

Aus der Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie (HTG)
(Prof. Dr. med. I. Kutschka)
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Vergleich von digitalen und analogen Thoraxdrainagesystemen in der Herzchirurgie

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Sandra Hofmann

aus

Miltenberg

Göttingen 2022

Dekan: Prof. Dr. med. W. Brück

Betreuungsausschuss

Betreuer: Prof. Dr. med. I. Kutschka / PD Dr. med. H. Niehaus

Ko-Betreuer: PD Dr. med. T. Perl

Prüfungskommission

Referent/in: Prof. Dr. med. I. Kutschka / PD Dr. med. H. Niehaus

Ko-Referent/in:

Drittreferent/in:

Datum der mündlichen Prüfung:

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "Vergleich von digitalen und analogen Thoraxdrainagesystemen in der Herzchirurgie" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den

.....

(Unterschrift)

Die Daten, auf denen die vorliegende Arbeit basiert, wurden teilweise publiziert:

Saha S, **Hofmann S**, Jebran AF, Waezi N, Kutschka I, Friedrich MG, Niehaus H (2020):
Safety and efficacy of digital chest drainage units compared to conventional chest drainage
units in cardiac surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 31, 42-47

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1. Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Herzchirurgische Eingriffe	2
1.2.1 Koronare Bypassoperationen	2
1.2.2 Herzklappenoperationen	4
1.2.3 Kombinationseingriffe und Rhythmuschirurgie	6
1.2.4 Aortenchirurgie	6
1.3 Präoperative Diagnostik	7
1.4 Postoperativer Verlauf	7
1.5 Thoraxdrainagesysteme	8
1.5.1 Grundlagen und historische Aspekte	8
1.5.2 Analoge Systeme	9
1.5.3 Digitale Systeme	12
1.5.4 Vergleich der verwendeten Systeme	14
1.6 Ziel der Studie und Hypothese	15
2. Patienten und Methoden	16
2.1 Studiendesign	16
2.2 Patientenkollektiv	16
2.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien	16
2.2.2 Patientencharakteristika	17
2.2.3 Operative Eingriffe und Drainagen	17
2.2.4 Postoperativer Verlauf	17
2.3 Anwenderbefragung	17
2.4 Statistische Auswertung	18
3. Ergebnisse	19
3.1 Patienten	19
3.1.1 Patientencharakteristika	19
3.1.2 Komorbiditäten	20
3.1.3 Antikoagulation und Thrombozytenaggregationshemmung	21
3.2 Operationen	22
3.2.1 Durchgeführte Operationen	22
3.2.2 Intraoperative Parameter	24

3.3 Thoraxdrainagesysteme	24
3.3.1 Verwendete Drainagesysteme.....	24
3.3.2 Drainageverluste	25
3.3.3 Drainagebezogene Komplikationen	25
3.4 Postoperativer Verlauf	29
3.4.1 Bluttransfusionen.....	29
3.4.2 Postoperative Komplikationen	29
3.4.3 Krankenhausaufenthalt.....	30
3.5 Ergebnisse der digitalen Thoraxdrainagesysteme C051® und S201® (Firma ATMOS MedizinTechnik GmbH & Co. KG).....	31
3.5.1 Patientencharakteristika	31
3.5.2 Komorbiditäten	31
3.5.3 Antikoagulation und Thrombozytenaggregationshemmung	32
3.5.4 Operationen	33
3.5.5 Drainageverluste und drainagebezogene Komplikationen	33
3.5.6 Postoperativer Verlauf	34
3.6 Anwenderbefragung.....	35
4. Diskussion	39
5. Zusammenfassung.....	51
6. Anhänge.....	53
7. Literaturverzeichnis	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung möglicher Grafts bzgl. der Bypassoperation am Herzen	3
Abbildung 2: Intraoperative Darstellung eines biologischen Aortenklappenersatzes.....	5
Abbildung 3: Ein- und Zweikammersystem.....	10
Abbildung 4: Mehrkammersystem	11
Abbildung 5: Analoges Thoraxdrainagesystem Sentinel Seal®, Firma Medtronic GmbH.	12
Abbildung 6: Digitales Thoraxdrainagesystem Thopaz+® und entsprechendes Display, Firma Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG	13
Abbildung 7: Digitale Thoraxdrainagesysteme S201® und C051®, Firma ATMOS MedizinTechnik GmbH & Co. KG	14
Abbildung 8: Geschlechterverteilung	19
Abbildung 9: Komorbiditäten	20
Abbildung 10: Durchgeführte Operationen	23
Abbildung 11: Lokalisationen der Drainagen	24
Abbildung 12: Drainageverluste nach 6 und 24 Stunden postoperativ (ml).....	25
Abbildung 13: Drainagebezogene Komplikationen	26
Abbildung 14: Durch thrombotisches Material okkludiertes Drainagesystem – doppelter Konnektor.....	27
Abbildung 15: Durch thrombotisches Material okkludiertes Drainagesystem – einfacher Konnektor.....	28
Abbildung 16: Postoperative Komplikationen.....	30
Abbildung 17: Vergleich der digitalen und analogen Thoraxdrainagesysteme	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patientencharakteristika.....	20
Tabelle 2: Komorbiditäten.....	21
Tabelle 3: Gerinnungshemmende Medikation	22
Tabelle 4: Durchgeführte Operationen.....	23
Tabelle 5: Drainageverluste.....	25
Tabelle 6: Drainagebezogene Komplikationen	26
Tabelle 7: Bluttransfusionen	29
Tabelle 8: Postoperative Komplikationen.....	30
Tabelle 9: Krankenhausaufenthalt	31
Tabelle 10: Patientencharakteristika (ATMOS-Gruppe).....	31
Tabelle 11: Komorbiditäten (ATMOS-Gruppe).....	32
Tabelle 12: Gerinnungshemmende Medikation (ATMOS-Gruppe).....	32
Tabelle 13: Durchgeführte Operationen (ATMOS-Gruppe).....	33
Tabelle 14: Drainagebezogene Ergebnisse (ATMOS-Gruppe).....	34
Tabelle 15: Postoperative Komplikationen und Krankenhausaufenthalt (ATMOS-Gruppe).....	35
Tabelle 16: Charakteristika der teilnehmenden Anwender	36
Tabelle 17: Anwenderbewertung der verschiedenen Thoraxdrainagesysteme	37

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
BMI	Body-Mass-Index
cm H ₂ O	Zentimeter Wassersäule
COPD	chronisch obstruktive Lungenerkrankung
DGTHG	Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie
EKG	Elektrokardiogramm
HLM	Herz-Lungen-Maschine
LVEF	linksventrikuläre Ejektionsfraktion
OP	Operation
OPCAB	<i>off-pump artery bypass</i>
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
TEE	transösophageale Echokardiographie
y-Konnektor	doppelter Konnektor

1. EINLEITUNG

1.1 Hintergrund

Weltweit unterziehen sich derzeit über eine Million Menschen pro Jahr einem herzchirurgischen Eingriff (Dixon et al. 2014). Davon wurden in Deutschland im Jahr 2020 knapp 93.000 Herzoperationen von rund 1000 Herzchirurgen in 78 Fachabteilungen durchgeführt. Die am häufigsten durchgeführten herzchirurgischen Eingriffe sind Koronarbypassoperationen und Herzklappenoperationen mit jeweils etwa 35.000 Eingriffen pro Jahr in Deutschland (Beckmann et al. 2021). Die häufigsten zugrundeliegenden erworbenen Vitien der Herzklappen sind die Aortenklappenstenose und Mitralklappeninsuffizienz.

Wie auch in anderen Fachdisziplinen steigt der Anteil der Patienten, die noch im hohen Lebensalter operiert werden (> 80 Jahre), verbunden mit zunehmenden Komorbiditäten und einem entsprechend erhöhten Operationsrisiko.

Dennoch bleibt die Überlebensrate in der Herzchirurgie konstant bei etwa 97 % (Beckmann et al. 2021). Das ist nur durch die kontinuierliche Verbesserung der Therapieverfahren zu erreichen, unter anderem durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der operativen Verfahren sowie der perioperativen Therapie.

Eine der wesentlichen Neuerungen der letzten Jahre ist die zunehmende Digitalisierung, die mittlerweile auch in alle Bereiche der Medizin vorgedrungen ist (Cerfolio et al. 2010). Nicht nur aus dem Bereich des Datenmanagements ist sie nicht mehr wegzudenken, sondern auch aus der Medizintechnik. Ein Beispiel hierfür sind die in der vorliegenden Studie eingesetzten digitalen Thoraxdrainagesysteme. Im Bereich der Thoraxchirurgie werden diese Systeme bereits seit Längerem zunehmend eingesetzt und ersetzen die bis dato verwendeten analogen Drainagesysteme. Marktführende Systeme sind derzeit die Geräte der Firmen Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG (Schweiz) und ATMOS Medizintechnik GmbH & Co. KG (Deutschland).

Zum Einsatz von digitalen Drainagesystemen in der Thoraxchirurgie wurden bereits zahlreiche Studien durchgeführt, die mehrheitlich einen Vorteil der digitalen Systeme gegenüber den analogen Systemen nachweisen konnten: Als wesentliche Vorteile werden die Unabhängigkeit vom Zentralvakuum sowie die Miniaturisierung beschrieben (Kiefer 2016; Lijkendijk et al. 2015; Mier et al. 2010). Diese bieten eine vereinfachte Mobilisierung des Patienten (Barozzi et al. 2020; Pompili et al. 2014; Cerfolio et al. 2010). Weiterhin stellt die digitale Anzeige sowie kontinuierliche Erfassung der drainierten Sekret- und Luftmenge einen Vorteil aus Sicht der Anwender dar (Rathinam et al. 2011; Mier et al. 2010). Andere Untersuchungen konnten hingegen keinen signifikanten Vorteil der digitalen Systeme nachweisen, so dass hier die abschließende Beurteilung aussteht (Bertolaccini et al. 2011).

Im Bereich der Herzchirurgie lagen zum Zeitpunkt des Entwurfs der vorliegenden Studie noch keine Erfahrungsberichte vor. Nach wie vor gibt es hierzu weiterhin nur wenige Untersuchungen. Diese weisen ebenfalls auf einen positiven Effekt bei herzchirurgisch operierten Patienten hin (Barozzi et al. 2020).

1.2 Herzchirurgische Eingriffe

Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte der herzchirurgischen Eingriffe beschrieben, die bei den untersuchten Patienten durchgeführt worden sind. Hierbei wird der Fokus auf das intraoperative Vorgehen gelegt. Die Kenntnis des operativen Vorgehens dient dem besseren Verständnis des postoperativen Verlaufs sowie möglicher postoperativer Komplikationen.

1.2.1 Koronare Bypassoperationen

Die koronare Herzkrankheit wird durch atherosklerotische Veränderungen der Herzkranzgefäße verursacht. Es kommt zu einer Verengung der Gefäße und in der Folge zu einer unzureichenden Sauerstoffversorgung des Myokards. Klinische Symptome können Angina pectoris-Beschwerden sein. Als invasive Behandlungsoption steht die katheterinterventionelle Therapie sowie die Koronarbypassoperation zur Verfügung (Cremer und Schöttler 2010). Welches Verfahren angewendet wird, wird individuell entsprechend der Indikationsempfehlung der Leitlinien im interdisziplinären *Heartteam* entschieden. In Deutschland erfolgen derzeit jährlich etwa 35.000 isolierte und kombinierte koronare Bypassoperationen, was in etwa der Anzahl der Eingriffe an den Herzklappen entspricht (Beckmann et al. 2021).

Als Zugangsweg bei einer Koronarbypassoperation stellt die mediane Sternotomie nach wie vor den Goldstandard dar. Es erfolgt die Präparation der Gefäße, die als Bypässe (= *Grafts*) zur „Überbrückung“ der Stenose verwendet werden sollen (siehe Abbildung 1) (Schmid 2002). In der Regel werden heutzutage arterielle Bypassgrafts bevorzugt, da diese im Vergleich mit den venösen Grafts signifikant bessere Langzeitergebnisse gezeigt haben. Dies wurde bereits in den 1980er Jahren beschrieben (Loop et al. 1986). Bevorzugt werden die linke Arteria thoracica interna (= Arteria mammaria) und die Arteria radialis als arterielle Bypassgrafts eingesetzt (Schmid 2002). Dennoch werden weiterhin auch noch venöse Grafts verwendet, in der Regel die Vena saphena magna, da hier mehr Material zur Verfügung steht. Eine ausgeprägte Varikosis sowie eine Thrombose sollten vor Entnahme der Beinvenen ausgeschlossen werden (Cremer und Schöttler 2010).

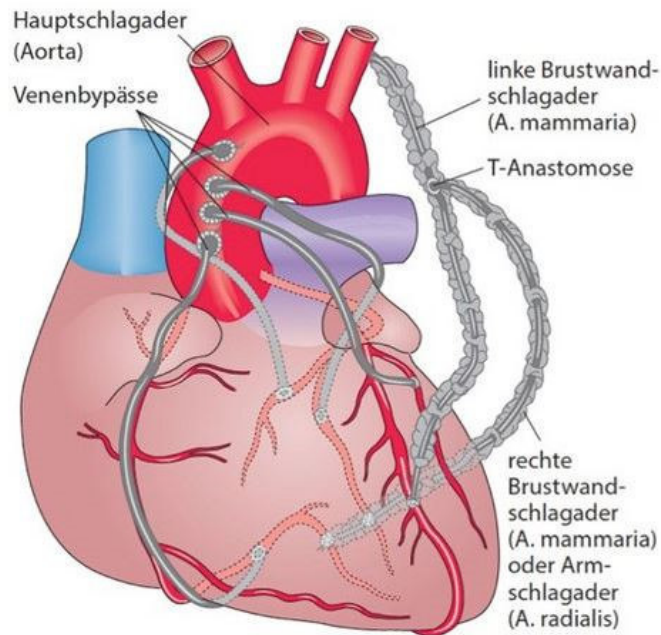


Abbildung 1: Schematische Darstellung möglicher Grafts bzgl. der Bypassoperation am Herzen (UMG HTG 2022)

Die Eingriffe werden in der Regel unter Verwendung einer Herz-Lungen-Maschine (HLM) durchgeführt. Nach Heparin-gabe wird der Blutkreislauf des Patienten über Kanülen im Bereich der Aorta ascendens und des rechten Vorhofs bzw. der Venae cavae an die HLM angeschlossen und anschließend das Herz nach Klemmung der Aorta durch eine Kardioplegielösung stillgelegt. Die extrakorporale Zirkulation an der HLM findet in der Regel in milder Hypothermie statt (Cremer und Schöttler 2010). In Abbildung 1 sind typische Verläufe der Bypassgrafts dargestellt, wobei die venösen Bypässe in der Regel proximal an die Aorta anastomosiert werden. Die A. mammaria bleibt in der Regel proximal in situ, d.h. geht aus der A. subclavia ab. Die A. radialis kann entweder proximal an die Aorta oder an die A. mammaria als sogenannte Y- oder T- Anastomose angeschlossen werden (Cremer und Schöttler 2010). Bei mehreren Anastomosen kann zwischenzeitlich erneut Kardioplegielösung verabreicht werden. Nach Fertigstellung der Anastomosen wird die Ausklemmung der Aorta aufgehoben. Es erfolgt die Anlage passagerer Schrittmacherdrähte sowie üblicherweise eine Flussmessung über den Grafts als Erfolgskontrolle. Die extrakorporale Zirkulation wird beendet und das Heparin wird durch Protamin antagonisiert. Nach Einlage der perikardialen und pleuralen Thoraxdrainagen wird der Thorax mittels Drahtcerclagen und anschließender Faszien- und Hautnaht schichtweise verschlossen (Ennker et al. 2002). Auf die verschiedenen möglichen Modifikationen, wie den Verzicht auf den Einsatz der HLM (OPCAB = *off-pump coronary artery bypass*) und / oder den Verzicht auf die Stilllegung des

Herzens (*Beating Heart*) sowie minimal invasive Zugangswege, wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen.

1.2.2 Herzklappenoperationen

Herzklappenerkrankungen können entweder angeboren oder erworben sein, z.B. durch degenerative Veränderungen. Mit zunehmendem Alter treten vermehrt erworbene Erkrankungen der Herzklappen auf. Dabei zählen die Aortenklappenstenose und Mitralklappeninsuffizienz zu den häufigsten Vitien. Durch eine zunehmende Klappendysfunktion kommt es zu einer progredienten Einschränkung der Herzleistung mit entsprechender Belastungsminderung der Patienten. Je nach Vitium unterscheidet sich die klinische Symptomatik.

In Deutschland werden derzeit jährlich etwa 35.000 Eingriffe an den Herzklappen durchgeführt (Beckmann et al. 2021). Je nach Befund können die Herzklappen rekonstruiert werden oder sie müssen ersetzt werden. Beim Herzklappenersatz können mechanische oder biologische Prothesen eingesetzt werden. Hierbei eignen sich die mechanischen Prothesen aufgrund ihrer unbegrenzten Haltbarkeit eher für jüngere Patienten. Dabei erfordern sie jedoch eine lebenslange Antikoagulation. Biologische Prothesen, die aus Rinderperikard oder Schweineherzklappen hergestellt werden, sind aufgrund ihrer eingeschränkten Haltbarkeit eher für ältere Patienten geeignet und haben den Vorteil, dass keine Antikoagulation erforderlich ist. Die Entscheidung für die am besten geeignete Prothese sollte individuell zusammen mit dem Patienten getroffen werden (Schmid 2002). Je nach Pathologie kann in einigen Fällen eine Rekonstruktion der Aortenklappe erfolgen, z.B. bei Aortenklappeninsuffizienz und gleichzeitiger Dilatation der Aorta ascendens.

Im Folgenden wird das operative Vorgehen beim Herzklappeneingriff am Beispiel der Aortenklappenstenose exemplarisch beschrieben. Auch hier stellt die mediane Sternotomie den Standardzugangsweg dar. Nach Heparin-gabe wird der Patient an die HLM angeschlossen. Nach Klemmung der Aorta und Kardioplegiegabe erfolgt die Eröffnung der Aorta ascendens. Die meist sklerosierten Klappentaschen werden reseziert. Anschließend erfolgt die Messung des Anulus zur Bestimmung der geeigneten Prothesengröße. Filzarmierte Nähte werden im Abstand der Filzplättchen (*pledgets*) vorgelegt und danach durch den Nahtring gezogen. Die Prothese wird in den Anulus heruntergeführt und die einzelnen Nähte verknotet (siehe Abbildung 2) (Sievers und Misfeld 2010).

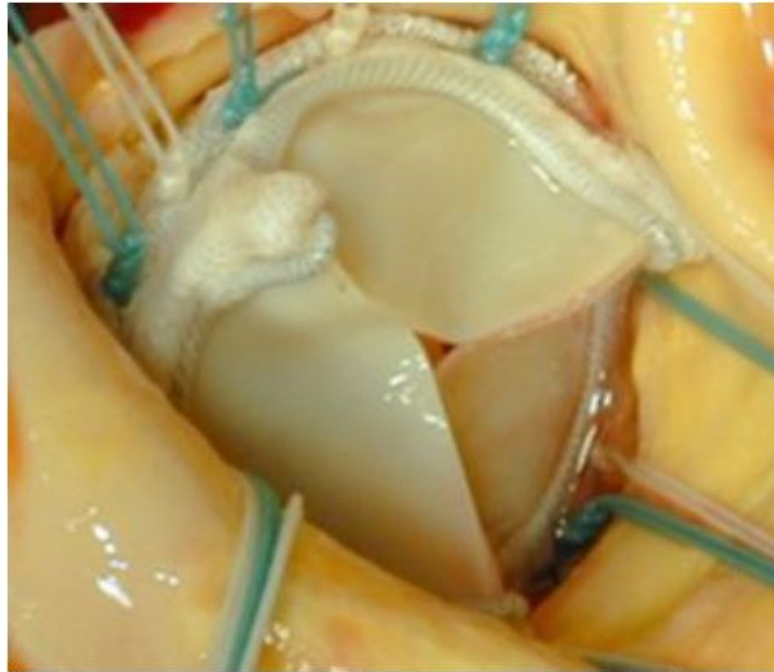


Abbildung 2: Intraoperative Darstellung eines biologischen Aortenklappenersatzes. Die Prothese wurde in Position gebracht und die filzarmierten Nähte verknotet (UMG HTG 2022).

Im Anschluss erfolgt der Verschluss der Aortotomie. Das Herz wird entlüftet und die Klemmung der Aorta aufgehoben. In der Regel wird eine intraoperative transösophageale Echokardiographie (TEE) zur Kontrolle der Entlüftung sowie der Position und Funktion der Klappenprothese durchgeführt. Nach ausreichender Reperfusion wird die extrakorporale Zirkulation beendet (Ennker et al. 2002).

