue engineering*. Circ Res, 2005. **97**(8): p. 743-55.
28. Sievers, H.H., et al., *Major adverse cardiac and cerebrovascular events after the Ross procedure: a report from the German-Dutch Ross Registry*. Circulation, 2010. **122**(11 Suppl): p. S216-23.
29. Berdajs, D.A., et al., *Ross procedure: is the root replacement technique superior to the sub-coronary implantation technique? Long-term results*. Eur J Cardiothorac Surg, 2014. **46**(6): p. 944-51.
30. *12.6 Klappenöffnungsflächen*, in *Das Herzkatheterbuch*. 2014, Georg Thieme Verlag: Stuttgart.
31. Baumgartner, H., et al., *Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography*. European Heart Journal-Cardiovascular Imaging, 2017. **18**(3): p. 254-275.
32. Stout, K.K. and C.M. Otto, *Indications for Aortic Valve Replacement in Aortic Stenosis*. Journal of Intensive Care Medicine, 2007. **22**(1): p. 14-25.
33. Haude, M., *Management von Herzklappenerkrankungen*. Herz, 2017. **42**(8): p. 715-720.
34. Sündermann, S. and V. Falk, *Leitlinie „Management von Herzklappenerkrankungen“ der EACTS und ESC–Version 2017*. Zeitschrift für Herz-, Thorax-und Gefäßchirurgie, 2018. **32**(1): p. 48-58.
35. Köhler, E. and M.C. Tataru, *Klinische Echokardiographie*. 5th ed. 2001, Stuttgart: Thieme.

36. Flachskampf, F.A., *Kursbuch Echokardiografie*. 5th ed. 2012, Stuttgart: Thieme.
37. Zoghbi, W.A., et al., *Recommendations for noninvasive evaluation of native valvular regurgitation: a report from the American Society of Echocardiography developed in collaboration with the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance*. *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2017. **30**(4): p. 303-371.
38. Böhmeke, T. and A. Schmidt, *Checkliste Echokardiografie*. 5th ed. 2015, Stuttgart: Thieme.
39. Longobardo, L., et al., *Role of Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography Strain in the Assessment of Right Ventricular Systolic Function and Comparison with Conventional Parameters*. *J Am Soc Echocardiogr*, 2017. **30**(10): p. 937-946.e6.
40. Hoeper, M., et al., *Diagnostik und Therapie der pulmonalen Hypertonie*. *Der Kardiologe*, 2010. **4**(3): p. 189-207.
41. *19.4 Pulmonalklappenstenose*, in *Das Herzkatheterbuch*. 2014, Georg Thieme Verlag: Stuttgart.
42. Underwood, M.J., et al., *The aortic root: structure, function, and surgical reconstruction*. *Heart*, 2000. **83**(4): p. 376-80.
43. Anderson, R.H., *Clinical anatomy of the aortic root*. *Heart*, 2000. **84**(6): p. 670-673.
44. Berdajs, D., P. Lajos, and M. Turina, *The anatomy of the aortic root*. *Cardiovasc Surg*, 2002. **10**(4): p. 320-7.
45. Lang, R.M., et al., *Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging*. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*, 2015. **16**(3): p. 233-271.
46. Kouchoukos, N.T., *Should we still do the Ross operation in adults?* *Current Opinion in Cardiology*, 2011. **26**(2): p. 94-98.
47. Elkins, R.C., et al., *Ross operation: 16-year experience*. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2008. **136**(3): p. 623-630.e5.
48. Costa, F.D., et al., *20 years experience with the Ross operation in middle-aged patients: the autologous principle is still alive*. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2017. **24**(3): p. 348-354.
49. Mastrobuoni, S., et al., *The Ross procedure in young adults: over 20 years of experience in our Institution †*. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 2016. **49**(2): p. 507-513.
50. Karaskov, A., et al., *Results of the Ross procedure in adults: a single-centre experience of 741 operations*. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2016. **49**(5): p. e97-e104.
51. Charitos, E.I., et al., *Reoperations on the pulmonary autograft and pulmonary homograft after the Ross procedure: An update on the German Dutch Ross Registry*. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012. **144**(4): p. 813-21; discussion 821-3.
52. Hanke, T., et al., *Autograft regurgitation and aortic root dimensions after the Ross procedure: the German Ross Registry experience*. *Circulation*, 2007. **116**(11 Suppl): p. I251-8.