Spezielle Aspekte der chirurgischen Versorgung der Mitralklappeninsuffizienz werden im Folgenden ergänzt. Bis vor einiger Zeit stellte die mediane Sternotomie auch bei dieser Operation den Standardzugangsweg dar. Seit 2017 erfolgen jedoch die meisten Mitralklappeneingriffe über eine rechtsseitige Thorakotomie, in der Regel als minimal invasiven Zugang (DGTHG 2021). Bei der Mehrheit der Patienten wird eine Rekonstruktion der Herzklappe durchgeführt. Lediglich bei etwa einem Drittel der Patienten ist ein Ersatz der Mitralklappe erforderlich (Beckmann et al. 2021). Rekonstruktionen der Mitralklappe erfolgen in den meisten Fällen mittels Ringimplantation im Bereich des Anulus, wodurch eine Reduktion des Durchmessers erreicht wird. In der Folge kommt es zu einer verbesserten Koaptation der Segel. Zusätzlich werden, je nach Pathologie, eine Vielzahl von verschiedenen Techniken angewendet, darunter Verschiebe- oder Reduktionsplastiken der Segel sowie Sehnenfädenersätze. Der Zugang zur Mitralklappe erfolgt über die Eröffnung des linken Vorhofs oder transseptal über eine rechtsseitige Atriotomie (Wahlers und Strauch 2010).

Eingriffe an der Trikuspidalklappe sind vergleichsweise selten und werden in der Regel in Kombination mit einem Mitralklappeneingriff durchgeführt. Bis auf seltene Ausnahmen erfolgt eine Rekonstruktion der Klappe mittels Ringimplantation. Alternativ wird vor allem im pädiatrischen Bereich anstelle des Rings im Bereich des Anulus eine doppelte „Raffnaht“ durchgeführt. Diese Methode bezeichnet man als DeVega-Plastik. Eingriffe an der Trikuspidalklappe können grundsätzlich ohne Gabe von Kardioplegie am schlagenden oder flimmernden Herzen durchgeführt werden (Ennker et al. 2002).

1.2.3 Kombinationseingriffe und Rhythmuschirurgie

Bei einigen Patienten mit entsprechender Indikation können die oben genannten Eingriffe auch in Kombination durchgeführt werden. Solche Kombinationseingriffe sind in der Regel komplexer als isolierte Operationen und daher mit einem erhöhten Operationsrisiko verbunden, sodass insbesondere bei Patienten mit erhöhtem perioperativem Risiko oftmals eine Kombination mit einem interventionellen Verfahren bevorzugt wird. Insbesondere bei kombinierten Herzklappeneingriffen ist die Reihenfolge der einzelnen Operationsschritte essentiell (Sievers und Misfeld 2010).

Wird bei einem Patienten eine Herzklappen- oder Koronarbypassoperation durchgeführt und bestehen zusätzlich Herzrhythmusstörungen, z.B. in Form von Vorhofflimmern, aber auch von ventrikulären Herzrhythmusstörungen, bietet sich ein simultaner rhythmuschirurgischer Eingriff an. Dabei werden entweder chirurgisch (durch Inzision) oder physikalisch (durch Anwendung von Hitze oder Kälte) Narben erzeugt, um kreisende Erregungen zu unterbrechen. Am häufigsten wird dies als sog. Maze-Prozedur im Bereich des linken Vorhofs durchgeführt, wodurch die Pulmonalvenen und das Herzohr ausgeschaltet werden, die zuvor Trigger für kreisende Erregungen waren. Dadurch soll zusätzlich die atriale Funktion wiederhergestellt werden (Schmid 2002).

1.2.4 Aortenchirurgie

Derzeit werden jährlich etwa 2500 Operationen an der Aorta ascendens in Deutschland durchgeführt; die Hälfte davon in Kombination mit einem Aortenklappeneingriff (Beckmann et al. 2021). Die Indikation ist ein Aneurysma im Bereich der Aorta ascendens und / oder des Aortenbogens. Meist weisen solche Aneurysmen zunächst keine Symptome auf und werden oft zufällig, z.B. im Rahmen der präoperativen Diagnostik für einen Eingriff an der Aortenklappe, entdeckt. Den Standardzugangsweg stellt eine mediane Sternotomie dar, auch eine partielle obere Sternotomie ist möglich. Je nach Lokalisation des Aneurysmas wird entweder ein suprakoronarer Ersatz der Aorta ascendens oder die Implantation eines

klappentragenden Conduits mit Reimplantation der Koronararterien durchgeführt. Bei Beteiligung des Aortenbogens ist während der Operation ein zwischenzeitlicher Kreislaufstillstand erforderlich (Solf und Gansera 2012).

1.3 Präoperative Diagnostik

Zur Vorbereitung auf die Operation erfolgte bei allen Patienten eine Reihe von präoperativen Untersuchungen, darunter eine Blutentnahme, ein 12-Kanal-Elektrokardiogramm (EKG) sowie ein Röntgenbild des Thorax. Zusätzlich wurden ein Lungenfunktionstest und eine Duplexsonographie der hirnversorgenden Gefäße durchgeführt. Bei allen Patienten im Alter von über 45 Jahren erfolgte in der Regel bereits in der zuweisenden Klinik eine Koronardiagnostik. Eine transthorakale, bzw. in Einzelfällen transösophageale, echokardiographische Untersuchung gehörte ebenfalls zum Standard. Dabei wurde unter anderem die Herzfunktion anhand der linksventrikulären Ejektionsfraktion (LVEF) bestimmt.

1.4 Postoperativer Verlauf

Nach dem herzchirurgischen Eingriff wurden alle Patienten auf der herzchirurgischen Intensivstation therapiert. Dort erfolgten eine körperliche Untersuchung, eine Blutgasanalyse, ein Aufnahmelabor, ein 12-Kanal-EKG sowie ein Röntgenbild des Thorax. Die medikamentöse Therapie wurde nach einem standardisierten Therapieplan durchgeführt, einschließlich Thrombozytenaggregationshemmung bzw. Antikoagulation nach Koronarby-pass- bzw. nach Herzklappenoperation.

Im Verlauf wurden regelmäßig arterielle Blutgasanalysen einschließlich Blutzuckermessungen durchgeführt. Die zentrale venöse Sauerstoffsättigung wurde zweimal täglich bestimmt. Die Patienten wurden einmal pro Tag physiotherapeutisch in Form von Mobilisation und Atemtraining behandelt.

Die Patienten wurden zum größten Teil auf der Intensivstation „nachbeatmet“, bei Kreislaufstabilität wurde eine zügige Entwöhnung vom Respirator angestrebt.

Die Drainageverluste wurden dokumentiert und die Drainagen bei einer Förderrate von weniger als 200 ml in 24 Stunden entfernt. Im Anschluss erfolgte eine Röntgenkontrolle des Thorax, um einen Pneumothorax oder Pleuraerguss auszuschließen (Stockhausen 2010).

Bei einem Hämoglobinwert von kleiner als 8,0 g/dl, bzw. nach klinischer Indikation, wurden Erythrozytenkonzentrate transfundiert. Im Fall einer relevanten postoperativen Nachblutung

wurden zusätzlich Thrombozytenkonzentrate verabreicht. Dies war indiziert, wenn ein Blutverlust von mehr als 200 ml innerhalb einer Stunde oder eine Dysfunktion der Thrombozyten vorlag (Meybohm et al. 2017). Ferner wurden postoperative Verlaufsdaten, einschließlich aufgetretener Komplikationen, dokumentiert.

Bei Kreislaufstabilität und Bluttrockenheit erfolgte die Verlegung auf die Intermediate Care bzw. Normalpflegestation in der Regel am ersten postoperativen Tag.

Durch den Einsatz der HLM und die erforderliche Antikoagulation kommt es nach herzchirurgischen Eingriffen vergleichsweise häufig zu postoperativen Nachblutungen (Pearse et al. 2015). In der Folge kann eine Rethorakotomie erforderlich sein. Weiterhin besteht bei herzchirurgischen Operationen grundsätzlich ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von zerebrovaskulären thrombembolischen Ereignissen (Aboyans et al. 2005). Ursächlich kommen intraoperative Manipulationen an der Aorta oder den Herzklappen in Frage, insbesondere wenn dort ausgeprägte Verkalkungen vorliegen. Bei bis zu sechs Prozent der am Herzen operierten Patienten ist postoperativ aufgrund von bradykarden Herzrhythmusstörungen die Implantation eines Herzschrittmachers erforderlich. Hierbei sind Patienten nach Herzklappeneingriffen häufiger betroffen (Al-Ghamdi et al. 2016).

Bei herzchirurgisch operierten Patienten kommt es postoperativ vermehrt zu nosokomialen Pneumonien (Strobel et al. 2016), zum einen bedingt durch die intraoperative Manipulation bzw. Kompression der Lungen, zum anderen durch die erforderliche möglicherweise protrahierte Nachbeatmung der Patienten. Eine weitere mögliche postoperative Komplikation stellt die Dialysepflichtigkeit dar (Mehta et al. 2006). Insbesondere bei hämodynamisch instabilen katecholaminpflichtigen Patienten ist das Risiko eines postoperativen Nierenversagens erhöht sowie verbunden mit einer intermittierenden Dialysepflichtigkeit.

1.5 Thoraxdrainagesysteme

Im Folgenden wird die Funktionsweise von Thoraxdrainagesystemen erläutert und die im Rahmen der vorliegenden Studie verwendeten analogen und digitalen Systeme vorgestellt.

1.5.1 Grundlagen und historische Aspekte

Bei nahezu allen Operationen mit Eröffnung des Thorax werden Thoraxdrainagen eingelegt. Diese leiten kontinuierlich Blut und Sekret sowie Luft nach außen ab und verhindern so einen Flüssigkeits- oder Luftverhalt im Thorax. Darüber hinaus dienen sie als „Blutungsmonitor“ und fördern die Wundheilung.

Standardmäßig werden hierzu sog. Bülau-Drainagen verwendet, die nach Gotthard Bülau, einem Lungenfacharzt aus Hamburg, benannt sind. Sie wurden erstmalig im Jahre 1875 zur Behandlung eines Patienten mit Pleuraempyem eingesetzt. Die Bülau-Drainage ist streng genommen kein Drainagesystem, sondern beschreibt eine Anwendungsmethode: Für ein funktionierendes Drainagesystem ist ein kontinuierlicher Sog erforderlich, damit Blut und Wundsekret sowie Luft adäquat aus dem Pleuraspalt abgeleitet werden können. Dieser wird durch das sog. Heberprinzip ermöglicht. Voraussetzung ist ein geschlossenes System zwischen dem Pleuraspalt des Patienten und einem Behälter, der sich außerhalb des Körpers befindet und unterhalb des Thorax des Patienten aufgestellt wird. Das Heberprinzip beschreibt, dass das Sekret durch den Höhenunterschied der beiden Niveaus der Schwerkraft nach aus dem Pleuraspalt des Patienten in den Behälter abgeleitet wird. Ein weiteres wichtiges Prinzip für die sichere Anwendung eines Drainagesystems ist das sog. Wasserschloss. Das Wasserschloss fungiert als Ventil und verhindert, dass abgeleitete Flüssigkeiten und Luft wieder retrograd in den Patienten gelangen. Eine mögliche Variante stellt das sog. Heimlich-Ventil dar. Dieses geht auf den amerikanischen Arzt Henry Heimlich zurück. Dabei wird die Ventilfunktion durch eine Gummilippe gewährleistet, die durch Kollabieren den Rückfluss von Sekret bzw. den Rückstrom von Luft in den Pleuraspalt verhindert (Kiefer 2016).

Bei den untersuchten Patienten wurden die Thoraxdrainagen am Ende der Operation in die Pleuren sowie das Perikard bzw. Mediastinum (substernal) eingelegt und einzeln oder über ein y-Stück an die ableitenden Systeme angeschlossen. Dabei wurden zwischen zwei bis vier Drainagen eingelegt, wobei maximal zwei Drainagen konnektiert und maximal zwei Systeme pro Patienten angeschlossen wurden. Es wurden analoge und digitale Systeme eingesetzt.

1.5.2 Analoge Systeme

Die derzeit in der Herzchirurgie am häufigsten eingesetzten analogen Drainagesysteme sind in verschiedenen Ausführungen erhältlich: Es gibt Systeme, die aus einem einzigen Behälter bestehen, die sog. Einkammersysteme (siehe Abbildung 3). Als Ventil kann zusätzlich ein Wasserschloss oder ein Heimlich-Ventil verwendet werden. Über eine Öffnung zur Atmosphäre wird sichergestellt, dass Sekret abfließen und Luft entweichen kann. Verbreiteter sind Zweikammersysteme (siehe Abbildung 3). Diese bestehen aus einem Auffangbehälter für Sekret und einem zweiten mit Wasser gefüllten Behälter. Dabei gelangen Flüssigkeiten und Luft zunächst in die Sekretflasche, wo die Flüssigkeiten verbleiben, während die Luft in die Wasserflasche weitergeleitet wird, die als Wasserschloss fungiert und

zur Atmosphäre offen ist. Bei diesem System kann die Sekretmenge genau abgelesen und eine Luftleckage beurteilt werden (Kiefer 2016).

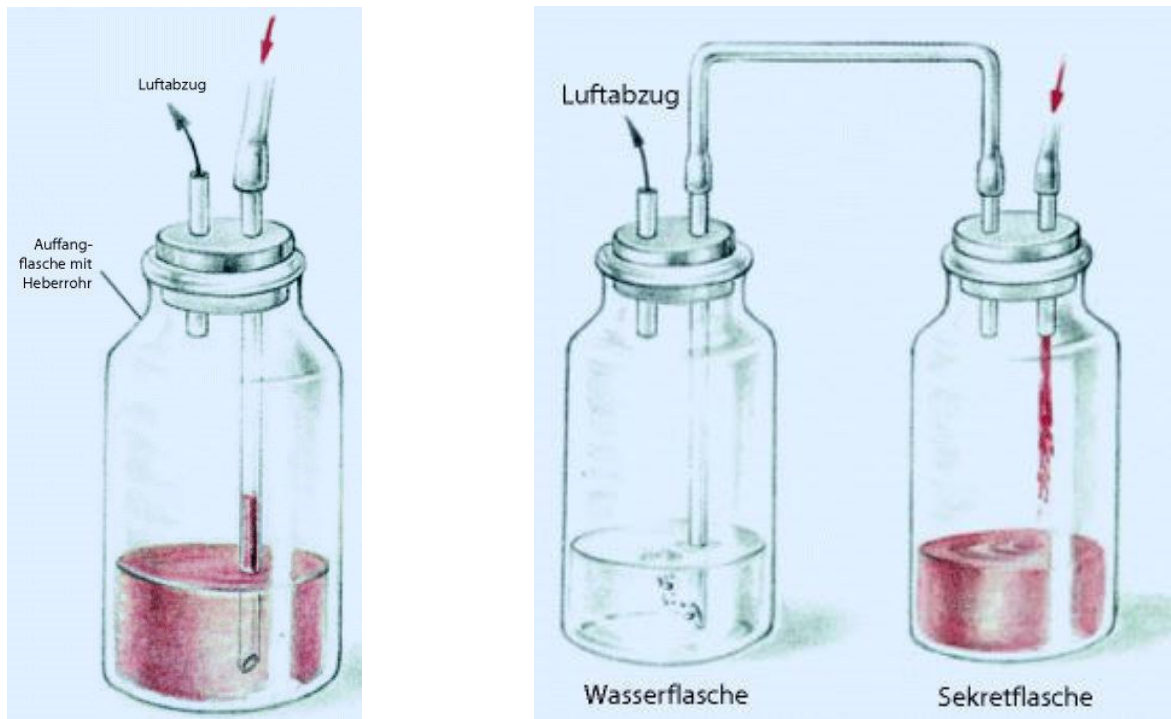


Abbildung 3: Ein- und Zweikammersystem (Heberer 1991)

Zur Drainage von größeren Flüssigkeitsmengen, wie bei einem Pleuraerguss, Hämatothorax, Emyem oder Chylothorax, reicht oftmals das Heberprinzip alleine nicht aus. Gerade bei herzchirurgischen Patienten mit vergleichsweise hoher postoperativer Blutungsneigung ist eine effektive Wunddrainage essentiell. Diese kann durch Anlegen eines Dauerzugs an das Drainagesystem erreicht werden, in der Regel durch Konnektion an das Zentralvakuum des Krankenhauses (Vakuum-Wandanschluss). Beim Zweikammersystem gibt es jedoch keine Möglichkeit den voreingestellten, oftmals zu starken Unterdruck von ca. -100 Zentimeter Wassersäule (cm H₂O), zu regulieren. Daher wurde das Mehrkammersystem entwickelt (siehe Abbildung 4). Durch den Einsatz einer dritten Flasche, an die das Zentralvakuum angeschlossen ist, kann der Sog im Drainagesystem reguliert und bei Bedarf angepasst werden. Der angestrebte Sog am Patienten liegt in der Regel bei etwa -20 cm H₂O, wohingegen das Zentralvakuum normalerweise auf etwa -100 cm H₂O eingestellt ist. Da der Umgang mit mehreren Flaschen in der Praxis sehr umständlich ist, werden heutzutage üblicherweise Mehrkammersysteme aus Kunststoff mit integrierten Kammern verwendet (Kiefer 2016).

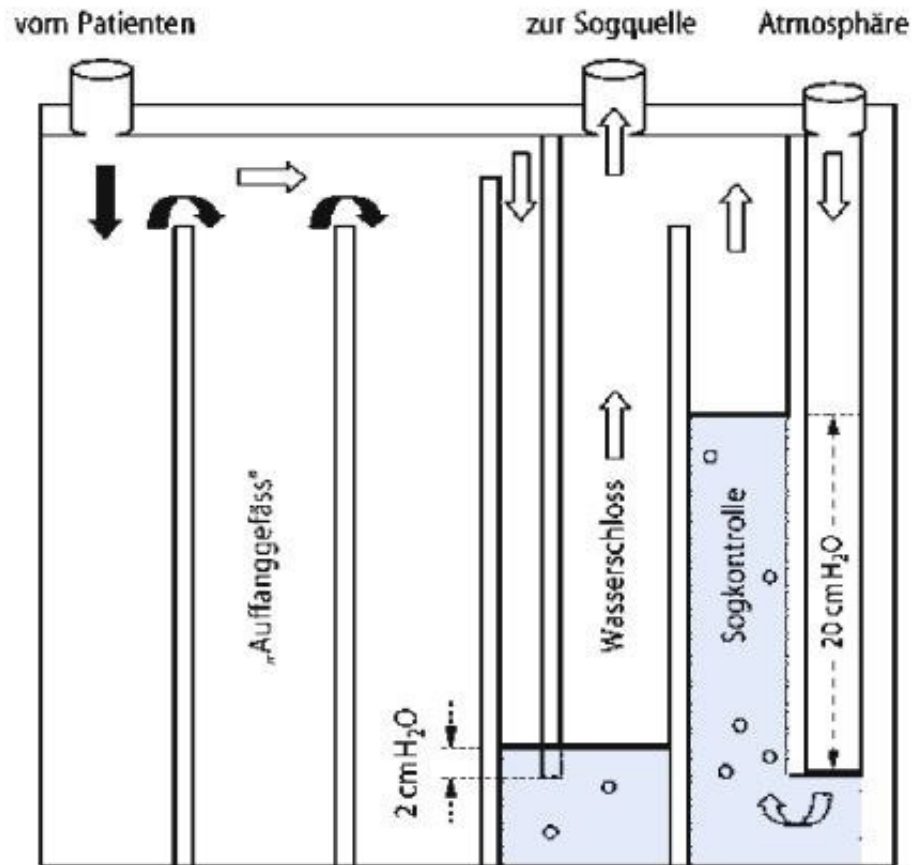


Abbildung 4: Mehrkammersystem (Gambazzi und Schirren 2003)

Bei den untersuchten Patienten mit den analogen Systemen (Gruppe A) wurde ein solches Mehrkammersystem verwendet. Dieses System (Sentinel Seal®, Medtronic GmbH) ist in Abbildung 5 dargestellt und verfügt über eine Sekretkammer, ein Wasserschloss und ein Wasservakuummeter.



Abbildung 5: Analoges Thoraxdrainagesystem Sentinel Seal®, Firma Medtronic GmbH (Cardinal Health 2022)

1.5.3 Digitale Systeme

2003 wurde im Bereich der Thoraxchirurgie ein Gerät (AIRFIX®) zur digitalen Erfassung ausschließlich der Luftleckage entwickelt (Anegg et al. 2006). Seit 2008 stehen neben den analogen Thoraxdrainagesystemen auch digitale Systeme, in der Form wie wir sie heute kennen, zur Verfügung (Linder 2014). Diese Systeme funktionieren unabhängig vom Zentralvakuum, da sie über ein integriertes Aggregat verfügen, das einen Sog erzeugen kann. Lediglich eine Stromquelle ist erforderlich, um die Geräte intermittierend aufzuladen. Sekrete und Luft gelangen über einen Schlauch in den Behälter des Drainagesystems, der mit einem mechanischen Ventil ausgestattet ist, um ein Rückfluss von Sekret oder Luft zu vermeiden. Bei Bedarf kann der Behälter entsorgt und ein neuer eingesetzt werden. Die abgeleitete Luft wird innerhalb des Gerätes zu einem kleinen Rädchen weitergeleitet, welches durch die Luft in Bewegung versetzt wird. Durch eine mathematische Formel wird anschließend die aktuell bestehende Luftleckage berechnet (Kiefer 2016).

Bei den digitalen Systemen wird ein Doppellumenschlauch verwendet, wobei über das größere Lumen Sekrete und Luft drainiert werden. Über das dünnere Lumen erfolgt die Druck-

messung an der Verbindungsstelle zwischen einliegender Drainage und dem Schlauchsystem. Sie verfügen zusätzlich über die Option, verschiedene Alarmfunktionen zu aktivieren (Kiefer 2016). Auf dem Display sind die aktuelle Luftleckage, die drainierte Flüssigkeitsmenge, der eingestellte Unterdruck sowie der Akkustand zu sehen. Bei Bedarf kann sich der Anwender über das Menü Graphen darstellen lassen, die beispielsweise die Entwicklung der Luftleckage oder die drainierte Sekretmenge während der letzten Stunden aufzeigen.

In der vorliegenden Studie wurden die folgenden digitalen Thoraxdrainagesysteme eingesetzt: Von der Firma Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG wurden die Geräte Thopaz® und Thopaz+® verwendet (siehe Abbildung 6) und von der Firma ATMOS MedizinTechnik GmbH & Co. KG die Geräte C051® und S201® (siehe Abbildung 7).



Abbildung 6: Digitales Thoraxdrainagesystem Thopaz+® und entsprechendes Display, Firma Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG (jeweils: Medela AG 2022)



Abbildung 7: Digitale Thoraxdrainagesysteme S201® und C051®, Firma ATMOS MedizinTechnik GmbH & Co. KG (MedicalExpo 2022)

1.5.4 Vergleich der verwendeten Systeme

Derzeit werden im klinischen Alltag sowohl analoge als auch digitale Thoraxdrainagesysteme verschiedener Hersteller eingesetzt. Die Systeme müssen bestimmten Anforderungen entsprechen: An erster Stelle steht dabei die Sicherheit der Patienten. Die Systeme müssen eine kontinuierliche und effektive Drainage von Sekret und Luft gewährleisten. Weiterhin sollten sie auch im Notfall einfach und schnell in Betrieb genommen werden können. Nach einer entsprechenden Einweisung sollte die Bedienung möglichst unkompliziert sein, damit ein sicherer Umgang mit den Systemen gewährleistet ist. Die Mobilität des Patienten sollte durch das Gerät möglichst wenig eingeschränkt werden. Zusätzlich sind eine möglichst geringe Geräuschkentwicklung sowie wenig Gewicht zur Verbesserung des Patientenkomforts wünschenswert. Nicht zuletzt sollte das Thoraxdrainagesystem kostengünstig und kontinuierlich verfügbar sein (Kiefer 2016).

Vor und Nachteile der analogen und digitalen Thoraxdrainagesysteme sind im Folgenden kurz zusammengefasst: Analoge Thoraxdrainagesysteme werden im klinischen Alltag bereits seit vielen Jahrzehnten eingesetzt. Die Anwendung ist grundsätzlich einfach und es liegt eine entsprechend große Erfahrung bei den Anwendern vor. Die digitalen elektrisch getriebenen Systeme stellen eine Weiterentwicklung der bekannten analogen Mehrkam-

mersysteme dar. Sie sind in der Regel kleiner und der Patient ist unabhängig vom Zentralvakuum, was einen Vorteil bezüglich der Mobilität der Patienten mit sich bringt. Das Ausmaß der Luftleckage kann bei den analogen Systemen nur über die Luftblasen im Wasserschloss abgeschätzt werden. Bei den digitalen Geräten hingegen kann der Luftdurchfluss abgelesen werden. Ebenso wird die Sekretmenge digital angezeigt. Bei Bedarf können Alarmfunktionen genutzt werden, die der Sicherheit der Patienten sowie der Arbeitserleichterung dienen (Kiefer 2016). Ein weiterer Vorteil, und Anlass der Einführung der digitalen Systeme in der eigenen Klinik, ist der kontinuierliche Sog, der bereits im Operationssaal und auf dem Transport auf die Intensivstation eine effektive Drainagefunktion sicherstellt. Bei den analogen Drainagesystemen wird während des Transports in der Regel kein externes Vakuum angeschlossen, so dass die Drainage während dieser vulnerablen Phase unzureichend sein kann. Ursache ist der sog. Siphoneffekt, der durch die Ansammlung von Flüssigkeit im Schlauchsystem entsteht, wodurch der gewünschte Sogeffekt nicht aufrechterhalten werden kann (Kiefer 2016).

1.6 Ziel der Studie und Hypothese

Im Bereich der Thoraxchirurgie liegen mit der Anwendung digitaler Thoraxdrainagesysteme bereits einige Erfahrungen vor. Dabei haben sich diese Systeme im Vergleich mit den konventionellen analogen Systemen aus verschiedenen Gründen als vorteilhaft erwiesen. Es ist daher möglich, dass auch Patienten nach herzchirurgischem Eingriff von der Anwendung dieser Systeme profitieren.

Wie bereits oben erwähnt, wurden die digitalen Systeme in der eigenen Klinik, insbesondere aufgrund der kontinuierlich gewährleisteten Sogwirkung, eingeführt und bevorzugt angewendet, ohne dass zu diesem Zeitpunkt ein Vorteil für die Anwendung bei herzchirurgischen Patienten nachgewiesen war. Entsprechende Untersuchungen hierzu lagen zum damaligen Zeitpunkt nicht vor. Ziel der vorliegenden Studie war daher die Evaluation der Anwendung von digitalen Thoraxdrainagesystemen im Vergleich zu den konventionellen analogen Systemen im Bereich der Herzchirurgie.

Die Hypothese lässt sich demnach, wie folgt, formulieren: „Digitale Thoraxdrainagesysteme sind in ihrer Anwendung beim herzchirurgisch operierten Patienten den analogen Systemen überlegen.“

2. PATIENTEN UND METHODEN

2.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine nicht randomisierte, retrospektive Beobachtungsstudie. Die Untersuchung umfasst insgesamt 291 Patienten, die sich im Zeitraum vom 26.06.2017 bis zum 15.12.2017 an der Universitätsmedizin Göttingen einem herzchirurgischen Eingriff unterzogen haben. Dabei wurden die Patienten entweder mit einem konventionellen analogen Thoraxdrainagesystem (n = 65) oder mit einem digitalen Thoraxdrainagesystem (n = 226) versorgt. Bei den digitalen Systemen wurde bei 200 Patienten ein Gerät der Firma Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG und bei 26 Patienten ein Gerät der Firma ATMOS MedizinTechnik GmbH & Co. KG eingesetzt. Aufgrund der geringen Patientenanzahl in der ATMOS-Gruppe, wurden die Ergebnisse dieser Gruppe gesondert ausgewertet und nicht in den Vergleich mit den analogen Systemen miteingeschlossen. Die vergleichende statistische Analyse umfasst daher 265 Patienten, darunter 65 Patienten mit einem analogen Gerät (Sentinel Seal®) (Gruppe A) und 200 Patienten mit einem digitalen System (Thopaz® und Thopaz+®) (Gruppe D).

Alle untersuchten Patienten wurden gleichermaßen entsprechend der institutseigenen Standards behandelt. Damit gab es keine Unterschiede in Bezug auf die prä-, intra- und postoperative Therapie. Die Datenakquise erfolgte auf der Basis der elektronischen Patientenakten sowie des Patientendatenmanagementsystems (PDMS) der Intensivstation.

Zusätzlich zu den klinischen Daten der untersuchten Patienten wurde bei Pflegenden und Ärzten eine Anwenderbefragung zum praktischen Umgang der o.g. Thoraxdrainagesysteme durchgeführt. Ergänzende eigene Anwenderbeobachtungen werden gesondert erläutert.

Die Studie wurde nach Erhalt des positiven Votums der Ethik-Kommission der Universitätsmedizin Göttingen entsprechend der Vorgaben der nationalen Datenschutzbestimmungen sowie der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

2.2 Patientenkollektiv

2.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

In die Untersuchung eingeschlossen wurden Patienten, die sich im genannten Zeitraum einem herzchirurgischen Eingriff unterzogen haben, darunter vorwiegend Koronarbypass- und Herzklappenoperationen sowie Kombinationseingriffe. Bei einer geringen Anzahl wurde zusätzlich ein rhythmuschirurgischer Eingriff, ein Vorhofohrverschluss oder ein

aortenchirurgischer Eingriff durchgeführt. Es wurden sowohl elektive als auch notfallmäßige Operationen berücksichtigt. Ausgeschlossen wurden minderjährige Patienten sowie Patienten, die postoperativ nicht auf der herzchirurgischen Intensivstation betreut wurden.

2.2.2 Patientencharakteristika

Erfasst wurden die Basisdaten der Patienten (Alter, Geschlecht, Body-Mass-Index (BMI) und linksventrikuläre Ejektionsfraktion (LVEF)) sowie relevante Komorbiditäten (arterielle Hypertonie, Vorhofflimmern, insulinpflichtiger Diabetes mellitus, chronische Nierenerkrankung, Hyperlipidämie, chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK), pulmonale Hypertonie, Endokarditis). Weiterhin wurde die gerinnungshemmende Medikation dokumentiert.

2.2.3 Operative Eingriffe und Drainagen

Die Art der durchgeführten operativen Eingriffe sowie die Zeiten an der HLM wurden erhoben. Die Anzahl und Fördermenge der Drainagen wurden ebenso erfasst wie drainagebedingte Komplikationen.

2.2.4 Postoperativer Verlauf

Die Art und Anzahl der Bluttransfusionen wurden dokumentiert sowie postoperativ aufgetretene Komplikationen (Rethorakotomie, zerebrovaskuläres Ereignis, Schrittmacherimplantation, nosokomiale Pneumonie und Nierenersatzverfahren). Darüber hinaus wurde die Dauer des intensiv- und gesamtstationären Aufenthaltes erfasst.

2.3 Anwenderbefragung

Zusätzlich zur Erfassung der klinischen Parameter wurde eine Anwenderbefragung durchgeführt. Dabei wurde der praktische Umgang mit den verschiedenen Drainagesystemen im klinischen Alltag bewertet.

Die pflegerischen und ärztlichen Mitarbeiter der Intensiv- und Normalstation sowie das OP-Personal konnten ihre Bewertung in Form eines Fragebogens abgeben (siehe Kapitel 6, Anhang 1). Hierbei wurde zunächst die Berufsgruppe, die Dauer der Berufserfahrung, das Geschlecht und das Alter der Teilnehmer abgefragt. Darauf folgten verschiedene Fragen bezüglich der Anwendung der einzelnen Thoraxdrainagesysteme. Diese beinhalteten die

folgenden Parameter: Inbetriebnahme, Konnektierung des Schlauchsystems, Sekretprobenentnahme, Gerätehalterung für die Bettbefestigung, Einschätzung der Sekretbeschaffenheit und Ablesbarkeit der Füllstandshöhen. Bei den elektrisch betriebenen Saugpumpen wurden zusätzlich Aussagen zur Touchbedienung des Displays, zu den graphischen Anzeigen, dem Nachtmodus sowie zu den Alarmen und dem elektrischen Anschluss abgefragt. Weiterhin konnten die Anwender den Gesamteindruck der Thoraxdrainagesysteme bewerten. Anschließend konnte ausgewählt werden, mit welchem Gerät sie in Zukunft gerne arbeiten würden.

Die Aussagen wurden dabei nach der folgenden Bewertungsskala getroffen: „äußerst unzutreffend“, „ziemlich unzutreffend“, „etwas unzutreffend“, „etwas zutreffend“, „ziemlich zutreffend“ und „äußerst zutreffend“. Durch die gerade Anzahl der Antwortmöglichkeiten wurden die Teilnehmer dazu angehalten, auch bei einer eher neutralen Bewertung, eine Tendenz anzugeben. Zudem gab es zu den einzelnen Systemen ein Freitext-Feld für eigene Anwendererfahrungen.

2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Datenauswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms IBM SPSS, Version 25 (Statistical Package for the Social Sciences, IBM Corporation, New York, USA). Die Tabellen und Graphiken wurden mit Hilfe von Microsoft Word 2016 und Microsoft PowerPoint 2016 erstellt. Die Testung auf Normalverteilung erfolgte mittels Shapiro-Wilk-Tests und Kolmogorov-Smirnov-Tests mit Lilliefors-Korrektur. Alle Analysen waren zweiseitig und die Nullhypothese (μ_0) wurde bei einem Signifikanzniveau von $< 5\%$ ($p < 0,05$) verworfen. Der Zusammenhang zwischen kategorialen Variablen wurde mittels Chi-Quadrat-Test und Fisher's exact-Test geprüft. Bei kontinuierlichen Variablen wurde der Mann-Whitney-U-Test angewendet. Die Daten sind als Median mit Quartilsabstand sowie als absolute Werte mit Prozentwerten angegeben, sofern nicht anders ausgewiesen. Signifikante Ergebnisse wurden in den Tabellen als fett gedruckte Zahlenwerte hervorgehoben.

Der Fragebogen zur Anwenderbewertung der verschiedenen Thoraxdrainagesysteme wurde mit Hilfe der modifizierten Likert-Skala ausgewertet (Cooper und Johnson 2016). Dabei wurden den sechs Antwortmöglichkeiten, von „äußerst unzufrieden“ bis „äußerst zufrieden“, die Zahlenwerte eins bis sechs zugeordnet. Die Ergebnisse wurden als Absolut- oder Prozentzahl sowie als Median mit Quartilsabstand angegeben.

3. ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie dargestellt. Insgesamt wurden 265 Patienten in die Studie eingeschlossen, darunter 65 Patienten, die mit einem analogen Drainagesystem versorgt wurden und 200 Patienten, bei denen ein digitales System verwendet wurde. Dabei werden die Ergebnisse beider Gruppen verglichen. Zur Anwendung kam das konventionelle analoge Thoraxdrainagesystem Sentinel Seal® (s.o.) (Gruppe A) und die digitalen Systeme Thopaz® und Thopaz+® (s.o.) (Gruppe D). Die Ergebnisse der ebenfalls eingesetzten digitalen Systeme C051® und S201® werden aufgrund der geringen Anzahl von hiermit versorgten Patienten (n = 26) im Kapitel 3.5 gesondert vorgestellt.

3.1 Patienten

3.1.1 Patientencharakteristika

Das mediane Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation lag bei 70 Jahren. Ca. 75 % der Studienteilnehmer waren männlich (siehe Abbildung 8). Die Patienten der Studie wiesen einen medianen BMI von 27,4 kg/m² auf, was einer Präadipositas entspricht. Die Patientencharakteristika sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

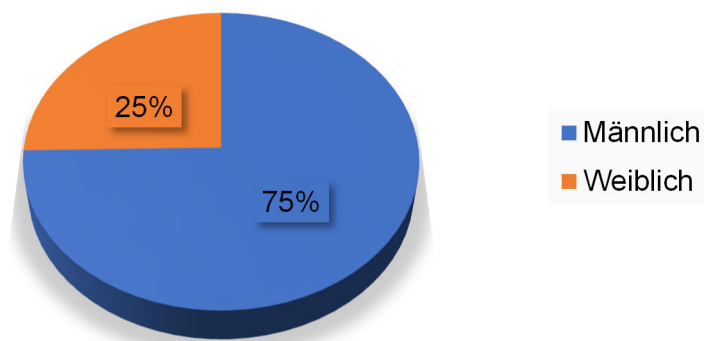


Abbildung 8: Geschlechterverteilung

Tabelle 1: Patientencharakteristika

	Gruppe A (n = 65)	Gruppe D (n = 200)	Gesamt (n = 265)	p-Werte
Alter (Jahre)*	72 (64-78)	70 (62-77)	70 (62-77)	0,167
Männlich (n (%))	46 (70,8)	152 (76,0)	198 (74,7)	0,414
BMI (kg/m ²)*	28,2 (25,7-31,1)	26,9 (24,2-31,6)	27,4 (24,6-31,5)	0,126
LVEF (%)*	50 (40-55)	50 (43-55)	50 (40-55)	0,237

*Angaben in Median (25.-75.Perzentile)

BMI: Body-Mass-Index, LVEF: linksventrikuläre Ejektionsfraktion

3.1.2 Komorbiditäten

Die Abbildung 9 zeigt die Verteilung der relevantesten Komorbiditäten im untersuchten Patientenkollektiv.

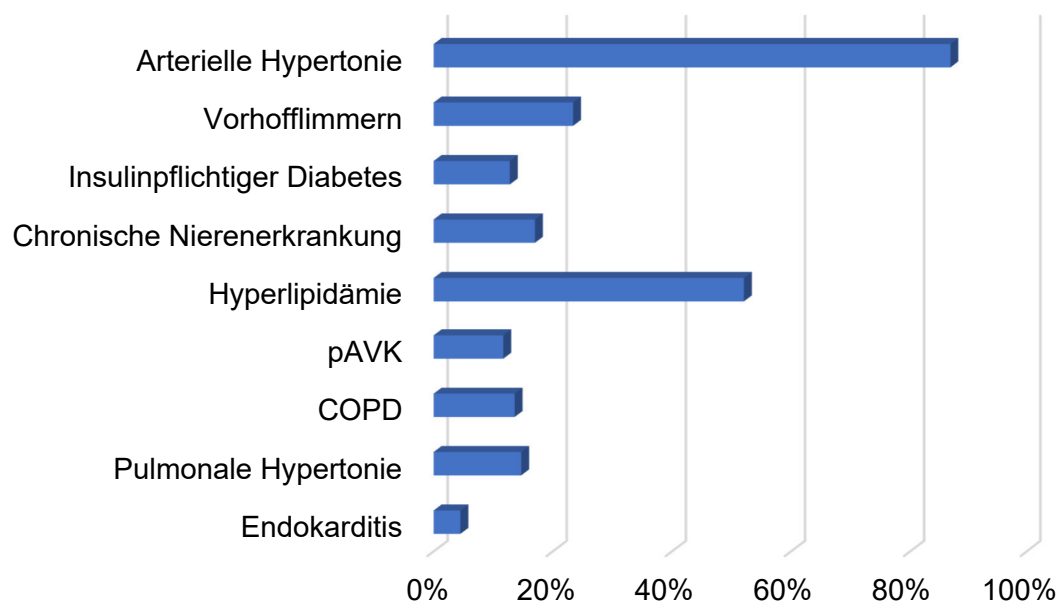


Abbildung 9: Komorbiditäten (gesamtes Patientenkollektiv, pAVK: periphere arterielle Verschlusskrankheit, COPD: chronisch obstruktive Lungenerkrankung)

Der Vergleich beider Gruppen ist in Tabelle 2 dargestellt. In Gruppe A lag ein signifikant höherer Anteil an Patienten mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit ($p = 0,007$) sowie chronisch obstruktiver Lungenerkrankung ($p = 0,038$) vor. Die Prävalenz der anderen erfassten Komorbiditäten war in beiden Gruppen vergleichbar (siehe Abbildung 9, Tabelle 2).