53. Skillington, P.D., et al., *The Ross procedure using autologous support of the pulmonary autograft: techniques and late results*. J Thorac Cardiovasc Surg, 2015. **149**(2 Suppl): p. S46-52.
54. Kouchoukos, N.T., et al., *The Ross procedure: long-term clinical and echocardiographic follow-up*. Ann Thorac Surg, 2004. **78**(3): p. 773-81; discussion 773-81.
55. David, T.E., et al., *The Ross procedure: outcomes at 20 years*. J Thorac Cardiovasc Surg, 2014. **147**(1): p. 85-93.
56. Luciani, G.B., et al., *Ross Operation in the Young: A Ten-Year Experience*. The Annals of Thoracic Surgery, 2005. **80**(6): p. 2271-2277.
57. Ootaki, Y., et al., *Ross procedure for patient with Marfan syndrome*. The Annals of thoracic surgery, 2014. **97**(6): p. 2186-2188.
58. Carr-White, G.S., et al., *Incidence, location, pathology, and significance of pulmonary homograft stenosis after the Ross operation*. Circulation, 2001. **104**(12 Suppl 1): p. I16-20.
59. Hiemann, N.E., et al., *Complete destruction of a tissue-engineered porcine xenograft in pulmonary valve position after the Ross procedure*. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2010. **139**(4): p. e67-e68.
60. Kasimir, M.T., et al., *Decellularization does not eliminate thrombogenicity and inflammatory stimulation in tissue-engineered porcine heart valves*. J Heart Valve Dis, 2006. **15**(2): p. 278-86; discussion 286.
61. Hechadi, J., et al., *Stentless xenografts as an alternative to pulmonary homografts in the Ross operation*. Eur J Cardiothorac Surg, 2013. **44**(1): p. e32-9.
62. Niwaya, K., et al., *Cryopreserved homograft valves in the pulmonary position: risk analysis for intermediate-term failure*. J Thorac Cardiovasc Surg, 1999. **117**(1): p. 141-6; discussion 46-7.
63. Baskett, R.J., et al., *Factors in the early failure of cryopreserved homograft pulmonary valves in children: Preserved immunogenicity?* The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 1996. **112**(5): p. 1170-1179.
64. Meyns, B., et al., *Factors influencing the survival of cryopreserved homografts. The second homograft performs as well as the first*. Eur J Cardiothorac Surg, 2005. **28**(2): p. 211-6; discussion 216.
65. Weymann, A., et al., *Clinical experience with expanded use of the Ross procedure: a paradigm shift?* Journal of Heart Valve Disease, 2010. **19**(3): p. 279.
66. Luciani, G.B., et al., *Fate of the aortic root late after Ross operation*. Circulation, 2003. **108 Suppl 1**: p. Ii61-7.

I Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AG	Autograft
AE	Aortenklappenendokarditis
AI	Aortenklappeninsuffizienz
Ann.	Annulus
AÖF	Aortenklappenöffnungsfläche
AS	Aortenklappenstenose
AV	Aortic valve (Aortenklappe)
AVA	Aortic valve area
BP	Biologische Prothese / Bioprothese
BMI	Body-Mass-Index
D	Diagnose
dPmax	Maximaler Druckgradient
EF	Ejektionsfraktion
EROA	Effective regurgitant orifice area
HGG	Homograftpatientengruppe
Insuff.	Insuffizienz
IVSD	Interventricular septum thickness at end-diastole (enddiastolische Septumddicke)
LVEDD	Left ventricular end-diastolic diameter (linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser)
LVOT	Left ventricular outflow tract (Linksventrikulärer Ausflusstrakt)
LVPWD	Left ventricular posterior wall thickness at end-diastole (Linksventrikuläre enddiastolische Hinterwanddicke)
MG	Matrixpatientengruppe
MI	Mitralklappeninsuffizienz
MP	Mechanische Prothese / Mechanoprothese
n.	nicht vorhanden
NYHA	New York Heart Association
ÖF	Öffnungsfläche
ÖF AG	Öffnungsfläche des Autografts
ÖF HG	Öffnungsfläche des Homografts
P.	Patient
PE	Perikarderguss

PHT	Pressure half-time (Druckabfallhalbwertszeit)
PI	Pulmonalklappeninsuffizienz
PKE	Pulmonalklappenersatz
PÖF	Pulmonalklappenöffnungsfläche
Pts	Patients (Patienten)
PV	Pulmonary valve (Pulmonalklappe)
RVol	Regurgitant Volume
RVOT	Right ventricular outflow tract (rechtsventrikulärer Ausflusstrakt)
Sin.	Sinus
StÜ	Sinutubulärer Übergang
SK	Subkoronartechnik
sPAP	Systolischer Pulmonalarteriendruck
Tab.	Tabelle
TAPSE	Tricuspid annular plane systolic excursion (Trikuspidalklappenannulus)
TEE	Transösophageale Echokardiografie
Ther.	Therapie
TI	Trikuspidalklappeninsuffizienz
TV	Tricuspid valve (Trikuspidalklappe)
VCW	Vena Contracta Width
Vmax	Maximale Flussgeschwindigkeit
WE	Wurzelsatztechnik
WEG	Wurzelsatztechnikpatientengruppe

II Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Normalwerte der Klappenöffnungsflächen der Aorten- und Pulmonalklappe	8
Tab. 2	Klassifikation der Aortenklappenstenose	8
Tab. 3	Indikationskriterien für einen Aortenklappenersatz bei Erwachsenen mit Aorten- .. klappenstenose	8
Tab. 4	Schweregradeinteilung der Aortenklappeninsuffizienz.....	9
Tab. 5	Indikationskriterien für einen Aortenklappenersatz bei Erwachsenen mit Aorten- .. klappeninsuffizienz	9
Tab. 6	Befundung der Ejektionsfraktion.....	10
Tab. 7	Befundung der TAPSE	11
Tab. 8	Schweregradeinteilung der Pulmonalklappenstenose	11
Tab. 9	Vermessung der Aortenwurzel eines Erwachsenen.....	12
Tab. 10	Erhebungsbogen.....	15
Tab. 11	Demographische Daten, Vorerkrankungen und -befunde, präoperatives	17
Tab. 12	OP-Indikationen	18
Tab. 13	Präoperative Echokardiografie-Parameter.....	19
Tab. 14	Klappeninsuffizienzen (präoperativ)	20
Tab. 15	Intraoperative Parameter.....	20
Tab. 16	Reoperations- und Todesfälle	21
Tab. 17	NYHA Stadium (postoperativ)	21
Tab. 18	Postoperative Echokardiografie-Parameter (zu Beginn der Nachbeobachtungs-... zeit)	22
Tab. 19	Postoperative Echokardiografie-Parameter (am Ende der Nachbeobachtungs- zeit)	22
Tab. 20	Klappenfunktionen (zu Beginn der Nachbeobachtungszeit).....	24
Tab. 21	Klappenfunktionen (am Ende der Nachbeobachtungszeit)	24
Tab. 22	Auftreten einer postoperativen Insuffizienz des Autografts in der SK Gruppe bei .. Patienten mit einem präoperativ vorliegendem Durchmesser des Annulus ≥ 27 mm ... oder LVEDD > 45 mm oder PHT < 500 ms	24
Tab. 23	Auftreten einer postoperativen Insuffizienz des Autografts in der WE Gruppe bei Patienten mit einem präoperativ vorliegendem Durchmesser des Annulus ≥ 27 mm ... oder LVEDD > 45 mm oder PHT < 500 ms	25
Tab. 24	Demographische Daten, Vorerkrankungen und -befunde, präoperatives.....	25
Tab. 25	OP Indikationen.....	26
Tab. 26	Präoperative Echokardiografie-Parameter.....	27
Tab. 27	Klappeninsuffizienzen (präoperativ)	27
Tab. 28	Intraoperative Parameter.....	28

Tab. 29	Reoperations- und Todesfälle	28
Tab. 30	NYHA Stadium (postoperativ)	29
Tab. 31	Postoperative Echokardiografie-Parameter (zu Beginn der Nachbeobachtungs-... zeit)	30
Tab. 32	Postoperative Echokardiografie-Parameter (am Ende der Nachbeobachtungs- zeit)	30
Tab. 33	Klappenfunktionen (zu Beginn der Nachbeobachtungszeit).....	31
Tab. 34	Klappenfunktionen (am Ende der Nachbeobachtungszeit)	31
Tab. 35	Reoperationen.....	32
Tab. 36	Präoperative Daten der Reoperationspatienten.....	33
Tab. 37	Intraoperative Daten der Reoperationspatienten	33
Tab. 38	Postoperative Daten der Reoperationspatienten	34

III Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Operationstechniken SK und WE	6
Abb. 2	Inspektion der Pulmonalklappe	7
Abb. 3	Präparation des Autografts.....	7
Abb. 4	Situs nach Entfernung der Aortenklappe und des Autografts.....	7
Abb. 5	Insertion des Autografts	7
Abb. 6	Implantierter Autograft.....	7
Abb. 7	Aortenwurzel	12
Abb. 8	Länglicher Schnitt durch den linken koronaren Sinus	12
Abb. 9	Darstellung der durchgeführten Untersuchungen	13
Abb. 10	Darstellung der Untersuchungen, die bei den Reoperationspatienten durch- geführt wurden	13

IV Danksagung

An erster Stelle möchte ich Hr. Prof. Dr. Rainer G. Leyh, Hr. Prof. Dr. Christoph Schimmer und Hr. Dr. Khaled Hamouda für die Überlassung des Themas sowie die sehr gute Betreuung der Promotion danken. Ein großes Dankeschön gilt besonders meiner Familie und vor allem meinem Opa, ohne deren Hilfe weder ein Studium noch die Durchführung einer Doktorarbeit möglich gewesen wären.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, die vorliegende Dissertationsarbeit selbstständig verfasst zu haben ohne unzulässige, fremde Hilfe. Es wurden keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet.

Unterschrift

Einverständniserklärung

Bei der statistischen Analyse der Daten für Frau Schießers Dissertation habe ich, Aziz Wahbi, ihr unterstützende Leistungen geboten. Hiermit erkläre ich, Aziz Wahbi, mich einverstanden, dass die gemeinsam berechneten statistischen Analysen in der Arbeit von Frau Schießers veröffentlicht werden.

Essen, den 25.1.2021

Aziz Wahbi