Tabelle 2: Komorbiditäten

	Gruppe A (n = 65)	Gruppe D (n = 200)	Gesamt (n = 265)	p-Werte
Arterielle Hypertonie	60 (92,3)	170 (85,0)	230 (86,8)	0,146
Vorhofflimmern	16 (24,6)	46 (23,0)	62 (23,4)	0,455
Insulinpflichtiger Diabetes mellitus	9 (13,8)	25 (12,5)	34 (12,8)	0,831
Chronische Nierenerkrankung	8 (12,3)	37 (18,5)	45 (17,0)	0,341
Hyperlipidämie	36 (55,4)	102 (51,0)	138 (52,1)	0,570
pAVK	14 (21,5)	17 (8,5)	31 (11,7)	0,007
COPD	14 (21,5)	22 (11,0)	36 (13,6)	0,038
Pulmonale Hypertonie	13 (20,0)	26 (13,0)	39 (14,7)	0,225
Endokarditis	6 (9,2)	6 (3,0)	12 (4,5)	0,077

Angaben in n (%)

COPD: chronisch obstruktive Lungenerkrankung, pAVK: periphere arterielle Verschlusskrankheit

3.1.3 Antikoagulation und Thrombozytenaggregationshemmung

Bei 87,2 % der Patienten war zum Zeitpunkt der Operation ein Thrombozytenaggregationshemmer in der Vormedikation enthalten. Hierunter war Acetylsalicylsäure mit 70,2 % am häufigsten vertreten. Clopidogrel wurde von 10,2 %, Ticagrelor von 6,4 % und Prasugrel von 0,4 % der Patienten eingenommen. Bezüglich der Antikoagulation wurden insgesamt 10,2 % mit neuen oralen Antikoagulantien und 8,7 % mit Phenprocoumon therapiert. Zwischen den Patientengruppen gab es diesbezüglich keine Unterschiede (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Gerinnungshemmende Medikation

	Gruppe A (n = 65)	Gruppe D (n = 200)	Gesamt (n = 265)	p-Wert
Acetylsalicylsäure	42 (64,6)	144 (72,0)	186 (70,2)	0,277
Clopidogrel	5 (7,7)	22 (11,0)	27 (10,2)	0,637
Ticagrelor	5 (7,7)	12 (6,0)	17 (6,4)	0,573
Prasugrel	1 (1,0)	0 (0,0)	1 (0,4)	0,245
Phenprocoumon	5 (7,7)	18 (9,0)	23 (8,7)	1,000
NOAK	9 (13,8)	18 (9,0)	27 (10,2)	0,344

Angaben in n (%)

NOAK: neue orale Antikoagulantien

3.2 Operationen

3.2.1 Durchgeführte Operationen

Wie in Abbildung 10 dargestellt, wurde bei dem größten Anteil der Patienten eine Koronar-bypassoperation (72,5 %) durchgeführt. Ein Eingriff an der Mitralklappe erfolgte bei 23,8 % und an der Aortenklappe bei 19,6 % der Patienten. Der Anteil der Operationen an der Trikuspidalklappe und Pulmonalklappe lag bei 10,9 % bzw. 0,8 %. 3,8 % der Patienten unterzogen sich während des Eingriffs zusätzlich einer Maze-Prozedur sowie 2,3 % einem Verschluss des Vorhofohres. In 2,3 % der Fälle wurde eine Operation an der Aorta ascens dens durchgeführt. Bei insgesamt 29,1 % der Patienten erfolgte ein Kombinationseingriff: dabei erfolgte bei 44,2 % eine Koronarby-passoperation und mindestens ein Herzklappen-eingriff, bei 37,7 % eine Kombination aus mindestens zwei Herzklappeneingriffen und bei 18,2 % ein sonstiger Kombinationseingriff. Hierdurch ergibt sich in Abbildung 10 und Ta-belle 4 ein Gesamtanteil von mehr als 100 %. In beiden Gruppen lagen bezüglich der durch-geführten Operationen keine Unterschiede vor (siehe Abbildung 10, Tabelle 4).

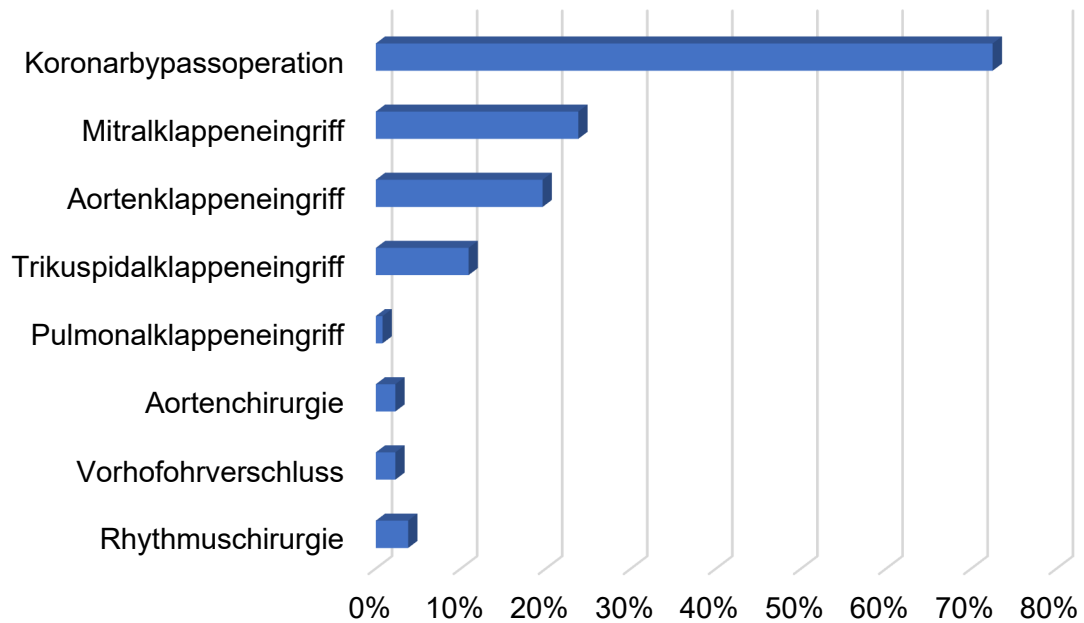


Abbildung 10: Durchgeführte Operationen (gesamtes Patientenkollektiv, Gesamtanteil von mehr als 100 % wegen Mehrfacheingriffen)

Ein Notfalleingriff musste bei 3,0 % der Patienten durchgeführt werden. Bei 1,5 % der Eingriffe handelte es sich um eine kardiale Reoperation. Auch hier gab es in den Gruppenverteilungen keine signifikanten Unterschiede (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Durchgeführte Operationen

	Gruppe A (n = 65)	Gruppe D (n = 200)	Gesamt (n = 265)	p-Werte
Koronarbypassoperation	50 (76,9)	142 (71,0)	192 (72,5)	0,425
Mitralklappeneingriff	18 (27,7)	45 (22,5)	63 (23,8)	0,405
Aortenklappeneingriff	12 (18,5)	40 (20,0)	52 (19,6)	0,859
Trikuspidalklappeneingriff	9 (13,8)	20 (10,0)	29 (10,9)	0,370
Pulmonalklappeneingriff	1 (1,5)	1 (0,5)	2 (0,8)	0,431
Aorten Chirurgie	2 (3,1)	4 (2,0)	6 (2,3)	0,637
Vorhofohrverschluss	1 (1,5)	5 (2,5)	6 (2,3)	1,000
Rhythmuschirurgie	2 (3,1)	8 (4,0)	10 (3,8)	1,000
Notfalloperation	2 (3,1)	6 (3,0)	8 (3,0)	1,000
Reoperation	2 (3,1)	2 (1,0)	4 (1,5)	0,253

Angaben in n (%)

3.2.2 Intraoperative Parameter

Bei 98,2 % der Patienten wurden die Eingriffe unter der Verwendung der HLM durchgeführt. Bei drei Patienten wurde eine Koronarbypassoperation ohne Verwendung der HLM (OPCAB = *off-pump coronary artery bypass*) durchgeführt. Bei zwei Patienten wurde eine sog. „Mini-HLM“ (MPC = *minimized perfusion circuits*) eingesetzt. Die Dauer der extrakorporalen Zirkulation war in Gruppe A im Vergleich zu Gruppe D verlängert (156,5 vs. 139,7 Minuten, $p = 0,027$). Die Klemmzeit ergab mit 89,3 Minuten in Gruppe A vs. 84,7 Minuten in Gruppe D keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,238$).

3.3 Thoraxdrainagesysteme

3.3.1 Verwendete Drainagesysteme

Insgesamt 65 Patienten wurden mit einem analogen Drainagesystem versorgt (Gruppe A). Bei 200 Patienten wurde ein digitales System eingesetzt (Gruppe D). Die mediane Anzahl von intraoperativ eingelegten Thoraxdrainagen lag bei zwei pro Patienten. Diesbezüglich unterschieden sich beide Gruppen nicht (2 (2-3), $p = 0,459$). Am häufigsten wurden die Drainagen substernal und in die linke Pleura eingelegt ($n = 227$ bzw. 206 Drainagen). Die Position in der rechten Pleura wurde 115 mal gewählt. 100 Patienten wurden mit einer infrakardialen Drainage versorgt (siehe Abbildung 11).

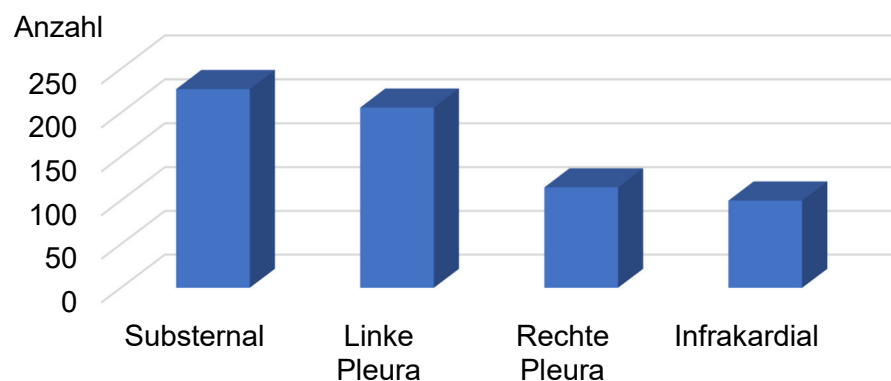


Abbildung 11: Lokalisationen der Drainagen (gesamtes Patientenkollektiv)

3.3.2 Drainageverluste

Zum Zeitpunkt sechs und 24 Stunden nach Ende der herzchirurgischen Operation wurde auf der herzchirurgischen Intensivstation der Füllstand im Thoraxdrainagesystem abgelesen. Die medianen Drainageverluste sechs Stunden postoperativ lagen bei 200 ml (120-330 ml) in Gruppe A und bei 250 ml (150-440 ml) in Gruppe D ($p = 0,043$). Damit lag die Fördermenge der digitalen Systeme innerhalb dieses Zeitraums signifikant über der geförderten Sekretmenge der analogen Systeme. Nach 24 Stunden lag die dokumentierte mediane Fördermenge bei 965 ml (410-1730 ml) in Gruppe A und bei 800 ml (483-1635 ml) in Gruppe D ($p = 0,741$). Damit unterschieden sich beide Gruppen bezüglich der Drainageverluste zu diesem Zeitpunkt nicht mehr (siehe Abbildung 12 und Tabelle 5).

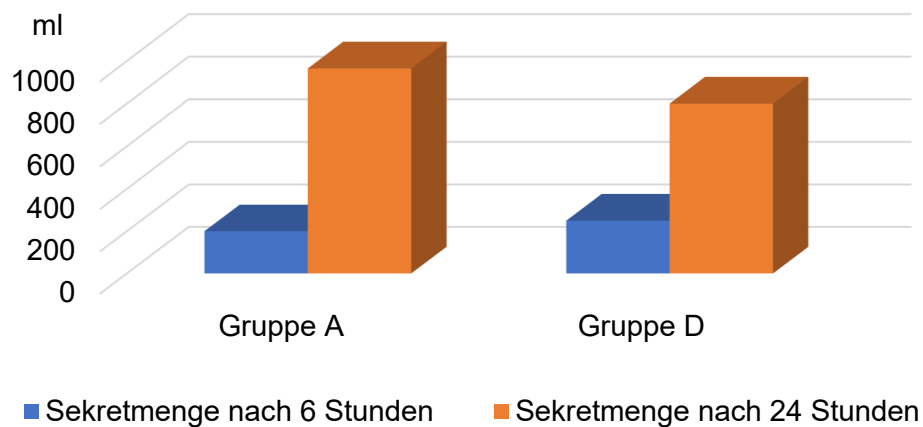


Abbildung 12: Drainageverluste nach 6 und 24 Stunden postoperativ (ml)

Tabelle 5: Drainageverluste

Fördermenge (ml)	Gruppe A (n = 65)	Gruppe D (n = 200)	Gesamt (n = 265)	p-Wert
nach 6 Stunden	200 (120-330)	250 (150-400)	250 (150-388)	0,043
nach 24 Stunden	965 (410-1730)	800 (483-1635)	805 (453-1645)	0,741

Angaben in Median (25.-75.Perzentile)

3.3.3 Drainagebezogene Komplikationen

In beiden Patientengruppen traten im postoperativen Verlauf verschiedene drainagebezogene Komplikationen auf: Dabei wurden technische Defekte, erforderliche Systemwechsel

sowie durch Thromben verursachte Lumeneinengungen / Verschlüsse des Drainagesystems dokumentiert (siehe Abbildung 13 und Tabelle 6).

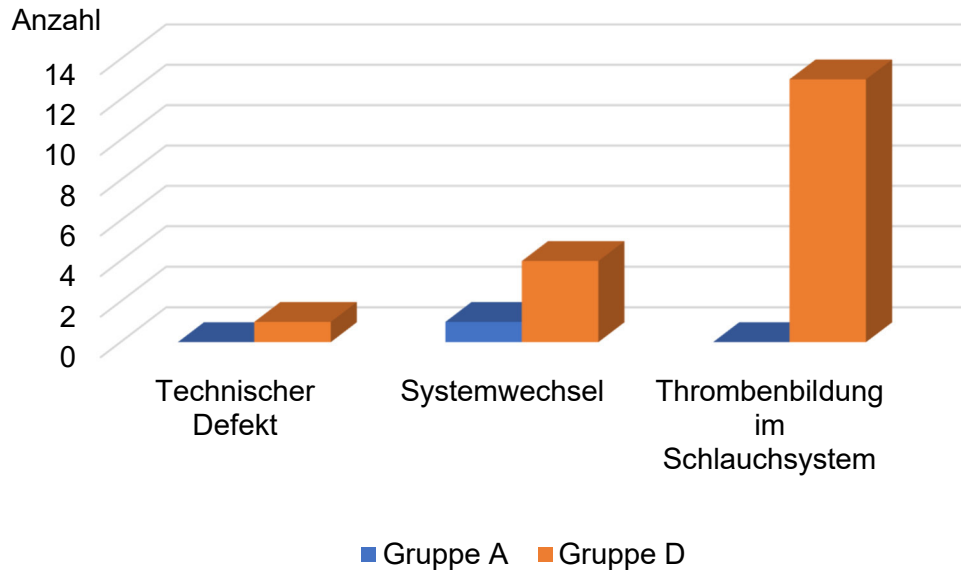


Abbildung 13: Drainagebezogene Komplikationen (Angabe in Anzahl der Patienten)

Tabelle 6: Drainagebezogene Komplikationen

	Gruppe A (n = 65)	Gruppe D (n = 200)	Gesamt (n = 265)	p-Wert
Thrombenbildung im Schlauchsystem	0 (0,0)	13 (6,5)	13 (4,9)	0,042
Technischer Defekt	0 (0,0)	1 (0,5)	1 (0,4)	1,000
Systemwechsel	1 (1,5)	4 (2,0)	5 (1,9)	1,000

Angaben in n (%)

Bei 13 Patienten der Gruppe D (6,5 %) kam es im postoperativen Verlauf zu Thrombenbildungen im Schlauchsystem und dadurch zu Einengungen bzw. vollständigen Okklusionen des Lumens. In Gruppe A wurde keine Thrombenbildung beobachtet. Damit liegt ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Patientengruppen vor ($p = 0,042$).

In den folgenden Abbildungen sind die thrombotischen Ablagerungen in den Drainagesystemen exemplarisch dargestellt (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15).

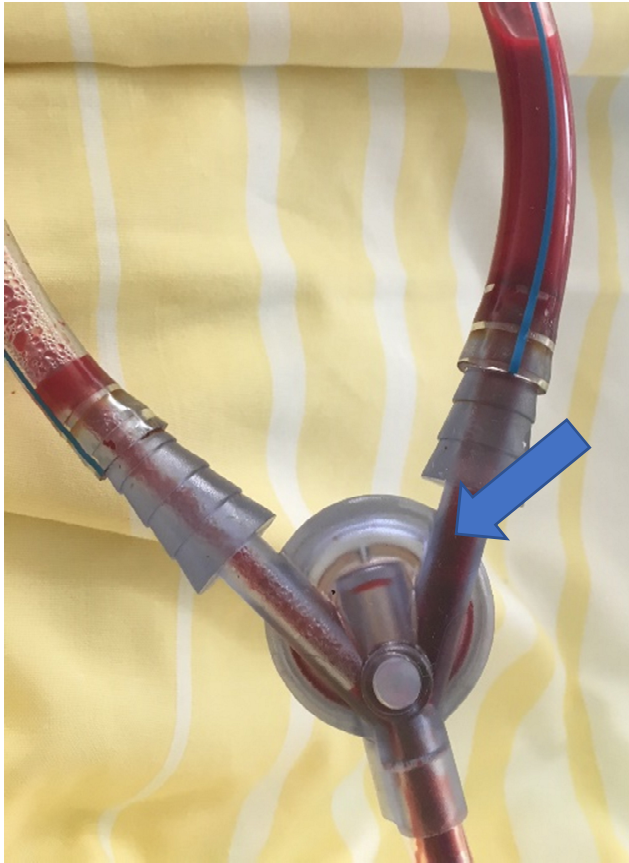


Abbildung 14: Durch thrombotisches Material okkludiertes Drainagesystem – doppelter Konnektor (Auf der rechten Seite ist deutlich erkennbar, dass sich blutiges Sekret oberhalb des doppelten Konnektors angesammelt hat, da sich im Konnektor thrombotisches Material gebildet hat und das Sekret daher nicht adäquat abfließen kann. Auf der linken Seite ist nur sehr wenig Sekret im Drainageschlauch, da dieses regelrecht abfließen kann. Ein Thrombus ist hier nicht zu sehen.)

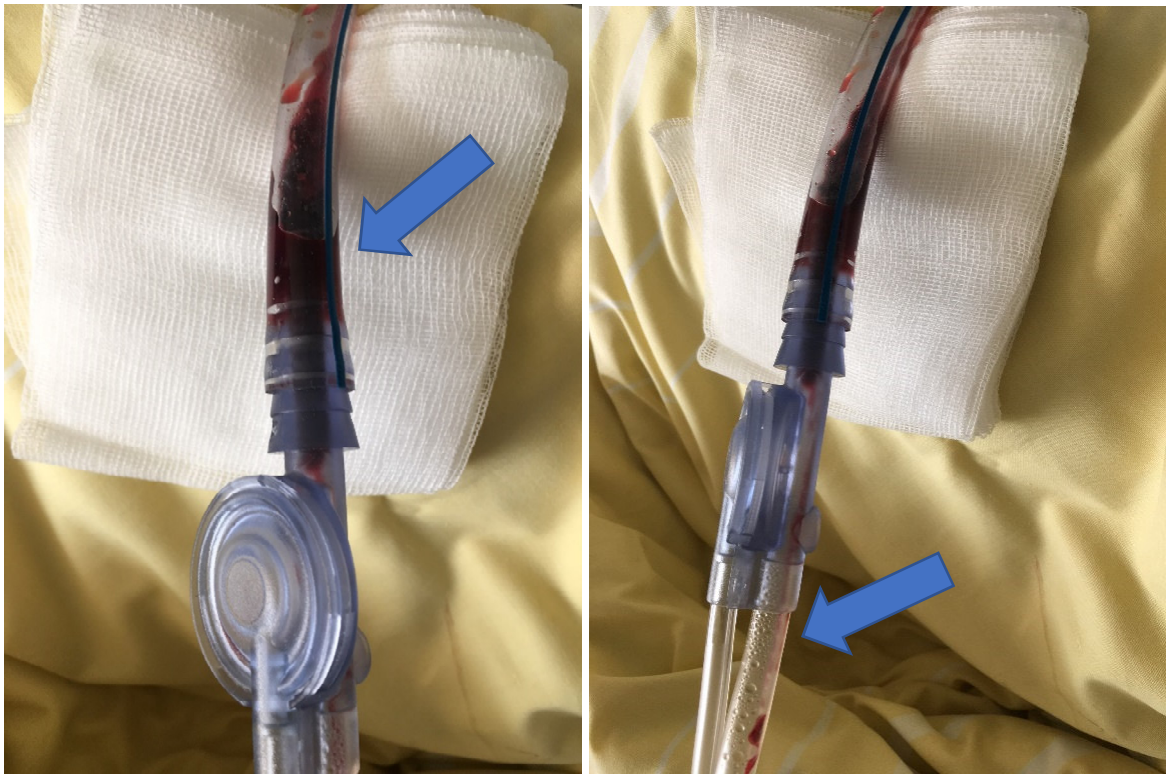


Abbildung 15: Durch thrombotisches Material okkludiertes Drainagesystem – einfacher Konnektor (Hier ist ein Drainagesystem mit einem einzelnen Konnektor dargestellt. Es ist ein Thrombus innerhalb der distalen Drainage zu erkennen, der bis in den Konnektor reicht. Anm.: In der Seitenansicht ist distal des Konnektors der Doppellumenschlauch des digitalen Systems zu sehen. Über den dickeren Schlauch wird das Sekret drainiert. Der Schlauch mit dem kleineren Lumen dient unter anderem der pleuranahen Druckmessung.)

Des Weiteren kam es bei einem Patienten (0,4 %) der Gruppe D zu einem technischen Defekt. Hier wurde eine Luftleckage von 200 ml pro Minute auf dem Display angezeigt, obwohl kein patientenbezogenes Luftleck bestand. Es stellte sich heraus, dass ein technischer Defekt, der das Verbindungsstück betraf, vorlag. Abgesehen von diesem Fall gab es bei den anderen Patienten keinen Hinweis auf das Vorliegen einer relevanten Luftleckage.

Bei insgesamt fünf Patienten (1,9 %) wurde ein Systemwechsel vorgenommen. Als Systemwechsel wurde ein kompletter Austausch des Systems, bis auf die einliegenden Thoraxdrainagen, definiert. Es gab vier Systemwechsel aufgrund von durch thrombotisches Material okkludierten Schlauchsystemen in der Gruppe D und einen Wechsel zur Trennung der Drainagen in der Gruppe A. Bei einem Patienten aus der digitalen Drainagegruppe kam es

postoperativ im Rahmen einer relevanten Nachblutung zu einer Okklusion des Schlauchsystems, woraufhin ein Systemwechsel erfolgte. Bei diesem Patienten wurde anschließend eine Rethorakotomie durchgeführt.

3.4 Postoperativer Verlauf

3.4.1 Bluttransfusionen

Bei der postoperativen Gabe von Blutprodukten (Erythrozyten- und Thrombozytenkonzentrate) gab es keine Unterschiede zwischen beiden Patientengruppen (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Bluttransfusionen

	Gruppe A (n = 65)	Gruppe D (n = 200)	Gesamt (n = 265)	p-Wert
Erythrozytenkonzentrate	2 (0-4)	2 (0-4)	2 (0-4)	0,315
Thrombozytenkonzentrate	0 (0-2)	0 (0-0)	0 (0-2)	0,369

Angaben in Median (25.-75.Perzentile)

3.4.2 Postoperative Komplikationen

Die postoperativ aufgetretenen Komplikationen sind in Abbildung 16 und Tabelle 8 zusammengefasst. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

Bei insgesamt zehn Patienten wurde eine Rethorakotomie durchgeführt. Bei sechs Patienten kam es zu einem zerebrovaskulären Ereignis. Die Implantation eines permanenten Herzschrittmachers war bei zwölf Patienten erforderlich. Eine Pneumonie wurde bei 33 Patienten im postoperativen Verlauf diagnostiziert. Ein Nierenersatzverfahren kam bei 15 Patienten auf der herzchirurgischen Intensivstation zum Einsatz.

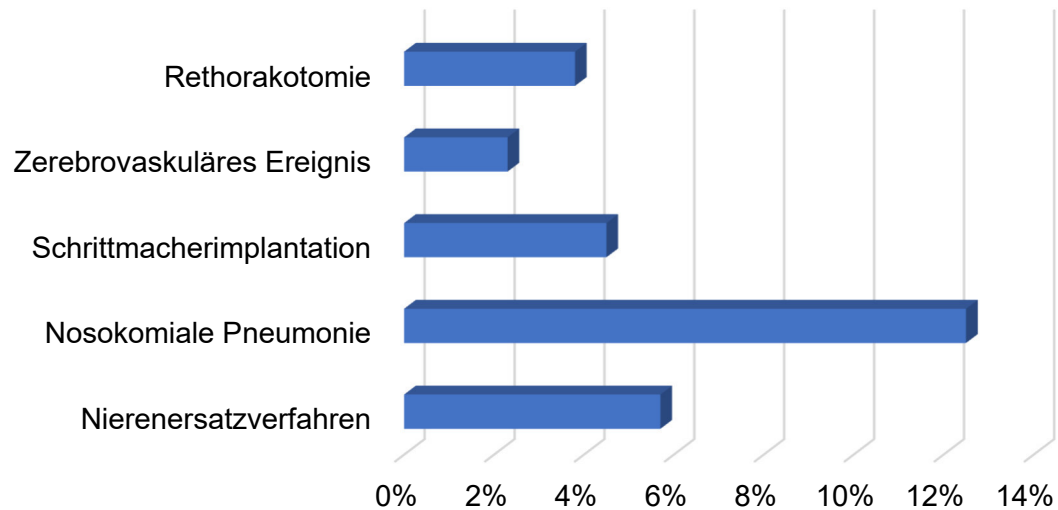


Abbildung 16: Postoperative Komplikationen (gesamtes Patientenkollektiv)

Tabelle 8: Postoperative Komplikationen

	Gruppe A (n = 65)	Gruppe D (n = 200)	Gesamt (n = 265)	p-Wert
Rethorakotomie	3 (4,6)	7 (3,5)	10 (3,8)	0,711
Zerebrovaskuläres Ereignis	1 (1,5)	5 (2,5)	6 (2,3)	1,000
Schrittmacherimplantation	6 (9,2)	6 (3,0)	12 (4,5)	0,077
Nosokomiale Pneumonie	9 (13,8)	24 (12,0)	33 (12,5)	0,670
Nierenersatzverfahren	4 (6,2)	11 (5,5)	15 (5,7)	0,766

Angaben in n (%)

3.4.3 Krankenhausaufenthalt

Sowohl die Dauer des postoperativen Aufenthalts auf der herzchirurgischen Intensivstation als auch die Gesamtdauer des Krankenhausaufenthalts wurden dokumentiert. Im Median war eine Aufenthaltsdauer von zwei Tagen auf der Intensivstation und ein Krankenhausaufenthalt von insgesamt 14 Tagen zu verzeichnen. Zwischen den beiden Gruppen konnten keine Unterschiede bezüglich der Liegezeiten in unserer Klinik nachgewiesen werden (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Krankenhausaufenthalt

	Gruppe A (n = 65)	Gruppe D (n = 200)	Gesamt (n = 265)	p-Wert
Intensivstation (Tage)	2 (1-4)	2 (1-5)	2 (1-5)	0,107
Krankenhaus (Tage)	14 (11-22)	14 (10-21)	14 (10-21)	0,714

Angaben in Median (25.-75.Perzentile)

3.5 Ergebnisse der digitalen Thoraxdrainagesysteme C051® und S201® (Firma ATMOS MedizinTechnik GmbH & Co. KG)

3.5.1 Patientencharakteristika

Insgesamt 26 Patienten wurden mit einem digitalen Thoraxdrainagesystem der Firma ATMOS MedizinTechnik GmbH & Co. KG versorgt. Aufgrund der geringen Patientenzahl erfolgt die Vorstellung der Ergebnisse dieses Systems im Folgenden gesondert. Im Median waren die Patienten 68 Jahre alt und zu ca. 89 % männlich. Der BMI lag in dieser Gruppe im Median bei 28,3 kg/m², was auch hier einer Präadipositas entspricht (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Patientencharakteristika (ATMOS-Gruppe)

	Gruppe Atmos (n = 26)
Alter (Jahre)*	68 (61-75)
Männlich (n (%))	23 (88,5)
BMI (kg/m ²)*	28.3 (25,7-31,7)
LVEF (%)*	53 (49-55)

*Angaben in Median (25.-75.Perzentile)

BMI: Body-Mass-Index, LVEF: linksventrikuläre Ejektionsfraktion

3.5.2 Komorbiditäten

Der größte Anteil an Patienten litt auch hier an einer arteriellen Hypertonie (84,6 %), gefolgt von der Hyperlipidämie (65,4 %). Bei 30,8 % der Patienten war eine pulmonale Hypertonie, bei 26,9 % war ein Vorhofflimmern und bei 23,1 % eine periphere arterielle Verschlusskrankheit bekannt. Deutlich seltener waren auch in dieser Gruppe ein insulinpflichtiger Diabetes mellitus, eine chronische Nierenerkrankung, eine chronisch obstruktive Lungenerkrankung sowie eine Endokarditis vertreten (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Komorbiditäten (ATMOS-Gruppe)

	Gruppe Atmos (n = 26)
Arterielle Hypertonie	22 (84,6)
Vorhofflimmern	7 (26,9)
Insulinpflichtiger Diabetes mellitus	4 (15,4)
Chronische Nierenerkrankung	4 (15,4)
Hyperlipidämie	17 (65,4)
pAVK	6 (23,1)
COPD	4 (15,4)
Pulmonale Hypertonie	8 (30,8)
Endokarditis	2 (7,7)

Angaben in n (%)

pAVK: periphere arterielle Verschlusskrankheit, COPD: chronisch obstruktive Lungenerkrankung

3.5.3 Antikoagulation und Thrombozytenaggregationshemmung

Auch in dieser Patientengruppe wurde präoperativ bei einem überwiegenden Anteil (84,6 %) eine Thrombozytenaggregationshemmung mit Acetylsalicylsäure durchgeführt. Clopidogrel oder Prasugrel wurden deutlich seltener eingesetzt. Neue orale Antikoagulantien wurden von 15,4 % und Phenprocoumon von 3,8 % der Patienten präoperativ eingenommen (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Gerinnungshemmende Medikation (ATMOS-Gruppe)

	Gruppe Atmos (n = 26)
Acetylsalicylsäure	22 (84,6)
Clopidogrel	2 (7,7)
Ticagrelor	2 (7,7)
Prasugrel	0 (0,0)
Phenprocoumon	1 (3,8)
NOAK	4 (15,4)

Angaben in n (%)

NOAK: neue orale Antikoagulantien

3.5.4 Operationen

Auch in dieser Patientengruppe war die koronare Bypassoperation mit 76,9 % der am häufigsten durchgeführte Eingriff (siehe Tabelle 13). Eine Operation an der Mitralklappe war bei 26,9 % und an der Aortenklappe bei 19,2 % der Patienten erforderlich. Einem Eingriff an der Trikuspidalklappe unterzogen sich 19,2 % der Patienten. Weiterhin erfolgte bei einem Patienten eine Operation der Aorta ascendens sowie bei zwei Patienten ein rhythmuschirurgischer Eingriff. Jeweils eine Operation erfolgte als Notfalleingriff bzw. als Reoperation. Auch bei dieser Patientengruppe wurden Kombinationseingriffe durchgeführt, sodass sich hier ebenfalls ein Gesamtanteil von größer als 100 % ergibt (s.o).

Tabelle 13: Durchgeführte Operationen (ATMOS-Gruppe)

	Gruppe Atmos (n = 26)
Koronarbypassoperation	20 (76,9)
Mitralklappeneingriff	7 (26,9)
Aortenklappeneingriff	5 (19,2)
Trikuspidalklappeneingriff	5 (19,2)
Pulmonalklappeneingriff	0 (0,0)
Aorten Chirurgie	1 (3,8)
Vorhofohrverschluss	0 (0,0)
Rhythmuschirurgie	2 (7,7)
Notfaloperation	1 (3,8)
Reoperation	1 (3,8)

Angaben in n (%)

3.5.5 Drainageverluste und drainagebezogene Komplikationen

In dieser Patientengruppe wurden im Median drei Thoraxdrainagen pro Patienten verwendet (siehe Tabelle 14). Am häufigsten wurden diese auch hier in der linken Pleura (n = 19) bzw. substernal (n = 26) positioniert. Innerhalb der ersten sechs postoperativen Stunden wurde eine mediane Drainagefördermenge von 170 ml dokumentiert. Die Gesamtmenge nach 24 Stunden betrug im Median 1140 ml. Bei drei Patienten (11,5 %) kam es zur Thrombenbildung im Drainagesystem mit partieller oder totaler Okklusion. Ein technischer Defekt trat bei vier Patienten (15,4 %) dieser Gruppe auf. Ebenso häufig kam es zu einem Systemwechsel.

Tabelle 14: Drainagebezogene Ergebnisse (ATMOS-Gruppe)

	Gruppe Atmos (n = 26)
Drainagen*	3 (2-3)
Drainageverlust (ml)*	
nach 6 Stunden	170 (104-300)
nach 24 Stunden	1140 (685-2431)
Komplikationen n (%)	
Thrombenbildung im Schlauchsystem	3 (11,5)
Technischer Defekt	4 (15,4)
Systemwechsel	4 (15,4)

*Angaben in Median (25.-75.Perzentile)

3.5.6 Postoperativer Verlauf

Die wesentlichen Parameter des postoperativen Verlaufs sind in Tabelle 15 zusammengefasst. Als häufigste postoperative Komplikation trat auch in dieser Gruppe eine nosokomiale Pneumonie auf (11,5 %). Bei jeweils einem Patienten kam es postoperativ zu einem zerebrovaskulären Ereignis bzw. zum Einsatz eines Nierenersatzverfahrens. Eine Rethorakotomie war in dieser Gruppe nicht erforderlich. Im postoperativen Verlauf wurden im Median zwei Erythrozytenkonzentrate transfundiert. Im Median betrug der Aufenthalt auf der Intensivstation drei Tage sowie der Krankenhausaufenthalt 13 Tage.

Tabelle 15: Postoperative Komplikationen und Krankenhausaufenthalt (ATMOS-Gruppe)

	Gruppe Atmos (n = 26)
Postoperative Komplikationen n (%)	
Rethorakotomie	0 (0,0)
Zerebrovaskuläres Ereignis	1 (3,8)
Schrittmacherimplantation	0 (0,0)
Nosokomiale Pneumonie	3 (11,5)
Nierenersatzverfahren	1 (3,8)
Bluttransfusionen*	
Erythrozytenkonzentrate	2 (0-4)
Thrombozytenkonzentrate	0 (0-5)
Aufenthaltsdauer (Tage)*	
Intensivstation	3 (2-7)
Krankenhaus	13 (10-18)

*Angaben in Median (25.-75.Perzentile)

3.6 Anwenderbefragung

Die oben beschriebenen, für diese Studie entwickelten Fragebögen zum praktischen Umgang mit den verwendeten Thoraxdrainagesystemen, wurden von insgesamt 70 Anwendern beantwortet (siehe Tabelle 16). Darunter waren elf ärztliche sowie 59 pflegerische Mitarbeiter. 57,1 % der Teilnehmer waren männlich. Die Altersgruppe zwischen 31 und 40 Jahren (32,9 %) war am häufigsten vertreten. 22,9 % der Teilnehmer waren unter 30 Jahre bzw. über 50 Jahre alt. 21,4 % der Teilnehmer waren zwischen 41 und 50 Jahre alt.

Tabelle 16: Charakteristika der teilnehmenden Anwender

	Teilnehmer (n = 70)
Alter	
< 30 Jahre	16 (22,9)
31-40 Jahre	23 (32,9)
41-50 Jahre	15 (21,4)
> 50 Jahre	16 (22,9)
Geschlecht	
Männlich	40 (57,1)
Berufsgruppe	
Arzt / Ärztin	11 (15,7)
Pflege*	59 (84,3)

Angaben in n (%)

*Gesundheits- und Krankenpfleger/in, Fachkrankenpfleger/in für Intensivpflege bzw. Fachpflegekraft im Operationsdienst

Der verwendete Fragebogen umfasst verschiedene Fragen zur Anwendererfahrung mit den eingesetzten Thoraxdrainagesystemen (siehe Kapitel 6, Anhang 1). Die Bewertungsskala reicht von „äußerst unzufrieden“ bis „äußerst zufrieden“, entsprechend einer Punktzahl von einem bis sechs Punkten in der Auswertung. Die Ergebnisse der Nutzerbewertung sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Demnach waren die eingesetzten Thoraxdrainagesysteme vergleichbar hinsichtlich der Inbetriebnahme, der Konnektierung des Schlauchsystems, der Probenentnahme, der Standfestigkeit bzw. Befestigung am Bett sowie des Ablesens der Füllstandshöhe. Für den Einsatz auf der Normalstation wurden die digitalen Thoraxdrainagesysteme bevorzugt ($p < 0,001$). Des Weiteren ergab die Anwenderbewertung einen signifikant besseren Gesamteindruck der digitalen im Vergleich zu den analogen Systemen im Hinblick auf die Verwendung im klinischen Alltag ($p = 0,002$).

Tabelle 17: Anwenderbewertung der verschiedenen Thoraxdrainagesysteme

	Gruppe A (n = 65) Punkte	Gruppe D (n = 200) Punkte	p-Wert
Inbetriebnahme	5 (4-6)	5 (4-5)	0,635
Konnektierung des Schlauchsystems	5 (4-6)	5 (4-5)	0,305
Probenentnahme	5 (4-5)	5 (3-5)	0,111
Standfestigkeit, Befestigung am Bett	5 (3-5)	5 (3-5)	0,570
Ablesen der Füllstandhöhe	6 (5-6)	5 (4-6)	0,131
Einsatz auf der Normalstation	2 (2-5)	5 (5-6)	< 0,001
Gesamteindruck	5 (4-5)	5 (4-6)	0,002

Angaben in Median (25.-75.Perzentile)

In den Fragebögen zur vorliegenden Studie war jeweils ein Freitextfeld zum entsprechenden Thoraxdrainagesystem auf der Rückseite des Fragebogens für zusätzliche Anmerkungen enthalten. Im Folgenden sind diese Kommentare bzw. Erfahrungsberichte zusammengefasst (dabei ist der Inhalt der Kommentare teilweise redundant zu den oben genannten Ergebnissen, enthält jedoch zusätzliche spezielle Aspekte und soll daher nicht unerwähnt bleiben):

Bei den digitalen Drainagesystemen (Thopaz® und Thopaz+® der Firma Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG) wurde eine gute Bewegungsfreiheit für den Patienten positiv herausgestellt, da die Geräte vergleichsweise klein und handlich sind. Durch den integrierten Akku kann das Gerät insbesondere im Rahmen einer ausgedehnten Mobilisationsmaßnahme, wie z.B. für ein Gehtraining auf dem Flur, vom Netzkabel abgenommen werden. Weiterhin wurde berichtet, dass vor allem auf der Intensivstation durch die vergleichsweise kurzen Schlauchsysteme der digitalen Systeme eine gewisse Limitation der Bewegungsfreiheit vorliegt. Dabei kann es zum akzidentellen Kippen des Gerätes kommen, verbunden mit einer fehlerhaften Anzeige der Drainagemenge. Zudem wäre auf der herzchirurgischen Intensivstation aus baulichen Gründen ein längeres Netzkabel von Vorteil. Je nach Modell des digitalen Thoraxdrainagesystems gab es initial Probleme bei der Befestigung des Gerätes am Bett, da die Halterungen für die vorhandenen Betten nicht passend waren. Positiv hervorgehoben wurde das übersichtliche Display der digitalen Systeme sowie die einfache Sogeeinstellung und die entsprechende Anzeige auf dem Display. Die kontinuierliche elektronische Erfassung der Drainagemenge erspart das regelmäßige Ablesen des Füllstandes. Nach Wechsel des Auffangbehälters wird das verworfene Drainagevolu-

men gespeichert. Bei den analogen Systemen muss die verworfene Menge manuell dokumentiert werden. Außerdem beschrieben mehrere Anwender das Problem der thrombosierten Schlauchsysteme bei den digitalen Drainagesystemen, v.a. im Bereich des Konnektors, am ehesten aufgrund des vergleichsweise kleinen Lumens.

Die analogen Thoraxdrainagesysteme (Sentinel Seal® der Firma Medtronic GmbH) wurden als simpel und effektiv beschrieben. Vor allem die Anwender auf der Intensivstation waren mit diesem Gerät bereits sehr gut vertraut. Als Hauptnachteil wurde die Abhängigkeit vom Zentralvakuum des Krankenhauses genannt. Insbesondere bei der Verwendung mehrerer Systeme bei einem Patienten, über in der Regel nur einen verfügbaren Wandanschluss, müssen aufwendige y-Verbindungen konstruiert werden. Die Anwender haben bei den analogen Geräten mehrfach darauf hingewiesen, dass die Standfähigkeit der Systeme verbesserungswürdig ist. Das System kann leicht umfallen, mit der Folge der Vermischung der Drainageflüssigkeit in den verschiedenen Kammern, was dazu führt, dass das System nicht mehr korrekt abgelesen werden kann. Als weiteren Nachteil, im Vergleich zu den digitalen Systemen, wurde die Größe genannt, mit entsprechend mehr Platzbedarf und erschwerter Mobilisation der Patienten. Als weiterer wesentlicher Nachteil wurde die fehlende Alarmfunktion genannt, sodass hier vergleichsweise mehr Kontrollen erforderlich sind. Als vorteilhaft wurde die Unabhängigkeit von einer Stromquelle bewertet.

Aufgrund der geringen Anzahl verwendeter digitaler Systeme C051® und S201® der Firma ATMOS MedizinTechnik GmbH & Co. KG war die Anzahl auswertbarer Fragebögen hierzu ebenfalls entsprechend gering. Hauptkritikpunkt waren die gehäuft aufgetretenen Thrombosierungen im Schlauchsystem. Das größere Gerät (S201®) empfanden die Anwender als sehr unhandlich, die Bedienung des Displays wurde als nicht intuitiv beschrieben, weiterhin wurden die kurzen Schläuche bemängelt.

4. DISKUSSION

Nachdem die Anwendung digitaler Thoraxdrainagesysteme im Bereich der Thoraxchirurgie bereits zur Routine geworden ist, werden in der Herzchirurgie noch überwiegend analoge Drainagesysteme verwendet. Entsprechend lagen zum Zeitpunkt der Planung der vorliegenden Studie noch keine Erfahrungsberichte in diesem Anwendungsbereich vor. Aufgrund verschiedener potenzieller Vorteile der digitalen Systeme, insbesondere dem kontinuierlichen mobilen Sog, wurden die digitalen Systeme in unserer Klinik eingeführt und bevorzugt angewendet. Ziel der vorliegenden Studie war die systematische Evaluation der Anwendung von digitalen Thoraxdrainagesystemen im Vergleich zu den konventionellen analogen Systemen im Bereich der Herzchirurgie.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass digitale Drainagesysteme in der Herzchirurgie sicher und effektiv angewendet werden können. Im Vergleich zu den analogen Systemen war der Einsatz der digitalen Systeme mit einem erhöhten Anwenderkomfort sowie einer größeren Bewegungsfreiheit für den Patienten verbunden. Als nachteilig hat sich die erhöhte Inzidenz von thrombotischen (Teil-)Okklusionen der Drainagen erwiesen.

Im Folgenden werden einzelne Aspekte der durchgeführten Untersuchung diskutiert. Besonderheiten der Anwendung in der Herzchirurgie: In der Herzchirurgie werden bis auf wenige Ausnahmen, z.B. im Bereich der Säuglingschirurgie, bei allen Patienten vor Wundverschluss routinemäßig Drainagen in das Perikard bzw. die Pleuren eingelegt. Dabei werden überwiegend analoge Systeme verwendet (s.o.).

Die grundsätzliche Funktion der Thoraxdrainagesysteme ist bei allen Modellen identisch: die kontinuierliche und effektive Drainage von Blut, Sekret und Luft aus der Pleura bzw. dem Perikard sowie dem Mediastinum. Insbesondere im Bereich des Perikards wird durch eine effektive Drainagefunktion der Entstehung einer potenziell lebensbedrohlichen Perikardtamponade vorgebeugt. Diese tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,2 bis 8,4 % nach einem herzchirurgischen Eingriff auf (Carmona et al. 2012) und hat in der Regel eine dringliche oder notfallmäßige Rethorakotomie zur Folge. Nicht nur in der frühen, sondern auch in der späteren postoperativen Phase (zwölf Stunden postoperativ), ist eine Rethorakotomie mit einer signifikant höheren Mortalität assoziiert (Biancari et al. 2012) und daher zu vermeiden. In unserem Patientenkollektiv wurde bei 3,8 % eine Rethorakotomie durchgeführt, wobei die Art des verwendeten Drainagesystems keinen Einfluss auf die Rethorakotomierate hatte.

Im Vergleich zu anderen chirurgischen Fachdisziplinen kommt es im Rahmen eines herzchirurgischen Eingriffs durch den Einsatz der HLM zu einer erheblichen Beeinflussung des

Gerinnungssystem (Meybohm et al. 2017). Zusätzlich wird bei vielen Eingriffen eine Hypothermie angestrebt (Cremer und Schöttler 2010), welche sich zusätzlich negativ auf die Blutgerinnung auswirkt. Die prä- und postoperative Therapie mit gerinnungswirksamen Medikamenten, wie z.B. Antikoagulantien oder Thrombozytenaggregationshemmern, ist bei herzchirurgischen Patienten ebenfalls vergleichsweise häufig (Hassan et al. 2018), so auch im untersuchten Patientenkollektiv. Somit sind effektive Thoraxdrainagesysteme, insbesondere in der postoperativen Versorgung herzchirurgischer Patienten, von hoher Relevanz.

Auch im Bereich der Pleuren ist eine effektive Drainage bei herzchirurgischen Patienten besonders relevant, da durch die Vermeidung von Pleuraergüssen bzw. Hämatomen eine vollständige Belüftung der Lungen gewährleistet wird und damit der Entstehung einer Pneumonie entgegengewirkt wird. In unserem Patientenkollektiv waren 12,5 % von einer postoperativen Pneumonie betroffen. Die Art des Drainagesystems hatte auch hier keinen Einfluss auf die Inzidenz dieser Komplikation.

Vergleich der analogen und digitalen Thoraxdrainagesysteme: Welches Drainagesystem in einer herzchirurgischen Fachabteilung verwendet wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Das entsprechende Gerät muss auf den jeweiligen Stationen bzw. im Operationssaal zur Verfügung stehen. Das Klinikpersonal sollte mit dem verwendeten Thoraxdrainagesystem vertraut sein. Eine einfache Bedienbarkeit im klinischen Alltag sowie eine effektive Drainage sollte gewährleistet sein. Nicht zuletzt spielen die Kosten der jeweiligen Systeme bei der Auswahl eine Rolle. Die wesentlichen Charakteristika der digitalen und analogen Systeme sind in Abbildung 17 gegenübergestellt.

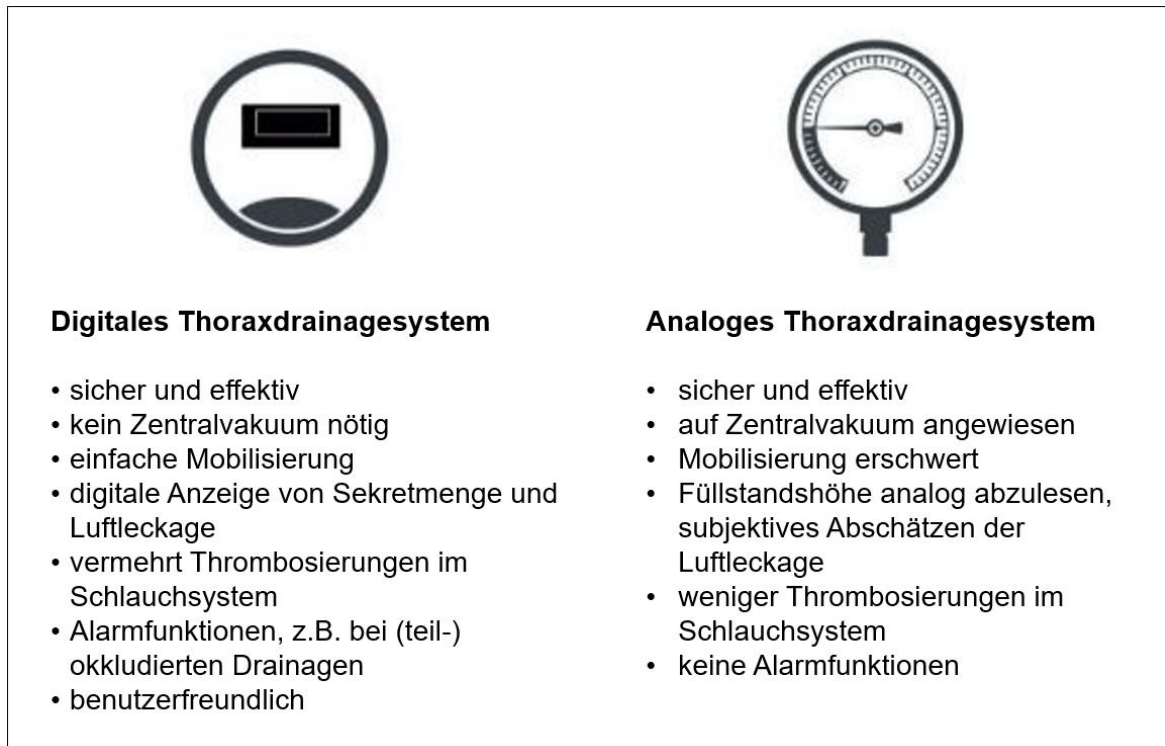


Abbildung 17: Vergleich der digitalen und analogen Thoraxdrainagesysteme (Saha et al. 2020)

Konventionelle analoge Thoraxdrainagesysteme stellen derzeit in der Herzchirurgie immer noch den Goldstandard dar. Diese Systeme weisen jedoch einige Limitationen auf. Beispielsweise ist man auf einen Anschluss an das Zentralvakuumssystem des Krankenhauses angewiesen (Kiefer 2016). Auf der Intensivstation sind die erforderlichen Vakuuman-schlüsse an den Bettplätzen vorhanden, auf den Normalpflegestationen in der Regel jedoch nicht (wie im Beispiel unserer Klinik). Damit verliert ein analoges Drainagesystem nach kurzer Zeit den Sog und ist damit weniger effektiv. Als weitere Limitation ist die Luftleckage, im Gegensatz zur Sekretmenge, nicht objektivierbar (Pompili et al. 2014; Cerfolio et al. 2010; Mier et al. 2010). Das Volumen der Luftleckage kann lediglich abgeschätzt werden, eine Flussrate ist nicht verfügbar.

Im Vergleich zu den analogen Geräten bieten die digitalen Thoraxdrainagesysteme einige Vorteile. Sie sind nicht mehr auf ein Zentralvakuumssystem angewiesen (Mier et al. 2010), da die Geräte selbst einen subatmosphärischen Druck erzeugen. Der kontinuierliche Sog, unabhängig von einem Vakuum-Wandanschluss, stellt insbesondere für den postoperativen Transfer vom Operationssaal auf die Intensivstation einen Vorteil dar. Dieser Transfer stellt bekanntermaßen eine besonders vulnerable Phase dar. Barozzi et al. (2020) haben in ihrer Klinik eine konkrete Dauer dieses Transfers von 11,5 Minuten dokumentiert. Eine

effektive Drainagefunktion ist insbesondere in dieser frühen postoperativen Phase zur Vermeidung von Perikardtamponaden sowie frühzeitigen Erkennung von Nachblutungen essentiell (Barozzi et al. 2020). So war das Auftreten einiger früher postoperativer Perikardtamponaden in unserer Klinik der Auslöser für die Einführung der digitalen Drainagesysteme. Ein effektiv aufrechterhaltener Sog ist nicht nur während des Transfers vom Operationssaal auf die Intensivstation, sondern auch bei weiteren Transporten, z.B. im Rahmen einer computertomographischen Diagnostik, relevant. Die digitalen Thoraxdrainagesysteme überwachen den Sog im Pleuraspalt. Bei einer Diskrepanz des eingestellten Sollwertes und des aktuellen Istwertes, reguliert das Gerät den Sog nach (Kiefer 2016).

Effektivität der Drainage: Im untersuchten Patientenkollektiv wurde in der frühen postoperativen Phase (innerhalb der ersten sechs Stunden postoperativ) ein signifikant höheres drainiertes Drainagevolumen in der Patientengruppe nachgewiesen, bei denen die digitalen Systeme eingesetzt wurden. Dies könnte darauf hindeuten, dass in der frühen postoperativen Phase digitale Thoraxdrainagesysteme im Vergleich zu den konventionellen analogen Systemen eine höhere Effektivität aufweisen. Im anschließenden Zeitraum von insgesamt 24 Stunden lag jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen mehr vor. In einer aktuellen Studie kamen die Autoren zu einem ähnlichen Ergebnis (Barozzi et al. 2020). Die geförderten Drainagemengen wurden hier zu folgenden Zeitpunkten dokumentiert: zum Operationsende, vor dem Transport des Patienten auf die Intensivstation, Ankunft auf der Intensivstation, nach sechs und 24 Stunden nach Ankunft auf der Intensivstation sowie die Gesamtmenge. Dabei wurde ebenfalls eine signifikant höhere Fördermenge in der Gruppe mit den digitalen Drainagesystemen während der frühen postoperativen Phase beobachtet. Anschließend waren auch in dieser Untersuchung keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen mehr nachweisbar. Auch Van Linden et al. (2019) konnten bezüglich der drainierten Gesamtmenge keine Unterschiede zwischen den Patienten der digitalen und analogen Gruppe feststellen.

Erfassung von Drainageverlusten und Luftleckagen: Einen potenziellen Vorteil der digitalen Drainagesysteme stellt die kontinuierliche Anzeige des geförderten Drainagevolumens bzw. der Luftleckage dar, wodurch eine vereinfachte Dokumentation ermöglicht wird. Bei den analogen Systemen ist eine manuelle Markierung des Füllstands erforderlich. Insbesondere nach akzidentellem Kippen des Systems kann die Ablesbarkeit durch das Überlaufen der einzelnen Kammern erschwert sein. Vor Entfernung der Drainagen ist eine exakte Dokumentation des Drainagevolumens erforderlich. In unserer Klinik werden die Thoraxdrainagen entfernt, wenn die Fördermenge innerhalb von 24 Stunden weniger als

200 ml ist und kein Luftleck vorliegt. In der Literatur sind diesbezüglich unterschiedliche Empfehlungen zu finden: Nach Zardo et al. (2015) ist die Entfernung der Thoraxdrainage nach einem herzchirurgischen Eingriff auch bei einer Fördermenge von über 450 ml innerhalb von 24 Stunden gut verträglich. Zudem kann durch eine möglichst frühe Entfernung der Drainagen der postoperative Verlauf positiv beeinflusst werden, indem die Patienten in geringerem Maße auf Analgetika, Sauerstoffgabe, Physiotherapie und Hilfe durch das Pflegepersonal angewiesen sind (Abramov et al. 2005). Auf der anderen Seite ist eine zu frühe Entfernung der Thoraxdrainagen mit dem Risiko für das Auftreten eines Perikard- oder Pleuraergusses verbunden. Somit wird beispielsweise laut Andreasen et al. (2016) nicht empfohlen, die Drainagen bereits am Operationstag zu ziehen, auch wenn die Fördermenge bei unter 150 ml liegt.

Thrombosierung der Drainagesysteme: Wenn kein kontinuierlicher adäquater Unterdruck im Drainagesystem vorliegt, kann Sekret und Blut in den Drainagen verweilen, was zu einer partiellen oder vollständigen Thrombosierung führen kann, insbesondere bei einem hohen Hämatokrit der Drainageflüssigkeit. Hierdurch kommt es zu einer Lumeneinengung bis hin zur kompletten Okklusion des Systems. In der Folge können Sekret und Luft nicht mehr ausreichend abgeleitet werden mit den entsprechend negativen Auswirkungen für den Patienten (s.o.).

In der vorliegenden Studie wurden bei 13 (6,5 %) Patienten mit digitalen Drainagesystemen Thrombosierungen der Drainagen beobachtet. In der Patientengruppe mit den analogen Systemen trat dieses Problem nicht auf. In den meisten Fällen war der Konnektor („y-Stück“) betroffen, der zwei Drainagen miteinander verbindet (siehe Abbildung 14). Im Bereich des Konnektors kommt es zu einer Lumenreduktion, wodurch der Abfluss an dieser Stelle limitiert wird. Dabei ist das Innenlumen der Konnektoren, die beim digitalen Schlauchsystem verwendet werden, geringer als bei den analogen Systemen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass bei den digitalen Systemen ein Doppelschlauchsystem verwendet wird (siehe Abbildung 15), wobei der zweite Schlauch u.a. als Messschlauch dient. Möglicherweise spielt zusätzlich die Probenentnahmestelle eine Rolle. Diese befindet sich ebenfalls im Bereich des Konnektors (siehe Abbildung 14). An dieser Stelle können durch eine spezielle Membran mit einer Spritze Sekretproben entnommen werden. Aufgrund unserer Erfahrungsberichte ist derzeit durch die Firma (Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG) eine Optimierung des Konnektors und des Schlauchsystems inklusive der sterilen Spülung in Entwicklung.

Zur Entfernung des thrombotischen Materials werden verschiedene Methoden angewendet: Eine Methode ist das sog. Melken bzw. *milking*. Hier umfasst man den Schlauch mit

beiden Händen jeweils mit dem Zeigefinger und Daumen. Die beiden Finger werden wiederholt zusammengedrückt und losgelassen. Auf diese Weise wird ein Unterdruck im Schlauchsystem erzeugt. Eine andere Methode ist das Ausstreifen des Drainageschlauches, das sog. *stripping*. Hier wird ebenfalls mit Daumen und Zeigefinger der Schlauch an einer Stelle zusammengedrückt. Mit der anderen Hand wird dann mit aufeinander gepresstem Daumen und Zeigefinger der Schlauch nach unten ausgestrichen. Beide Methoden sollten im klinischen Alltag nicht routinemäßig durchgeführt werden, sondern nur dann, wenn das Drainagesystem makroskopisch sichtbar thrombosiert ist. Ein prophylaktisches Melken oder Ausstreichen sollte also nicht erfolgen (Lim-Levy et al. 1986), da durch beide Maßnahmen potenziell hohe negative intrathorakale Drücke erzeugt werden, wodurch es zu Gewebeverletzungen kommen kann. Falls eine Maßnahme nötig ist, sollte laut Halm (2007) eher das Melken bevorzugt angewendet werden. Bleibt dies jedoch erfolglos, muss unter sterilen Bedingungen eine Thrombektomie durchgeführt werden. Hierbei wird das Schlauchsystem diskonnektiert und das thrombotische Material abgesaugt. Dieses Verfahren ist einerseits sehr effektiv, andererseits besteht hierbei für die Patienten ein deutlich erhöhtes Infektionsrisiko. Wie bei den anderen Methoden besteht hier ebenfalls die Gefahr einer Schädigung des Gewebes durch den kurzzeitig hervorgerufenen stark negativen intrathorakalen Unterdruck.

Wie bereits oben erwähnt, haben analoge Thoraxdrainagesysteme ein größeres Lumen sowohl im Bereich des Konnektors als auch im anschließenden Schlauchsystem, welches zudem aus einem deutlich flexibleren Silikonmaterial besteht, sodass eine effektivere Manipulation, wie z.B. das Melken, möglich ist. Eine Manipulation bei den digitalen Drainagesystemen hat sich aus unserer Erfahrung als schwierig und oft nicht erfolgreich erwiesen, sodass bei einigen Fällen das Schlauchsystem ausgetauscht werden musste, um die Funktion des Thoraxdrainagesystems wiederherzustellen. Um auch bei den digitalen Systemen eine effektivere Manipulation durchführen zu können, haben Barozzi et al. (2020) einen kurzen flexiblen Silikonschlauch zwischen Drainage und Konnektor erfolgreich eingesetzt.

Obwohl in unserer Studie in der Gruppe der digitalen Drainagesysteme eine signifikant höhere Rate an thrombosierten Schlauchsystemen vorlag, gab es zwischen beiden Gruppen keine Unterschiede bezüglich der Anzahl der durchgeführten Rethorakotomien. Dennoch ist es möglicherweise sinnvoll bei Patienten, die postoperativ eine erhöhte Nachblutungs- menge aufweisen, ein analoges Thoraxdrainagesystem einzusetzen. Als Limitation ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass in der Gruppe der analogen Systeme möglicherweise einige (passagere) Thrombosierungen der Drainagen aufgrund der fehlenden Alarmfunktion dieser Systeme unentdeckt geblieben sind.

Alarmfunktion der digitalen Systeme: Nicht zuletzt aufgrund dieser potenziell unentdeckten Thrombosierungen der Drainage ist die vorhandene Alarmfunktion ein Vorteil der digitalen Systeme. Insbesondere bei der Mobilisation des Patienten kann es zur akzidentellen Diskonnektion oder zum Abknicken der Drainagen kommen, mit der Folge einer Gefährdung des Patienten durch die Drainagedysfunktion (Hashmi et al. 2018). Bei okkludierten Schlauchsystemen, einer (akzidentiellen) Diskonnektion sowie bei anderen Dysfunktionen des Systems, reagieren digitale Thoraxdrainagesysteme mit diversen akustischen und visuellen Alarmen (Barozzi et al. 2020). Vor allem in der Herzchirurgie haben solche Alarmfunktionen im praktischen Alltag eine hohe Relevanz, da eine Dysfunktion des Thoraxdrainagesystems innerhalb kurzer Zeit zu einer potenziell lebensbedrohlichen Komplikation führen kann, wie z.B. einer Perikardtamponade (s.o.). Im Gegensatz hierzu verfügen die analogen Thoraxdrainagesysteme nicht über entsprechende Alarmfunktionen (George und Papagiannopoulos 2016).

Postoperative Komplikationen: In verschiedenen Studien konnte ein positiver Effekt digitaler Thoraxdrainagesysteme auf den postoperativen Verlauf nach herz- und thoraxchirurgischen Eingriffen gezeigt werden. So wird in einer Metaanalyse von Wang et al. (2019) bei Patienten nach Lungenresektion eine schnellere Genesung, eine höhere Lebensqualität sowie ein geringeres Risiko für das Auftreten postoperativer Komplikationen beschrieben. Dieser positive Effekt ist im Wesentlichen auf die vereinfachte Mobilisation im klinischen Alltag zurückzuführen (Rathinam et al. 2011; Arai et al. 2018). Auch nach herzchirurgischen Eingriffen konnten Barozzi et al. (2020) einen positiven Effekt nachweisen, ebenfalls auf die vereinfachte Mobilisation. Auch andere Autoren haben gezeigt, dass sich eine Frühmobilisation auf den postoperativen Verlauf positiv auswirkt (Ramos et al. 2017; Kanejima et al. 2020; Chen et al. 2021). Van Linden et al. (2019) beschreiben in der Patientengruppe der digitalen Thoraxdrainagesysteme eine nicht signifikante Reduktion der Rethorakotomierate. In der vorliegenden Studie konnte bezüglich des Auftretens von postoperativen Komplikationen, insbesondere Pneumonie und Rethorakotomie, aber auch Nierenersatztherapie, Schrittmacherimplantation und zerebrovaskuläre Ereignisse, kein Unterschied zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden.

Krankenhausaufenthalt: Mehrere Autoren aus dem Bereich der Thoraxchirurgie berichteten über eine signifikant kürzere Krankenhausverweildauer bei den Patienten, die mit einem digitalen Drainagesystem versorgt wurden, sowie über eine signifikante Reduktion der Drainageliegezeit (Filosso et al. 2015 und 2010; Pompili et al. 2014; Mier et al. 2010; Brunelli et

al. 2010). Cho et al. (2016) sowie Cerfolio und Bryant (2008) konnten ebenfalls eine signifikante Reduktion der einliegenden Drainagen nachweisen. Das Ergebnis der verkürzten Krankenhausverweildauer war jedoch nicht signifikant. Arai et al. (2018) und Lijkendijk et al. (2015) fanden bezüglich der oben genannten Kriterien keine signifikanten Unterschiede. Im Bereich der Herzchirurgie wurden kürzlich ebenfalls vergleichbare Untersuchungen durchgeführt. Van Linden et al. (2019) haben das digitale Thoraxdrainagesystem Thopaz+® mit einem analogen System verglichen; dabei konnte ein signifikanter Unterschied bezüglich der Liegezeit der Drainagen zugunsten des digitalen Systems detektiert werden. Der intensivstationäre Aufenthalt sowie der Krankenhausaufenthalt waren hingegen ähnlich lang in beiden Gruppen. Barozzi et al. (2020) konnten zwar eine Tendenz zu einer kürzeren Liegezeit der Drainagen in der Gruppe mit den digitalen Systemen nachweisen, der Unterschied war jedoch nicht signifikant. Die Dauer des gesamten Krankenhausaufenthaltes war in dieser Untersuchung in beiden Gruppen vergleichbar. In der vorliegenden Studie hatte die Art des verwendeten Thoraxdrainagesystems ebenfalls keinen Einfluss auf die Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation oder die Krankenhausverweildauer.

Kosten: Wie oben bereits erwähnt, hängt die Entscheidung für den Einsatz eines bestimmten Thoraxdrainagesystems in zunehmendem Maße auch von der Kosteneffizienz ab. Die Gesamtkosten pro Patienten waren in unserer Klinik für beide Systeme vergleichbar. Ein Systemwechsel sollte aus Kostengründen vermieden werden. Nach George und Papagiannopoulos (2016) muss bei dem Einsatz eines neuen Gerätes einerseits zunächst von einem Anstieg der Kosten ausgegangen werden. Auf der anderen Seite sind jedoch direkte und indirekte Kosteneinsparungen zu verzeichnen: Brunelli et al. (2010) und Pompili et al. (2011) wiesen eine signifikant kürzere Drainageliegezeit sowie Krankenausverweildauer nach und haben eine konkrete Kostenersparnis von 500 Euro bzw. 750 Euro pro Patienten für den Bereich der Thoraxchirurgie berechnet. Es ist davon auszugehen, dass auch herzchirurgische Patienten diesbezüglich profitieren können. Bertolaccini et al. (2011) beschreiben eine Reduktion an durchgeführten Röntgenaufnahmen des Thorax, was einer indirekten Kostenersparnis entspricht. Zusätzlich berichten die Autoren über eine kürzere Krankenhausverweildauer, der Unterschied erwies sich jedoch nicht als signifikant.

Anwenderbefragung: Die Anwenderbefragung, die im Rahmen der vorliegenden Studie im Operationsbereich, auf der Intensivstation sowie der Intermediate Care- und Normalpflegestation durchgeführt wurde (siehe auch Fragebogen im Kapitel 6, Anhang 1), ergab keine

signifikanten Unterschiede zwischen den digitalen und analogen Drainagesystemen hinsichtlich der Zufriedenheit mit der Inbetriebnahme, Konnektierung des Schlauchsystems, Probenentnahme, Standfestigkeit und Ablesen der Füllstandshöhe.

Auf der Intermediate Care- und Normalstation wurden die kleineren akkubetriebenen digitalen Systeme aufgrund der einfacheren frühzeitigen Mobilisierung der Patienten im praktischen Alltag bevorzugt. Bezüglich des Gesamteindrucks schnitt das digitale Thoraxdrainagesystem ebenfalls besser ab. Mier et al. (2010) führten eine ähnliche Studie im Bereich der Thoraxchirurgie durch, in der drei Thoraxdrainagesysteme miteinander verglichen wurden: zwei digitale (Thopaz®, Digivent®) und ein traditionelles (PleurEvac®) System. Es wurde ein vergleichbarer Fragebogen beantwortet. Auch in dieser Studie bevorzugten die pflegerischen und ärztlichen Anwender sowie die Patienten die digitalen Systeme. Dabei gaben die ärztlichen Anwender vor allem die objektiven Messwerte als einen großen Vorteil an. Eine weitere Untersuchung im Bereich der Thoraxchirurgie kam zu ähnlichen Ergebnissen (Rathinam et al. 2011). Die Pflegenden und Physiotherapeuten wiesen hier besonders auf die einfachere Frühmobilisation der Patienten hin. Weiterhin beurteilten die Anwender auch hier die digital angezeigten objektiven Messwerte als besonders vorteilhaft. Die Patienten bevorzugten das kleinere komfortable digitale Gerät, das sich zusätzlich als besonders geräuscharm erwies.

Ergänzende eigene Anwendererfahrungen: Die Ergebnisse der Anwenderbefragung mit den verschiedenen Thoraxdrainagesystemen wurden im Ergebnisteil dargestellt (siehe Kapitel 3.6). In Ergänzung hierzu werden im Folgenden die Anwendererfahrungen der Autorin zusammengefasst, die während der Durchführung der Studie gewonnen wurden.

Als Vorteile der digitalen Systeme haben sich nach der Einschätzung der Autorin insbesondere folgende Aspekte erwiesen: Digitale Thoraxdrainagesysteme ermöglichen eine kontinuierliche automatisierte Messung der Drainagevolumina und Luftleckage einschließlich der Speicherung dieser Werte im Verlauf. Eine manuelle Erfassung entfällt. Alle relevanten Werte werden übersichtlich im Display angezeigt: Flüssigkeitsmenge, Luftleckage, SogEinstellung, Ladezustand des Akkus, aktuelle Therapiedauer und Betriebszustand. Die Messwerte werden gespeichert und können im Verlauf nachträglich eingesehen werden, was für den Therapieverlauf relevant sein kann. Die Luftleckage wird quantifiziert und als Flow in Milliliter pro Minute angezeigt, welche bei den analogen Systemen lediglich abgeschätzt werden kann. Die digitalen Geräte arbeiten sehr geräuscharm, während bei den analogen Geräten das kontinuierliche „Blubbern“ vom Patienten ggf. als störend empfunden werden kann. Die Lautstärke wurde beim digitalen Thoraxdrainagesystem Thopaz+® mit ca. 35 dB und beim analogen Gerät Aqua Seal® mit ca. 65 dB gemessen (Barozzi et al. 2020). Des

Weiteren wird ein konstanter Sog bzw. Unterdruck gewährleistet. Das digitale Gerät verfügt über ein Doppelschlauchsystem, wobei über den dünneren Schlauch kontinuierliche thoraxnahe Messungen durchgeführt werden, sodass das Gerät den aktuell erforderlichen Sog unmittelbar anpassen kann, um den im Display eingestellten Unterdruck konstant zu gewährleisten (Kiefer 2016). Durch die thoraxnahe Messung liegt eine unmittelbare Validierung der SogEinstellung vor. Bei den analogen Systemen erfolgt die Konnektion an einen fest eingestellten Vakuumanschluss mit Einstellung des gewünschten Sogs am Drainagegerät ohne Messung des effektiven Sogs am Patienten und ohne entsprechendes Nachregulieren. Die digitalen Systeme benötigen kein Wasserschloss, da sie ein Ventil besitzen. Dadurch ist es unerheblich, wo das Gerät platziert wird (Graeb 2016). Analoge Systeme hingegen müssen sich unterhalb des Patientenniveaus befinden, da ansonsten durch stehende Flüssigkeiten im Schlauchsystem ein sog. Siphoneffekt entstehen kann und in der Folge kein konstanter Unterdruck gewährleistet werden kann (Kiefer 2016).

Als Vorteile der analogen Systeme haben sich nach der Einschätzung der Autorin insbesondere folgende Eigenschaften herausgestellt: Es zeigte sich eine deutlich geringere Inzidenz von Thrombosierungen im Schlauchsystem, am ehesten durch die insgesamt größeren Lumen sowie flexibleren Materialien. Im Gegensatz zu den Containern der digitalen Systeme, die milchglasähnlich trüb sind, ist der Auffangbehälter des verwendeten analogen Systems transparent, sodass das Sekret in Bezug auf die Differenzierung zwischen Blut, serösem Sekret und Chylus deutlich besser beurteilt werden kann.

Implikationen für zukünftige Entwicklungen: Obwohl die digitalen Systeme viele Vorteile gegenüber den analogen Systemen bieten, stellt die erhöhte Inzidenz von Thrombosierungen im Schlauchsystem mit der Folge einer potenziell lebensbedrohlichen Komplikation einen relevanten Nachteil dar. Damit lässt sich auch die derzeit noch geringe Akzeptanz in herzchirurgischen Fachabteilungen erklären. Einen weiteren Aspekt stellen die in der Regel höheren Kosten dieser Therapie dar.

Bezüglich der Thrombosierungen wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG noch während der Erstellung der Arbeit an Verbesserungsmöglichkeiten gearbeitet. Wie von Barozzi et al. (2020) beschrieben, kann ein zusätzliches flexibles Schlauchstück zwischen Drainage und Konnektor eingesetzt werden. Durch das sog. *milking* und *stripping* konnte im Anschluss das thrombotische Material leichter entfernt werden. Eine Schwachstelle ist jedoch der zusätzlich erforderliche Konnektor sowie mehrere „Lumensprünge“ im System, sodass sich diese Modifikation in unserer Klinik nicht durchgesetzt hat.

Als besonders thrombosierungsgefährdet haben sich die y-Konnektoren im Schlauchsystem der digitalen Systeme herausgestellt. Hierbei scheint einerseits das geringere Innenlumen und andererseits die Form bzw. das Material eine Rolle zu spielen. Während unserer Untersuchung mussten im Bereich der Konnektoren häufig „Thrombektomie-Manöver“ erfolgen (Absaugen des Thrombus nach Diskonnektion des Schlauchsystems), welche normalerweise, unter anderem aufgrund der Infektionsgefahr, strikt vermieden werden.

Ein wesentliches Ziel für weitere Entwicklungen ist demnach die Optimierung der Konnektoren: Hierbei sollte ein größeres Lumen des Konnektors und des Schlauchsystems angestrebt werden. Ebenfalls wäre die Wahl eines Materials wünschenswert, welches einer Thrombosierung entgegenwirkt. Alternativ oder additiv ist eine entsprechende Beschichtung denkbar, vergleichbar mit medikamentenbeschichteten Stents in der Therapie der koronaren Herzerkrankung. Auch ein vereinfachter, präferentiell bereits in das Drainagesystem integrierter Mechanismus zur Thrombusentfernung, wäre von Vorteil. Ein solches System, beruhend auf einem integrierten Draht und Magnetvorrichtungen, ist bereits in Form von einzelnen Drainagen verfügbar (beispielsweise das Modell PleuraFlow® mit seiner Active Clearance Technology® der Firma Clearflow Medical, Irvine, CA). In einer kürzlich erschienenen Studie zu diesen vereinfachten thrombektomierenden Drainagen wurde von St-Onge et al. (2021) eine geringere Rate von thrombosierten Drainagen sowie eine Reduktion von Rethorakotomien nachgewiesen.

Unabhängig von der Thrombosierung besteht ein weiterer Nachteil der digitalen Systeme darin, dass nur eine Gesamtmessung des Drainagevolumens sowie der Luftleckage möglich ist, auch wenn mehrere Drainagen über einen y-Konnektor angeschlossen sind. Bei den analogen Systemen sind Container mit zwei Anschlussmöglichkeiten und folglich getrennt ablesbaren Füllständen verfügbar. Wünschenswert wäre die Möglichkeit einer getrennten Messung der Füllstände (und Luftleckagen) auch bei digitalen Systemen, insbesondere zur Entscheidung, welche Drainage entfernt werden kann.

In Bezug auf die technische Umsetzung gibt es verschiedene Möglichkeiten: Bei den digitalen Thoraxdrainagesystemen findet die Messung des Drainagevolumens erst im digitalen Gerät mittels kapazitiver Kopplung statt (siehe Kapitel 6, Anhang 2). Hierbei werden elektromagnetische Wellen ausgesendet. Diese werden anschließend auf einer Empfängerfläche, die sich außerhalb des Behältnisses befindet, registriert. Die Empfängerfläche liegt der Wand des Behältnisses direkt an. Auf diese Weise wird die Flüssigkeitsmenge im Behältnis berechnet (DocPlayer.org 2022). Für eine getrennte Messung von zwei angeschlossenen Drainagen, müssten die Flüssigkeiten getrennt ins Gerät gelangen, mit zwei vorhandenen Empfängerflächen. Hierzu müssten die Drainagen entweder einzeln an zwei getrennte

Messkammern oder an eine, durch eine Trennwand unterteilte Messkammer, angeschlossen werden. Alternativ ist bei Verwendung eines gemeinsamen Flüssigkeitsbehältnisses auch eine Messung unmittelbar oberhalb des y-Konnektors mittels eines anderen Messverfahrens (z.B. per Laser oder Ultraschall) denkbar.

Limitationen der Studie: Die Patienten wurden nicht randomisiert, daher ist ein Bias bezüglich der Gruppenbildung möglich. Die Patientengruppe, die mit den digitalen Thoraxdrainagesystemen versorgt wurde, war deutlich größer als die Patientengruppe mit den analogen Systemen (200 vs. 65 Patienten), was ebenfalls zu einer möglichen Verzerrung der Ergebnisse führen kann. Der Grund war die generelle Einführung der digitalen Systeme in unserer Klinik ab dem Zeitpunkt der ausreichenden Verfügbarkeit. Weiterhin wurden keine routinemäßigen frühpostoperativen echokardiographischen Untersuchungen durchgeführt. Dadurch wurden kleinere hämodynamisch nicht relevante Perikardergüsse nicht erfasst und nicht in die Analyse miteinbezogen. Die postoperative Erfassung der Drainagemengen im Rahmen der Studie endete nach 24 Stunden. Ein längerer Beobachtungszeitraum hätte hier möglicherweise weitere Erkenntnisse ergeben.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Im Bereich der Herzchirurgie ist der Einsatz von Thoraxdrainagesystemen unerlässlich. Dabei dienen die intraoperativ eingelegten Thoraxdrainagen der Ableitung von hämorrhagischem oder serösem Sekret sowie Luft aus dem Perikard und den Pleuren. Eine effektive postoperative Drainage verhindert somit die Entstehung von Perikard- oder Pleuraergüssen bis hin zu hämodynamisch relevanten Perikardtampnaden oder Hämatothoraces.

Auf dem Markt sind eine Vielzahl verschiedener Thoraxdrainagesysteme verfügbar. Seit über einem Jahrzehnt werden neben den konventionellen analogen Systemen auch digitale Geräte eingesetzt. Im Bereich der Thoraxchirurgie liegen bereits einige Studien zum Einsatz dieser digitalen Systeme vor. Dabei wurden vorwiegend Patienten nach Lungenresektion und Pneumothorax beobachtet. Es konnte gezeigt werden, dass der Einsatz digitaler Thoraxdrainagesysteme mit verschiedenen Vorteilen für den Patienten verbunden war.

Es liegt daher auf der Hand, dass auch herzchirurgisch operierte Patienten von derartigen Systemen profitieren könnten. Allerdings gibt es in diesem Bereich aktuell noch wenige Untersuchungen. Zum Zeitpunkt als die vorliegende Studie initiiert wurde, lagen unseres Wissens hierzu noch keine Untersuchungen vor.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, den Einsatz von digitalen Thoraxdrainagesystemen bei herzchirurgisch operierten Patienten zu untersuchen und im Vergleich mit den analogen Systemen zu analysieren.

Hierzu wurden die Daten von insgesamt 291 Patienten ausgewertet, die sich im Zeitraum zwischen Juni und Dezember 2017 in der Universitätsmedizin Göttingen einem herzchirurgischen Eingriff unterzogen haben; darunter 200 Patienten mit einem digitalen System der Firma Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG (Gruppe D) und 65 Patienten mit einem analogen System der Firma Medtronic GmbH (Gruppe A). Die Ergebnisse der 26 Patienten mit dem digitalen System der Firma ATMOS MedizinTechnik GmbH & Co. KG wurden gesondert ausgewertet. Zusätzlich zur Erfassung postoperativer Verlaufsparemeter wurde eine Anwenderbefragung zum praktischen Umgang mit den Systemen durchgeführt.

Es konnte gezeigt werden, dass im frühen postoperativen Verlauf eine signifikant höhere Drainagemenge durch die digitalen Systeme gefördert wurde im Vergleich zu den analogen Systemen. Insbesondere in dieser vulnerablen Phase, die den Transport vom Operationsaal auf die Intensivstation einschließt, scheint demnach der Einsatz der digitalen Systeme vorteilhaft zu sein.

Als Nachteil der digitalen Systeme erwies sich die erhöhte Rate an Thrombenbildungen im Drainagesystem mit entsprechender Lumenreduktion bzw. Okklusion. Die Thromben bildeten sich vorwiegend im Bereich des Konnektors. Zur Entfernung der Thromben waren „Thrombektomie-Manöver“, teilweise auch Diskonnektionen und Absaugen der Thromben erforderlich. In seltenen Fällen wurde ein Systemwechsel durchgeführt. Bei den analogen Systemen wurden keine relevanten Obstruktionen dokumentiert, allerdings verfügen diese Systeme nicht über eine Alarmfunktion, sodass dadurch möglicherweise einige Ereignisse unbemerkt blieben. Die erhöhte Inzidenz der Thrombenbildung in den Drainagen hatte in unserer Untersuchung keine weiteren klinischen Konsequenzen, so war die Rethorakotomierate in beiden Gruppen vergleichbar.

Weitere technische Verbesserungen, insbesondere der Konnektoren bezüglich Form und ggf. Material, erscheinen dennoch an dieser Stelle erforderlich. Mit der Firma Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG hat hierzu bereits ein Austausch stattgefunden.

Bezüglich der anderen untersuchten klinischen Verlaufparameter stellten sich beide Systeme als gleichwertig dar.

Die Anwenderbewertung ergab eine höhere Zufriedenheit mit den digitalen Drainagesystemen im klinischen Alltag, insbesondere aufgrund der verbesserten Mobilität der Patienten (Unabhängigkeit vom Zentralvakuum sowie Miniaturisierung) und der einfacheren Handhabung, einschließlich der Erfassung objektiver Messwerte. Die Beurteilung fiel demnach zugunsten der digitalen Systeme aus.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass digitale Thoraxdrainagesysteme sicher und effektiv bei herzchirurgisch operierten Patienten eingesetzt werden können. Sie bieten den Vorteil einer besseren Mobilität der Patienten sowie eines erhöhten Anwenderkomforts bei effektiverer Drainage in der frühpostoperativen Phase. Als nachteilig hat sich die erhöhte Thromboserate in den Schlauchsystemen erwiesen, die es durch technische Veränderungen zu reduzieren gilt.

Interessenskonflikte: Es bestehen keine Interessenskonflikte. Insbesondere wurde die vorliegende Untersuchung nicht durch Firmenmittel unterstützt / finanziert.

6. ANHÄNGE

Anhang 1: Fragebogen

Fragebogen zu Thorax-Drainagesystemen

Wir stellen aktuell unsere Thoraxdrainagesystem um. Es ist noch nicht völlig klar, welches System die beste Patientensicherheit bietet, das angenehmste Handling erlaubt und wie die entstehenden Kosten für die Systeme zu rechtfertigen sind.

Im Rahmen einer Doktorarbeit und um v.a. besser abschätzen zu können, welche Gerätschaften sich in Anwendung am besten bewähren, möchten wir auch Ihre Stellungnahme bzw. Einschätzung beachten.

Kreuzen Sie bitte an, was Ihrer Meinung nach zutrifft. Sie nehmen damit direkten Einfluss auf die Art der zukünftigen Thoraxdrainagesysteme.

Vielen Dank für die Zeit, die Sie sich genommen haben!

Ich gehöre folgender Berufsgruppe an (auch Mehrfachantworten):

- | | |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> OP-Pflege | <input type="checkbox"/> Arzt/Ärztin im OP |
| <input type="checkbox"/> Pflege auf Intensivstation | <input type="checkbox"/> Arzt/Ärztin auf Intensivstation |
| <input type="checkbox"/> Pflege auf Normalstation | <input type="checkbox"/> Arzt/Ärztin auf Normalstation |

Berufserfahrung

- bis 5 Jahre 5 – 10 Jahre mehr als 10 Jahre

Alter / Geschlecht

- bis 30 Jahre 30 – 40 Jahre 40 – 50 Jahre > 50 Jahre
- weiblich männlich

5 – 7 min
Bearbeitungszeit

Ich arbeite regelmäßig mit folgenden Drainagesystem:

Medela Topaz (+)

JA Nein



ATMOS C051(klein)

JA Nein



ATMOS S201 (groß)

JA Nein



Covidien -Kiste

Ja Nein



Covidien „Bülow-Drainage-Kiste“



Inbetriebnahme

äußerst unzufrieden	ziemlich unzufrieden	etwas unzufrieden	wenig zufrieden	ziemlich zufrieden	äußerst zufrieden
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Konnektierung Schlauchsystem

äußerst unzufrieden	ziemlich unzufrieden	etwas unzufrieden	wenig zufrieden	ziemlich zufrieden	äußerst zufrieden
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sekretprobenentnahme





äußerst unzufrieden	ziemlich unzufrieden	etwas unzufrieden	wenig zufrieden	ziemlich zufrieden	äußerst zufrieden
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Die Gerätehalterungen für die Bettbefestigung ist sehr gut praxistauglich?





	äußerst unzutreffend	ziemlich unzutreffend	etwas unzutreffend	etwas zutreffend	ziemlich zutreffend	äußerst zutreffend
altes Schwerkraftsystem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Medela Topaz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ATMOS (C051)klein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Atmos (S201) groß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>







Das Gerät eignet sich sehr gut für Patienten der Normalstation?

	äußerst unzutreffend	ziemlich unzutreffend	etwas unzutreffend	etwas zutreffend	ziemlich zutreffend	äußerst zutreffend	
altes Schwerkraftsystem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Medela Topaz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ATMOS (C051)klein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Atmos (S201) groß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	





Die Sekretbeschaffenheit (trüb (Chylothorax) , klar (Seröser Erguss), blutig bis Blutung etc.) lässt sich sehr gut einschätzen

	äußerst unzutreffend	ziemlich unzutreffend	etwas unzutreffend	etwas zutreffend	ziemlich zutreffend	äußerst zutreffend	
altes Schwerkraftsystem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Medela Topaz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ATMOS (C051)klein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Atmos (S201) groß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	





Die Füllstandshöhen lassen sich sehr gut ablesen

	äußerst unzutreffend	ziemlich unzutreffend	etwas unzutreffend	etwas zutreffend	ziemlich zutreffend	äußerst zutreffend	
altes Schwerkraftsystem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Medela Topaz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ATMOS (C051)klein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Atmos (S201) groß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Der Gesamteindruck der Gerätschaft als Ganzes ist sehr gut

	äußerst unzutreffend	ziemlich unzutreffend	etwas unzutreffend	etwas zutreffend	ziemlich zutreffend	äußerst zutreffend	
altes Schwerkraftsystem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Medela Topaz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ATMOS (C051)klein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Atmos (S201) groß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Dieses Thorax-Drainage-Systeme möchte ich in Zukunft benutzen

	äußerst unzutreffend	ziemlich unzutreffend	etwas unzutreffend	etwas zutreffend	ziemlich zutreffend	äußerst zutreffend	
altes Schwerkraftsystem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Medela Topaz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ATMOS (C051) klein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Atmos (S201) groß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Anmerkung: Auf der Rückseite des jeweiligen Thoraxdrainagesystems befand sich ein Freitextfeld, wo die Anwender ihre eigenen Erfahrungen verschriftlichen konnten. Dies wird beispielhaft anhand des Gerätes Thopaz+® einmalig aufgeführt (siehe unten).

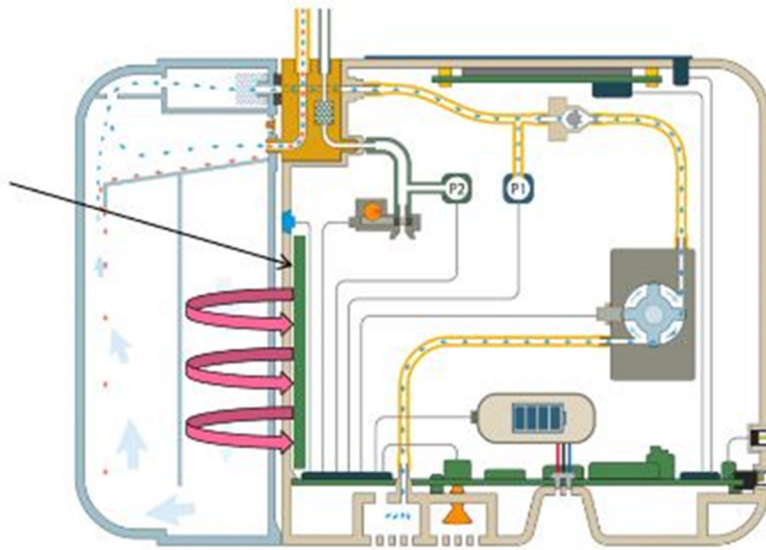
Medela Topaz (+)



Hier können Sie noch weitere Angaben notieren:

Probleme bei Anwendung? Vorteile / Nachteile?

Anhang 2: Kapazitive Messung



Hier ist ein digitales Thoraxdrainagegerät der Firma Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG dargestellt. Die Messung des Füllstandes der Flüssigkeit im externen Behältnis wird mittels kapazitiver Kopplung durchgeführt. Die roten Pfeile stellen die elektromagnetischen Wellen dar. Der dünne schwarze Pfeil zeigt auf die Empfängerfläche, welche die elektromagnetischen Wellen detektiert und auf diese Weise die Füllstandshöhe im externen Behältnis gemessen wird (DocPlayer.org 2022).

7. LITERATURVERZEICHNIS

Aboyans V, Lacroix P, Guilloux J, Rollé F, Le Guyader A, Cautrès M, Cornu E, Laskar M (2005): A predictive model for screening cerebrovascular disease in patient undergoing coronary artery bypass grafting. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 4, 90-95

Abramov D, Yeshaaiahu M, Tsodikov V, Gatot I, Orman S, Gavriel A, Chorni I, Tuvbin D, Tager S, Apelbom A (2005): Timing of Chest Tube Removal After Coronary Artery Bypass Surgery. *J Card Surg* 20, 142-146

Al-Ghamdi B, Mallawi Y, Shafquat A, Ledesma A, AlRuwaiti N, Shoukri M, Khan S, Al Sanei A (2016): Predictors of Permanent Pacemaker Implantation After Coronary Artery Bypass Grafting and Valve Surgery in Adult Patients in Current Surgical Era. *Cardiol Res* 7, 123-129

Andreasen JJ, Sørensen GVB, Abrahamsen ER, Hansen-Nord E, Bundgaard K, Bendtsen MD, Troelsen P (2016): Early chest tube removal following cardiac surgery is associated with pleural and/or pericardial effusions requiring invasive treatment. *Eur J Cardiothorac Surg* 49, 288-292

Anegg U, Lindenmann J, Matzi V, Mujkic D, Maier A, Fritz L, Smolle-Jüttner FM (2006): AIRFIX®: the first digital postoperative chest tube airflowmetry—a novel method to quantify air leakage after lung resection. *Eur J Cardiothorac Surg* 29, 867-872

Arai H, Tajiri M, Kameda Y, Shiino K, Ando K, Okudela K, Masuda M (2018): Evaluation of a digital drainage system (Thopaz) in over 250 cases at a single site: A retrospective case-control study. *Clin Respir J* 12, 1454-1459

Barozzi L, Biagio LS, Meneguzzi M, Courvoisier DS, Walpoth BH, Faggian G (2020): Novel, digital, chest drainage system in cardiac surgery. *J Card Surg* 35, 1492-1497

Beckmann A, Meyer R, Lewandowski J, Markewitz A, Gummert J (2021): German Heart Surgery Report 2020: The Annual Updated Registry of the German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery. *Thorac Cardiovasc Surg* 69, 294-307

Bertolaccini L, Rizzardi G, Filice MJ, Terzi A (2011): 'Six Sigma approach' — an objective strategy in digital assessment of postoperative air leaks: a prospective randomised study. *Eur J Cardiothorac Surg* 39, e128-e132

Biancari F, Mikkola R, Heikkinen J, Lahtinen J, Airaksinen KEJ, Juvonen T (2012): Estimating the risk of complications related to re-exploration for bleeding after adult cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg* 41, 50-55

Brunelli A, Salati M, Refai M, Di Nunzio L, Xiumé F, Sabbatini A (2010): Evaluation of a new chest tube removal protocol using digital air leak monitoring after lobectomy: a prospective randomised trial. *Eur J Cardiothorac Surg* 37, 56-60

Cardinal Health (2022): Sentinel Seal™ Thoraxdrainage-Einheit. https://www.cardinal-health.de/de_de/medical-products/operating-room/cardiothoracic/chest-drainage/sentinel-seal-chest-drainage-unit.html; abgerufen am 21.02.2022

Carmona P, Mateo E, Casanovas I, Peña JJ, Llagunes J, Aguar F, Andrés JD, Errando C (2012): Management of Cardiac Tamponade After Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 26, 302-311

Cerfolio RJ, Bryant AS (2008): The Benefits of Continuous and Digital Air Leak Assessment After Elective Pulmonary Resection: A Prospective Study. *Ann Thorac Surg* 86, 396-401

Cerfolio RJ, Varela G, Brunelli A (2010): Digital and Smart Chest Drainage Systems to Monitor Air Leaks: The Birth of a New Era? *Thorac Surg Clin* 20, 413-420

Chen B, Xie G, Lin Y, Chen L, Lin Z, You X, Xie X, Dong D, Zheng X, Li D et al. (2021): A systematic review and meta-analysis of the effects of early mobilization therapy in patients after cardiac surgery. *Medicine (Baltimore)* 100, e25314

Cho HM, Hong YJ, Byun CS, Hwang JJ (2016): The usefulness of Wi-Fi based digital chest drainage system in the post-operative care of pneumothorax. *J Thorac Dis* 8, 396-402

Cooper ID, Johnson TP (2016): How to use survey results. *J Med Libr Assoc* 104, 174-177

Cremer J, Schöttler J: Koronare Herzerkrankung (KHK). In: Ziemer G, Haverich A (Hrsg.): *Herzchirurgie*. 3. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 2010, 569-588

DGTHG (2021): Thorac Cardiovasc Surg 2021. DGTHG-Leistungsstatistik 2020 (Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie). https://www.dgthg.de/sites/default/files/Grafiken-DGTHG-Leistungsstatistik%202020_free-access_0.pdf; Folie 15/26; abgerufen am 24.02.2022

Dixon B, Reid D, Collins M, Newcomb AE, Rosalion A, Yap CH, Santamaria JD, Campbell DJ (2014): The Operating Surgeon Is an Independent Predictor of Chest Tube Drainage Following Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 28, 242-246

DocPlayer.org (2022): Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG. Einweisung in das digitale Thoraxdrainage System: Thopaz+ (2015). Technologie Flüssigkeitsmessung. <https://docplayer.org/47700546-Einweisung-in-das-digitale-thoraxdrainage-system-thopaz.html>; Seite 17/49; abgerufen am 21.02.2022

- Ennker J, Bauer S, Konertz W: Herzchirurgie. Georg Thieme, Stuttgart 2002
- Filosso PL, Nigra VA, Lanza G, Costardi L, Bora G, Solidoro P, Cristofori RC, Molinatti M, Lausi PO, Ruffini E et al. (2015): Digital versus traditional air leak evaluation after elective pulmonary resection: a prospective and comparative mono-institutional study. *J Thorac Dis* 7, 1719-1724
- Filosso PL, Ruffini E, Solidoro P, Molinatti M, Bruna MC, Oliaro A (2010): Digital air leak monitoring after lobectomy for primary lung cancer in patients with moderate COPD: can a fast-tracking algorithm reduce postoperative costs and complications? *J Cardiovasc Surg* 51, 429-433
- Gambazzi F, Schirren J (2003): Thoraxdrainagen. *Chir* 74, 99-107
- George RS, Papagiannopoulos K (2016): Advances in chest drain management in thoracic disease. *J Thorac Dis* 8, S55-S64
- Graeb F: Pflege von Patienten mit einer Thoraxdrainage. In: Kiefer T (Hrsg.): Thoraxdrainagen. 1. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 2016, 83-94
- Halm MA (2007): To Strip or Not to Strip? Physiological Effects of Chest Tube Manipulation. *Am J Crit Care* 16, 609-612
- Hashmi U, Nadeem M, Aleem A, Khan FUHH, Gull R, Ullah K, Khan IH (2018): Dysfunctional Closed Chest Drainage - Common Causative Factors and Recommendations for Prevention. *Cureus* 10, e2295
- Hassan K, Bayer N, Schlingloff F, Oberhoffer M, Wohlmuth P, Schmoeckel M, Geidel S (2018): Bleeding Complications After Use of Novel Oral Anticoagulants in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Ann Thorac Surg* 105, 702-708
- Heberer G, Schildberg FW, Sunder-Plassmann L, Vogt-Maykopf I (Hrsg.): Lunge und Mediastinum. 2. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 1991
- Kanejima Y, Shimogai T, Kitamura M, Ishihara K, Izawa KP (2020): Effect of Early Mobilization on Physical Function in Patients after Cardiac Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health* 17, 7091
- Kiefer T: Verschiedene Drainagesysteme und -philosophien. In: Kiefer T (Hrsg.): Thoraxdrainagen. 1. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 2016, 47-58
- Lijkendijk M, Licht PB, Neckelmann K (2015): Electronic versus traditional chest tube drainage following lobectomy: a randomized trial. *Eur J Cardiothorac Surg* 48, 893-898

- Lim-Levy F, Babler SA, De Groot-Kosolcharoen J, Kosolcharoen P, Kroncke GM (1986): Is Milking and Stripping Chest Tubes Really Necessary? *Ann Thorac Surg* 42, 77-80
- Linder A (2014): Chest tube management following lung resections. *Zentralbl Chir* 139, S50-S58
- Loop FD, Lytle BW, Cosgrove DM, Stewart RW, Goormastic M, Williams GW, Golding LAR, Gill CC, Taylor PC, Sheldon WC et al. (1986): Influence of the Internal-Mammary-Artery Graft on 10-Year Survival and Other Cardiac Events. *N Engl J Med* 314, 1-6
- Medela AG (2022): Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG. Thopaz Digitales Thoraxdrainage System. <https://www.medela.lu/de/healthcare/producten/cardiotoracic-drainage/thopaz>; abgerufen am 21.02.2022
- Medela AG (2022): Medela Medizintechnik GmbH & Co. Handels KG. Thopaz+ Digitales Thoraxdrainage und Monitoring System*. Digitales Display. <https://www.medelahealthcare.com/de-DE/produkte/herz-thoraxdrainage/thopaz>; abgerufen am 21.02.2022
- MedicalExpo (2022): ATMOS MedizinTechnik GmbH & Co. KG. Sekret-Absaugpumpe / mit Batterie C 051. <https://www.medicaexpo.de/prod/atmos-medizintechnik/product-67678-784109.html>; abgerufen am 21.02.2022
- Mehta RH, Grab JD, O'Brien SM, Bridges CR, Gammie JS, Haan CK, Ferguson TB, Peterson ED (2006): Bedside Tool for Predicting the Risk of Postoperative Dialysis in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Circulation* 114, 2208-2216
- Meybohm P, Muellenbach RM, Keller H, Fichtlscherer S, Papadopoulos N, Spahn DR, Greinacher A, Zacharowski K (2017): Patient Blood Management in der Herzchirurgie. *Z Für Herz-Thorax- Gefäßchirurgie* 31, 247-265
- Mier JM, Molins L, Fibla JJ (2010): The benefits of digital air leak assessment after pulmonary resection: Prospective and comparative study. *Cir Esp Engl Ed* 87, 385-389
- Pearse BL, Smith I, Faulke D, Wall D, Fraser JF, Ryan EG, Drake L, Rapchuk IL, Tesar P, Ziegenfuss M et al. (2015): Protocol guided bleeding management improves cardiac surgery patient outcomes. *Vox Sang* 109, 267-279
- Pompili C, Brunelli A, Salati M, Refai M, Sabbatini A (2011): Impact of the learning curve in the use of a novel electronic chest drainage system after pulmonary lobectomy: a case-matched analysis on the duration of chest tube usage. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 13, 490-493

Pompili C, Detterbeck F, Papagiannopoulos K, Sihoe A, Vachlas K, Maxfield MW, Lim HC, Brunelli A (2014): Multicenter International Randomized Comparison of Objective and Subjective Outcomes Between Electronic and Traditional Chest Drainage Systems. *Ann Thorac Surg* 98, 490-497

Ramos Dos Santos PM, Aquaroni Ricci N, Aparecida Bordignon Suster É, de Moraes Paisani D, Dias Chiavegato L (2017): Effects of early mobilisation in patients after cardiac surgery: a systematic review. *Physiotherapy* 103, 1-12

Rathinam S, Bradley A, Cantlin T, Rajesh PB (2011): Thopaz Portable Suction Systems in Thoracic Surgery: An end user assessment and feedback in a tertiary unit. *J Cardiothorac Surg* 6, 59

Saha S, Hofmann S, Jebran AF, Waezi N, Kutschka I, Friedrich MG, Niehaus H (2020): Safety and efficacy of digital chest drainage units compared to conventional chest drainage units in cardiac surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 31, 42-47

Schmid C: Leitfaden Erwachsenenherzchirurgie. Steinkopff, Darmstadt 2002

Sievers HH, Misfeld M: Erworbene Vitien der Aortenklappe. In: Ziemer G, Haverich A (Hrsg.): *Herzchirurgie*. 3. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 2010, 601-634

Solf MA, Gansera LS (Hrsg.): *BASICS Herzchirurgie: Herzchirurgie erworbener Pathologien: Aortenochirurgie*. 1. Auflage; Elsevier, München 2012

Stockhausen D: Thoraxdrainage, Entfernung. In: Siebert CH, Birnbaum K, Heller KD (Hrsg.): *Tipps und Tricks für den Orthopäden und Unfallchirurgen*. 2. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 2010, 319-333

St-Onge S, Chauvette V, Hamad R, Bouchard D, Jeanmart H, Lamarche Y, Perrault LP, Demers P (2021): Active clearance vs conventional management of chest tubes after cardiac surgery: a randomized controlled study. *J Cardiothorac Surg* 16, 44

Strobel RJ, Liang Q, Zhang M, Wu X, Rogers MAM, Theurer PF, Fishstrom AB, Harrington SD, DeLucia A, Paone G, et al. (2016): A Preoperative Risk Model for Postoperative Pneumonia After Coronary Artery Bypass Grafting. *Ann Thorac Surg* 102, 1213-1219

UMG HTG (2022): Universitätsmedizin Göttingen. Herzklappenchirurgie in der Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie. Aortenklappe. <https://htg.umg.eu/patienten-besucher/klinische-bereiche/herzchirurgie/herzklappenchirurgie/aortenklappe/>; abgerufen am 21.02.2022

UMG HTG (2022): Universitätsmedizin Göttingen. Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie. Moderne Koronarchirurgie. <https://htg.umg.eu/patienten-besucher/klinische-bereiche/herzchirurgie/koronarchirurgie/>; abgerufen am 21.02.2022

Van Linden A, Hecker F, Courvoisier DS, Arsalan M, Köhne J, Brei C, Holubec T, Walther T (2019): Reduction of drainage-associated complications in cardiac surgery with a digital drainage system: a randomized controlled trial. *J Thorac Dis* 11, 5177-5186

Wahlers T, Strauch JT: Chirurgie der erworbenen AV-Klappen-Erkrankungen. In: Ziemer G, Haverich A (Hrsg.): *Herzchirurgie*. 3. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 2010, 635-663

Wang H, Hu W, Ma L, Zhang Y (2019): Digital chest drainage system versus traditional chest drainage system after pulmonary resection: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiothorac Surg* 14, 13

Zardo P, Busk H, Kutschka I (2015): Chest tube management: state of the art. *Curr Opin Anesthesiol* 28, 45-49

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei Herrn Prof. Dr. med. Ingo Kutschka, Klinikdirektor für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie, für die Möglichkeit der Erstellung einer Promotionsarbeit in der genannten Fachabteilung bedanken.

Für das interessante Thema, das ich bearbeiten durfte, bin ich Herrn PD Dr. med. Martin Friedrich sehr dankbar.

Frau PD Dr. med. Heidi Niehaus spreche ich meinen ganz besonderen Dank für die hervorragende Betreuung aus. Außerdem möchte ich mich bedanken, dass ich unter ihrer Leitung mein chirurgisches PJ-Tertial auf der herzchirurgischen Intensivstation absolvieren durfte. Hierdurch konnte ich viele wertvolle Erfahrungen sowohl für die Promotionsarbeit als auch für meinen weiteren Werdegang als Ärztin gewinnen.

Ein weiterer Dank gilt Herrn Dr. med. Shekhar Saha für sein großes Engagement bei der statistischen Auswertung sowie bei der Erstellung der wissenschaftlichen Publikation.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei allen ärztlichen sowie pflegerischen Kolleginnen und Kollegen aus dem Fachbereich der Herzchirurgie, die mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen.