

Klinik für Kinderkardiologie und angeborene Herzfehler des
Deutschen Herzzentrums München des Freistaates Bayern
Klinik an der Technischen Universität München
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. J. Hess, Ph. D.)

**Stellenwert der modernen Computertomographie
als bildgebendes Verfahren
bei angeborenen Herzfehlern
- unter besonderer Berücksichtigung von Erwachsenen mit
angeborenen Herzfehlern (EMAH)**

Farid Pournalikhan

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

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. J. Hess, Ph.D.

2. apl. Prof. Dr. Dr. H. Kaemmerer

Die Dissertation wurde am 20.04.2010 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 16.06.2010 angenommen.

Meiner Familie gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	5
1. EINLEITUNG	7
1.1. Allgemeine Problematik	7
1.1.1 Epidemiologie und Systematik der angeborenen Herzfehler	7
1.2 Ziel der nachfolgenden Untersuchung	11
1.3 Spezieller Teil	11
1.3.1 Grundlagen der Computertomographie	11
1.3.1.1 Historisches	11
1.3.1.2 Technische Grundlagen	13
1.3.1.3 Multiplanare Rekonstruktion	14
1.3.1.4 Maximum-Intensitäts-Rekonstruktion	15
1.3.1.5 Volume-Rendering-Technik	15
1.3.1.6 Kontrastmittel	15
1.3.1.7 EKG-Triggerung	16
1.3.1.8 Technische Besonderheiten	17
1.3.1.9 Indikationen und Kontraindikationen zur MSCT	17
2. PATIENTEN und METHODIK	18
2.1 Patienten	18
3. STATISTISCHE AUSWERTUNG	19
3.1 Ergebnisse	19
3.1.1 Geschlechtsverteilung	19
3.1.2 Altersverteilung	20
3.1.3 Einteilung der Patienten in Abhängigkeit vom zu Grunde liegenden Herzfehler	21
3.1.4 Behandlungsstatus der Patienten	23
4. DURCHGEFÜHRTE MSCT-UNTERSUCHUNGEN	24
4.1 Anzahl	24
4.2 Untersuchte anatomische Regionen	25
4.3 Zeitliche Zuordnungen der Untersuchungen im Krankheitsverlauf	27
4.3.1 Nicht-operierte Patienten	27

	<u>Seite</u>
4.3.2 Patienten im peri-/postoperativen oder peri-/post-interventionellen Verlauf	28
4.4 Fragestellungen an die MSCT praeoperativ oder interventionell	29
4.4.1 Fragestellungen an die MSCT früh-postoperativen oder früh-postinterventionell	30
4.4.2 Fragestellungen an die MSCT in der Langzeit-Verlaufskontrolle	32
4.5 Diagnosebezogene Fragestellungen an das MSCT	35
4.5.1 Lungenembolie	35
4.5.2 N/A cerebrales Geschehen	37
4.5.3 Beschwerden nach Sternotomie	39
4.5.4 Aortenaneurysma	40
4.5.5 Entzündliche Prozesse	41
4.5.6 Choanalatresie	43
4.5.7 Haemoptysen	44
4.5.8 N/A thorakaler Gefäßmalformationen	44
4.5.9 Spezielle Fragestellungen	46
4.6 Indikationsverteilung innerhalb der Hauptgruppen	47
4.7 Kontrastmittelgabe und EKG-Triggerung	50
4.8 Aussagekraft	51
5. DISKUSSION	53
6. ZUSAMMENFASSUNG	66
7. LITERATURVERZEICHNIS	68
8. VERZEICHNIS DER TABELLEN	76
9. VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	78

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Erklärung

AHF	Angeborene Herzfehler
ASD	Vorhofseptumdefekt
ccTGA	Congenital korrigierte Transposition der großen Gefäße
CoA	Aortenisthmusstenose
DIV	Double-inlet ventricle
DORV	Double-outlet right ventricle
DORV-TGA	Double-outlet right ventricle mit Transposition der großen Gefäße
EMAH	Erwachsene mit angeborenem Herzfehler
HF	Herzfehler
HK	Herzkatheter
HLH	Hypoplastisches Linksherz
i.v. DSA	intravenöse digitale Subtraktionsangiographie
MOD	Magnet-Optischer-Datenträger
MPR	Multiplanare 2D-Reformationen
MRT	Magnetresonanztomographie
MSCT	Multislice-Computertomographie
OP	Operation
PA-VSD	Pulmonalatresie mit Ventrikelseptumdefekt
PDA	Persistierender Ductus arteriosus Botalli
PET	Positronenemissionstomographie
PFO	Persistierendes Foramen ovale
PLVCS	persistierende linke obere Hohlvene
PV	pulmonalvenös
ROI	Region of Interest

RV	Rechter Ventrikel
RVOT	rechtsventrikulärer Ausflusstrakt
RVOTO	Obstruktion des rechtsventrikulären Ausflusstrakt
S-CT	Spiral-Computertomographie
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie
SV	systemvenös
TAC	Truncus arteriosus communis
TEE	transösophageale Echokardiographie
TGA	Transposition der großen Gefäße
TOF	Falot'sche Tetralogie
TTE	transthorakale Echokardiographie
VSD	Ventrikelseptumdefekt
VHU	Vorhofumkehr

1. EINLEITUNG

1.1 Allgemeine Problematik

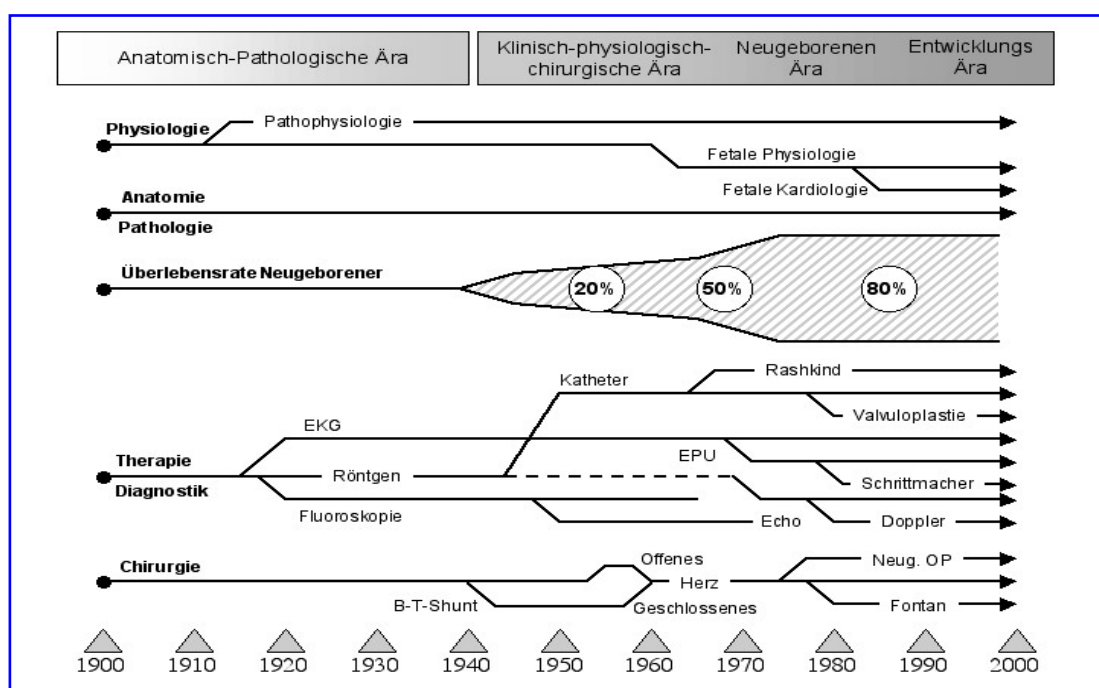
1.1.1 Epidemiologie und Systematik der angeborenen Herzfehler

Etwa 8-10 von Tausend Kindern, die geboren werden, haben einen angeborenen Herzfehler oder eine Fehlbildung der großen Gefäße. Angeborene Herzfehler stellen somit die häufigste isolierte angeborene Organanomalie dar. Auf Deutschland bezogen bedeutet dies, dass im Jahr etwa 6500 Kinder mit einem funktionell bedeutsamen Herzfehler geboren werden. Dabei handelt es sich in 70 % der Fälle um einfache, in 30 % um komplexe Anomalien [20].

Noch vor wenigen Jahrzehnten lag die Überlebensrate bei haemodynamisch relevanten angeborenen Herzfehlern bei lediglich 20 %. Beginnend in den 30er Jahren ließ sich die Überlebensraten dieser Patienten drastisch steigern. Dies ist auf die Entwicklung therapeutischer Möglichkeiten, insbesondere im Bereich der Herzchirurgie, zurückzuführen (Abb. 1.1.1).

Die operative Behandlung war aber erst möglich, nachdem eine sichere Diagnose intra vitam gestellt werden konnte. Hierbei kommt den bildgebenden Verfahren der größte Stellenwert zu.

Abb. 1.1.1: Entwicklung der Behandlung der AHF (Neill u. Clark: *The developing heart*, 1995)



Bis zum heutigen Tag konnte die Letalität bei angeborenen Herzfehlern auf weniger als 10 % reduziert werden [20, 53] und immer mehr Patienten erreichen das Erwachsenenalter (Tab. 1.1.1).

Tab. 1.1.1: *Entwicklung der Überlebensraten der Patienten mit AHF in Abhängigkeit vom Schweregrad der Erkrankung (Warnes CA et al JACC 2001, 37, 1170 ff)*

Geburtsjahrgang	Einfache AHF	Mittelschwere AHF	Komplexe AHF
1940-1959	90	55	10
1960-1979	95	65	50
1980-1989	95	90	80

Patienten mit angeborenen Herzfehlern können grundsätzlich drei verschiedenen Gruppen zugeordnet werden (vgl. Tab. 1.1.2).

Tab. 1.1.2: *Gruppierung von Patienten mit angeborenen Anomalien des Herzens und der großen Gefäße (nach Bahlmann, 1997)*

A) nicht-operierte Patienten (natural-survivors)
Fehlbildungen, die keiner Korrektur bedurften Fehlbildungen, die noch operabel sind inoperable Fehlbildungen
B) operierte Patienten
nach Korrektur- Operationen nach Palliativ- Operationen
C) nach interventionellen Eingriffen

Seit den ersten operativen Korrekturingriffen im Jahr 1938, dem Verschluss eines offenen Ductus Botalli durch Frey (Düsseldorf) [23] bzw. durch Robert E. Gross (Boston), sind immer mehr Herzfehler einer operativen Behandlung zugeführt worden.

Waren in der Frühphase der Herzchirurgie viele Eingriffe nur als Palliativ-Operation möglich, so konnten in der Folgezeit immer mehr korrigierende Operationen entwickelt werden.

Leider ist aber auch bis heute nur in den wenigsten Fällen eine vollständige Korrektur zu erzielen. Diese würde nach einer Definition von J. Stark (London) die dauerhafte Herstellung einer normalen Funktion sowie eine Normalisierung der Lebenserwartung beinhalten, so dass zu keiner Zeit weitere medizinische oder chirurgische Maßnahmen erforderlich waren. Alle anderen Eingriffe werden von ihm als „fragliche Korrekturen“ oder als Palliativeingriff bezeichnet [29].

Grundsätzlich muss also bei allen Patienten, bei denen ein operativer Eingriff wegen eines AHF vorgenommen wurde, mit relevanten Rest- und Folgezuständen gerechnet werden [30].

Restzustände beschreiben dabei anatomische oder haemodynamische Normabweichungen, die schon als Teil der angeborenen Fehlbildung praeexistent waren oder die sich als Folge des Herzfehlers entwickelt haben.

Demgegenüber versteht man unter Folgezuständen anatomische oder haemodynamische Nachwirkungen des Eingriffs selbst, die zum Zeitpunkt der Operation nicht vermeidbar waren (vgl. Tab. 1.1.3).

Aus diesen Tatsachen lässt sich klar ableiten, dass alle Patienten mit angeborenen Herzfehlern, nativ oder behandelt, lebenslang einer kardiologischen Überwachung bedürfen. Hierbei kann auf die Anwendung bildgebender Untersuchungen nicht mehr verzichtet werden.

Mit ihnen wird nach anatomischen und funktionellen Rest- und Folgezuständen gesucht, die in vielen Fällen für den jeweiligen Herzfehler bzw. das verwendete Behandlungsverfahren typisch sind (Tab. 1.1.3).

Zur Verlaufkontrolle sowie zur prae- und postoperativen oder -interventionellen Beurteilung von Patienten mit AHF werden heutzutage regelhaft bildgebende Verfahren eingesetzt.

Die transthorakale und transoesophageale Echokardiographie ist sicherlich als bildgebendes Verfahren am weitesten verbreitet und stellt aufgrund fehlender Strahlenbelastung und der dynamischen Untersuchungsmöglichkeit das Verfahren der Wahl in der Verlaufskontrolle dieser Patienten dar. Die Aussagekraft ist allerdings nicht selten durch ein eingeschränktes Schallfenster im Adoleszenten- und im Erwachsenenalter geringer als im Kindesalter.

Zunehmenden Stellenwert bekommen inzwischen die Magnetresonanztomographie (MRT) und die neueren computertomographischen Verfahren.

Tab. 1.1.3: *Bedeutsame anatomische und funktionelle Rest- und Folgezustände nach operativer oder interventioneller Behandlung wichtiger angeborener Herzfehler*

Vitium	Restzustand	Folgezustand
Pulmonal-/Aortenklappenstenose	<ul style="list-style-type: none"> • Restgradient • Ventrikel-Dysfunktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Klappeninsuffizienz
Aortenisthmusstenose	<ul style="list-style-type: none"> • Restgradient • arterieller Hypertonus • bicuspide Aortenklappe 	<ul style="list-style-type: none"> • Restenose • Aortenaneurysma • subclavia sin. Schäden
Vorhofseptumdefekt	<ul style="list-style-type: none"> • Rest-Shunt • RV-Dysfunktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Postkardiotomie-Syndrom • Rhythmusstörungen
Ventrikelseptumdefekt	<ul style="list-style-type: none"> • Rest-Shunt • pulmonale Hypertonie 	<ul style="list-style-type: none"> • Rhythmusstörungen • Block • Trikuspidalinsuffizienz
Fallot'sche Tetralogie	<ul style="list-style-type: none"> • Restgradient • Restdefekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Pulmonalinsuffizienz • RVOT-Aneurysma • Rhythmusstörungen • Block
Komplette Transposition der großen Gefäße	<ul style="list-style-type: none"> • RV als Systemventrikel • Trikuspidalinsuffizienz • RVOTO • Rest-Shunt 	<ul style="list-style-type: none"> • SV-/PV-Baffle-Obstruktion • Rhythmusstörungen
Zustand nach Conduit-Interposition	<ul style="list-style-type: none"> • Rest-Shunt • Ventrikeldysfunktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Verkalkungen • Degeneration
Zustand nach Fontan-Operation	<ul style="list-style-type: none"> • Rest-Shunt • Ventrikel-Dysfunktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstruktionen • Thromben • Eiweißverlustsyndrom

Nach Kaemmerer, 2006

1.2 Ziel der nachfolgenden Untersuchung

Zur prae-, peri- und postoperativen Untersuchung von Patienten mit angeborenen Herzfehlern stehen unterschiedlich invasive und nicht-invasive Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Stärken dieser Verfahren in bestimmten Bereichen werden durch Schwächen auf anderen Gebieten gemindert, so dass Kombinationen unterschiedlicher Untersuchungstechniken angewandt werden müssen um eine umfassende Beurteilung zu erzielen.

Die vorliegende Studie soll Möglichkeiten und Grenzen der MSCT bei AHF aufzeigen und anhand des Patientengutes eines hoch spezialisierten Zentrums helfen, den Stellenwert der MSCT als Untersuchungsmethode zu definieren.

Im Einzelnen sollte am Patientengut eines hoch spezialisierten Zentrums der Maximalversorgung dabei geklärt werden,

- bei welchen angeborenen Herzfehlern besteht die Indikation zu einer MSCT,
- zu welchem Zeitpunkt im Verlauf der Erkrankung besteht die Indikation zu einer MSCT,
- welche Fragestellungen sollen beantwortet werden,
- welche Fragestellung treten bei spezifischen Herzfehlern auf, und
- welche Untersuchungsprotokolle finden Anwendung.

1.3 Spezieller Teil

1.3.1 Grundlagen der Computertomographie

1.3.1.1 Historisches

Bereits 1895 wurde von Wilhelm Röntgen die gleichnamige Strahlung beschrieben, die später auch klinisch eingesetzt wurde. Röntgen erhielt für diese Entdeckung 1901 den Medizin-Nobelpreis.

1929 entwickelte Radon die mathematischen Grundlagen für die Anwendbarkeit der Computertomographie (CT). Ihre klinische Anwendung geht auf Godfrey N.

Hounsfields und Allan M. Cormack zurück, die sie beide unabhängig voneinander entwickelten und dafür 1979 gemeinsam den Medizin-Nobelpreis erhielten. In seiner Dankesrede erwähnte Hounsfield bereits visionär die Anwendung der CT zur Herzuntersuchung [17].

Der erste Computertomograph für Schädeluntersuchungen wurde 1971 im Atkinson-Morley Hospital in Wimbledon aufgestellt. Ihm folgte 1974 der erste Ganzkörper-Computertomograph.

Die weitere Entwicklung der CT vollzog sich sprunghaft in größeren zeitlichen Abständen.

Die Weiterentwicklung zur Spiralcomputertomographie ermöglichte die schnelle Untersuchung eines großen Volumens. Bei dieser Technik rotieren Strahlenquelle und Detektor kontinuierlich um den Patienten, während dieser auf einem Tisch durch die Untersuchungseinheit gefahren wird.

Die nächsten technischen Verbesserungen resultierten aus der Änderung des abtastenden Röntgenstrahles zu einem fächerförmigen Strahl und aus einer Verbesserung der Zahl und Qualität der Detektoren. Die Anwendung mehrerer Detektoren markierte die Geburtsstunde der Multidetektor- oder Multislice-Computertomographie (MS-CT).

1991 kam der Elscint CT Twin, der erste MSCT-Scanner oder Mehrzeilenscanner der Welt auf den Markt. Technisch wies er zwei parallele Reihen von Detektoren auf und konnte somit 2-Slices oder Zeilen pro Gantry-Rotation erfassen.

Erstmals waren nun eine dreidimensionale Rekonstruktion und die CT-Gefäßdarstellung möglich. Ein erheblicher Zuwachs in der Bildauflösung mit dünneren Schichten und eine deutliche Reduzierung der Untersuchungszeit erlaubte eine Erweiterung der klinischen Fragestellungen.

Die Entwicklung schritt dann rasch, über 4-, 16- und 64-Zeiler bis hin zu Prototypen mit 256 Zeilen fort.

2006 erfolgte die Vorstellung des ersten Dual-Source MSCT [8]. In diesem Gerät arbeiten zwei Strahlenquellen, die um 90° versetzt zueinander montiert sind. Damit

sind technisch zeitliche Auflösungen von 83 ms und somit die Erfassung extrem schneller Abläufe möglich.

1.3.1.2 Technische Grundlagen

Das Grundprinzip der CT besteht in der Abtastung der Untersuchungsschicht durch einen fächerförmigen Röntgenstrahl. Der Röntgeneinheit direkt gegenüber liegt der Detektor. Die gesamte Konstruktion ist in einem rotierenden Ring, der so genannten Gantry, montiert. Beim Durchfahren des Patienten durch die Gantry erfolgt die Abtastung des Patienten und die Nachbearbeitung der Informationen durch Computer.

Dabei werden so genannte Pixel oder Voxel berechnet, deren Größe von dem räumlichen Auflösungsvermögen des Scanners abhängt. Die Voxel selber werden in unterschiedlichen Grautönen dargestellt, abhängig von der Abschwächung der Röntgenstrahlen durch das untersuchte Gewebe. So wird Knochengewebe aufgrund der starken Abschwächung „weiß“, Luft „schwarz“ dargestellt. Je kleiner die mögliche Voxelgröße, desto genauer die Darstellung untersuchter Strukturen, da sich der so genannte „partial volume effect“ verringert. Dieser Effekt beschreibt die verfälschte Darstellung von zwei unterschiedlich röntgenstrahlen-abschwächenden Geweben innerhalb eines Voxels. Berücksichtigt wird dann nur das stärker absorbierende Gewebe, während der Teil der Information des Gewebes, der geringer absorbiert wird, verloren geht. Die Voxelgröße ist vom Auflösungsvermögen der Röntgenstrahldetektoren abhängig, nicht aber von der Zeilenzahl des Gerätes.

Das zeitliche Auflösungsvermögen des Scanners wird durch die Rotationsgeschwindigkeit der Gantry um den Patienten festgelegt. Dabei entspricht die zeitliche Auflösung der Hälfte der Gantryrotation. Mittlerweile werden Gantryrotationen für eine volle Umdrehung von 330 ms erreicht. Allerdings stößt das Verfahren hier an physikalische Grenzen, da die Zentrifugalkräfte so stark werden, dass es bei einer weiteren Beschleunigung der Gantryrotation zunehmend schwieriger wird, verwertbare Bilder zu erhalten.

Die Geschwindigkeit des Tischvorschubes und damit die Geschwindigkeit mit welcher der Patient durch die Gantry fährt, werden als „Pitch“ bezeichnet.

Tab. 1.3.1.2: Vergleich der räumlichen und zeitlichen Auflösung verschiedener Untersuchungsmethoden

	Räumliche Auflösung (mm)	Zeitliche Auflösung (ms)
Angiographie	0,2	5-20
16-Zeilen CT	0,5	200
64-Zeilen CT	0,4	165
Dual-Source 2x64-Zeilen CT	0,4	83
MRT	0,7	20

Nach Roberts, 2008

Das „Rohbild“ kann mit verschiedenen Techniken nachbearbeitet werden. In der vorliegenden Studie wurden die multiplanare Reformation (auch multiplanare Rekonstruktion genannt, MPR), die Maximum-Intensitäts-Rekonstruktion (MIP) und die Volume-Rendering-Technic (VRT) als Darstellungstechniken verwendet.

1.3.1.3 Multiplanare Rekonstruktion

Die Multiplanare Rekonstruktion (MPR) oder 3-D-Rekonstruktion beruht auf einer Segmentation der einzelnen Schnittbilder. Anhand der Grauwertstufen des CT-Bildes, welche wiederum auf der Hounsfield-Skala beruhen [3] wird diese berechnet.

Bei der heutzutage erreichbaren hohen Auflösung in allen drei Raumebenen ist es möglich, beliebige Schichtebenen im dreidimensionalen Raum zu rekonstruieren. Dies erleichtert deutlich die Zuordnung anatomischer Details gegenüber einer - wie früher üblich - alleinigen Darstellung in der Transversalebene des Patienten. So können Strukturen, wie zum Beispiel Gefäße, auch sagittal und coronar rekonstruiert werden - ein enormer Vorteil in der Diagnostik.

1.3.1.4 Maximum-Intensitäts-Rekonstruktion

Bei der Maximum-Intensitäts-Rekonstruktion (MIP) handelt es sich um ein Volumendarstellungsverfahren. Die Bilder entstehen durch Projektion des maximalen CT-Wertes in einer Raumrichtung. Dieses Verfahren wird hauptsächlich zur Gefäßdarstellung genutzt. Aufgrund einer frei wählbaren Rotationsachse können Bilder erzeugt werden, welche einer klassischen Angiographie ähneln und ihr zum Teil überlegen sind.

1.3.1.5 Volume-Rendering-Technik

Bei der Volume-Rendering-Technik (VRT) wird den CT-Werten eine Opazität zugeordnet. Dabei wird allen CT-Werten innerhalb eines Schwellenbereichs eine bestimmte Farbstufe zugeordnet. Alle Werte außerhalb dieses Bereichs kommen nicht zur Darstellung. Durch die Wahl der Opazität kann die Durchsichtigkeit des dargestellten Objekts bestimmt werden. Die VRT dient oft zur Darstellung von Gefäßstrukturen, wobei parenchymatöse Organe und knöcherne Strukturen nicht zu einer Überlagerung führen.

1.3.1.6 Kontrastmittel

Die intravenöse Kontrastmittelgabe ist Voraussetzung für eine Gefäßvisualisierung in der CT. Die heutzutage verwendeten jodhaltigen, nicht-ionischen, monomeren Kontrastmittel gelten als gut verträglich. Schwerwiegende Unverträglichkeitsreaktionen sind selten und liegen im Bereich von 0,04 % (schwere Nebenwirkungen) bis 0,004 % (sehr schwere Nebenwirkungen) [24].

Die Nephrotoxizität der Röntgenkontrastmittel ist hauptsächlich von der Kontrastmittelmenge und nephrologischen Vorerkrankungen abhängig. Bei Beachtung dieser Gegebenheiten kann das Risiko einer kontrastmittelinduzierten Nephropathie minimiert werden.

In der vorliegenden Studie wurde Iomeprol (Imeron®, Altana, Konstanz, Germany) als Kontrastmittel verwendet. Applikationsmenge und Flussgeschwindigkeit wurden Patientenalter, -gewicht und Fragestellung angepasst. Die Applikation erfolgte – insbesondere bei Kindern – von Hand oder mittels einer Injektionspumpe (Injektron CT2, Medtron, Saarbrücken, Deutschland). Nach der Kontrastmittelgabe wurde eine isotonische Natriumchlorid-Lösung (DeltaSelect®, DeltaSelect GmbH, Pfullingen, Germany) appliziert.

1.3.1.7 EKG-Triggerung

Ein modernes MSCT braucht, in Abhängigkeit von der Gantry-Rotation, dem „Pitch“ und der Größe des abgetasteten Feldes ca. 6–15 Sekunden um das Herz vollständig zu erfassen [38]. Die notwendigen Informationen müssen aus mehreren Herzzyklen errechnet werden.

Zur Verbesserung der Bildinformationen des Herzens und der herznahen Gefäße ist eine Synchronisation mit der Herzaktion nötig, um Pulsationseffekte auszuschalten, da diese – je nach Fragestellung – zu nicht verwertbaren Bildern führen können.

Prinzipiell kommen zwei verschiedene Techniken zur Anwendung: die prospektive EKG-Triggerung und das retrospektive EKG-Gating.

Bei der prospektiven EKG-Triggerung werden die Daten während des gesamten Herzzyklus akquiriert. Das Gerät erkennt im EKG die R-Zacke und scannt im nächsten Zyklus zur selben Zeit. Trotz des hohen Einsparpotentials an Röntgenstrahlung, ist diese Methode störanfällig, da Extrasystolen oder Arrhythmien die Untersuchungsergebnisse beeinflussen können.

Häufiger angewandt wird das retrospektive EKG-Gating, bei dem eine kontinuierliche Erfassung der Herzaktion erfolgt. Aus den vorliegenden Daten wird dann retrospektiv die Herzaktion rekonstruiert. Dabei tritt im Vergleich zur prospektiven EKG-Triggerung eine höhere Strahlenbelastung auf. Dieses Verfahren wird zum Beispiel zur Wandbewegungsanalyse des Herzens verwendet.

In der hier präsentierten Studie wurde hauptsächlich die prospektive EKG-Triggerung verwendet.

1.3.1.8 Technische Besonderheiten

Die Strahlendosis für ein Kardio-CT liegt bei ca. 10-15 mSv. Dies entspricht etwa dem Doppelten eines konventionellen Angiogramms. Durch technische Änderungen und unter Inkaufnahme von Qualitätseinschränkungen kann die Strahlendosis bis auf 5-6 mSv reduziert werden [18].

Wie bei allen Untersuchungen muss die Strahlendosis stets im Verhältnis zum potentiellen Informationsgewinn und den resultierenden therapeutischen Konsequenzen stehen. Die Indikationsstellung bleibt letztlich dem behandelnden Arzt überlassen. Dabei finden auch Risiken alternativer (z.B. invasiver) Untersuchungsmethoden Beachtung.

Wie schon erwähnt, können Arrhythmien die Untersuchung beeinträchtigen, wengleich durch die Entwicklung der Dual-Source Geräte eine geringere Störanfälligkeit besteht.

1.3.1.9 Indikationen und Kontraindikationen zur MSCT

Die klinische Anwendung einer cardialen CT-Untersuchung erfordert eine spezifische Patientenvorbereitung. Neben einem intravenösen Zugang zur Kontrastmitteldgabe kann u.U. bei tachyarrhythmischen Patienten die Gabe eines β -Blockers erforderlich sein. Nach Möglichkeit wird eine Herzfrequenz von 65 Schlägen/Minute angestrebt. Dies ist aber bei Kindern häufig nicht erreichbar. Bei β -Blocker-Unverträglichkeit kann alternativ ein frequenzwirksamer Calcium-Antagonist verabreicht werden.

Sofern es die Compliance zulässt, sollte die Untersuchung in Atemstillstand erfolgen.

Niereninsuffizienz, Orthopnoe, das Unvermögen flach zu liegen oder eine KM-Allergie stellen Kontraindikationen für eine kontrastmittelgestützte CT-Untersuchung dar.

2. PATIENTEN und METHODIK

2.1 Patienten

In die vorliegende, retrospektive Studie wurden in einem Zeitraum von 32 Monaten eine Kohorte von 195 Patienten der Klinik für Kinderkardiologie und angeborene Herzfehler des Deutschen Herzzentrums München eingeschlossen, die dort wegen eines AHF betreut wurden und bei denen die Indikation zu einer weiterführenden Untersuchung mittels Spiral-Computertomographie bestand.

An der Untersuchung waren folgende Kliniken und Mitarbeiter beteiligt:

- Deutsches Herzzentrum München, Klinik für Kinderkardiologie und angeborene Herzfehler (Prof. Dr. Dr. H. Kaemmerer, Prof. Dr. Dr. J. Hess),
- Institut für Röntgen (CA Dr. St. Martinoff, Dr. M. Pörner).

Die Spiral-Computertomographie wurde nur dann durchgeführt, wenn andere, weniger eingreifende und belastende Untersuchungsverfahren für die Klärung der spezifischen Fragestellung nicht ausreichend erschienen oder Kontraindikationen gesehen wurden. Als weitere bildgebende Untersuchungen standen transthorakale und/oder transösophageale Echokardiographie (TTE, TEE), konventionelle Röntgenaufnahmen, verschiedene szintigraphische Verfahren, die Magnetresonanztomographie oder die Angiokardiographie zur Verfügung.

Anhand der Patientenakten waren retrospektiv Aussagen über epidemiologische Patientendaten, die komplette Diagnose, bestehende Residualbefunde, Indikation, Ablauf und Resultat der MSCT und hieraus resultierende Konsequenzen getroffen worden.

3. STATISTISCHE AUSWERTUNG

Für die Charakterisierung der Verteilung quantitativer Merkmale wurden jeweils der Mittelwert sowie die Standardabweichung errechnet.

Weitere verwendete Kennzahlen sind der Median sowie Minimal- und Maximalwerte.

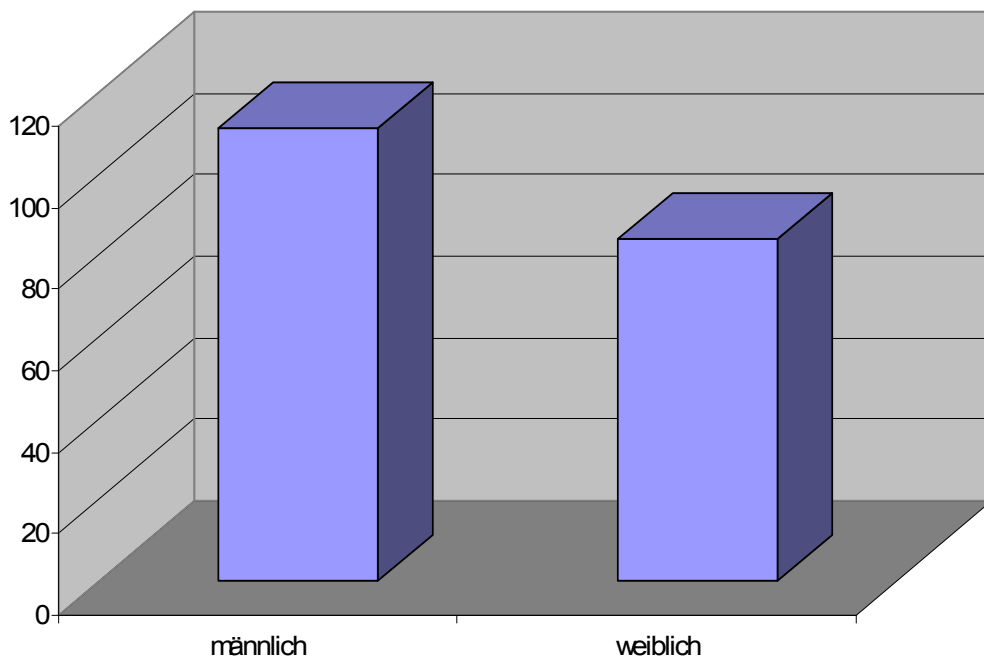
Die auf den gewonnenen Daten basierenden Graphiken sowie die statistische Auswertung wurden mit Microsoft Excel® und SPSS® erstellt.

3.1 Ergebnisse

3.1.1 Geschlechtsverteilung

Von den 195 Patienten waren 111 Männer und 84 Frauen. Das Geschlechtsverhältnis männlich zu weiblich betrug 1,3:1 (Abb. 3.1.1).

Abb. 3.1.1: Anzahl und Geschlechtsverteilung der in die Studie integrierten Patienten ($n=195$)

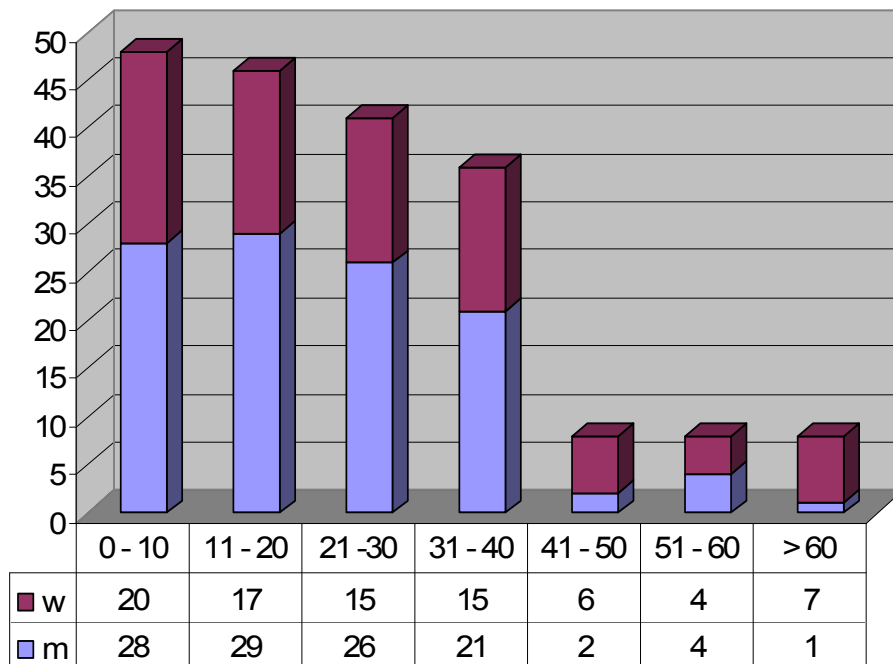


3.1.2 Altersverteilung

Das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung lag zwischen 3 Tagen und 73 Jahren, im Mittel bei $23,0 \pm 17,1$ Jahren (Median 22 Jahre).

Achtundvierzig Patienten (24,6 %) waren 10 Jahre alt oder jünger, 46 Patienten (23,6 %) waren zwischen 11-20 Jahre, 41 Patienten (21,0 %) 21-30 Jahre und 36 Patienten (18,5 %) 31-40 Jahre alt. In der Gruppe der 41-50-Jährigen waren 8 Patienten (4,1 %), 8 Patienten (4,1 %) waren im Alter von 51-60 und 8 Patienten (4,1 %) älter als 60 Jahre (vgl. Abb. 3.1.2).

Abb. 3.1.2: Altersverteilung in Dekaden aller in die Studie eingeschlossenen Patienten, Säulen getrennt nach Geschlecht



3.1.3 Einteilung der Patienten in Abhängigkeit vom zu Grunde liegenden Herzfehler

Die Patienten (n=195) wurden in Abhängigkeit von der zu Grunde liegenden, führenden Diagnose einer von acht Hauptgruppen (Gruppe 1-8) artverwandter angeborener Herzfehler zugewiesen.

Gruppe 1-3 (n=51) umfasst komplexe Herzfehler aus zwei Hauptgruppen (1 und 2/3). Die komplexen Herzfehler der Gruppe 1 (n=27) wurde in vier Untergruppen komplexer Anomalien (hypoplastisches Linksherz, Trikuspidalatresie, Double-inlet ventricle, Pulmonalatresie mit intaktem Septum) unterteilt.

Gruppe 2/3 (n=24) berücksichtigt komplexe Herzfehler mit Malposition bzw. Transposition der großen Gefäße sowie den Truncus arteriosus.

Obstruktionen des linken Herzens wurden in Gruppe 4 (n=44) zusammengefasst. Hierzu gehören die verschiedenen Formen der Aortenklappenveränderungen bzw. Aortenanomalien (4.3).

Obstruktionen des rechten Herzens wurden in Gruppe 5 (n=36) zusammengefasst. In den 4 Untergruppen finden sich Pulmonalklappenstenosen, Fallot'sche Tetralogie, DORV vom Fallot-Typ, sowie die Pulmonalatresie mit VSD.

Die post- bzw. praetricuspidale gelegenen Shunts wurden jeweils in Gruppe 6 (n=22) bzw. Gruppe 7 (n=18) berücksichtigt.

Die heterogene Gruppe 8 (n=24) umfasst sonstige Anomalien wie die Ebstein'sche Anomalie, congenitale Kardiomyopathien, das congenitale Aortenaneurysma, die Ektasie der großen Gefäße, Kinking oder das Marfan-Syndrom.

Tab. 3.1.3: Systematik der AHF und Zahl der eingeschlossenen Patienten je Gruppe

Systematik der AHF		Patienten
1-3	Komplexe Herzfehler	51
1	Komplexe Herzfehler ohne Malposition	27
1.1	Hypoplastisches Linksherz	6
1.2	Tricuspidalatresie	7
1.3	Double-inlet ventricle	11
1.4	Pulmonalatresie mit intaktem Septum	3
2/3	Komplexe Herzfehler mit Malpositionen; TAC	24
2.1	Komplette Transposition	15
2.2	Kongenital korrigierte Transposition	2
2.3	DORV-TGA	4
3.1	Truncus arteriosus	3
4	Obstruktionen des linken Herzens/ Aortenklappenanomalien	44
4.1	Aortenisthmusstenose	24
4.2	Unterbrochener Aortenbogen	3
4.3	Aortenklappenstenose, sub-/supravalvuläre Aortenstenose, Aortenklappeninsuffizienz	17
5	Obstruktionen des rechten Herzens/Pulmonalklappenanomalien	36
5.1	Pulmonalklappenstenose	1
5.3	Fallot'sche Tetralogie (TOF)	14
5.4	DORV-(Fallot-Typ)	2
5.5	Pulmonalatresie mit VSD	19
6	Posttricuspidale Shunts	22
6.1	Kompletter AV- Septumdefekt	7
6.2	Ventrikelseptumdefekt (VSD)	14
6.3	Persistierender Ductus arteriosus	1
7	Praetricuspidale Shunts	18
7.1	Persistierendes Foramen ovale (PFO)	8
7.2	Vorhofseptumdefekt (ASD)	7
7.3	Partieller AV-Septumdefekt	3
8	Sonstige bei AHF	24
8.1	Ebstein'sche Anomalie	3
8.2	Kardiomyopathie (congenital)	2
8.3	Aortenaneurysma/Ektasie der großen Gefäße/Kinking	1
8.4	Kawasaki-Syndrom	2
8.5	Marfan-Syndrom und ähnliche Bindegewebserkrankungen	12
8.6	1. Heterotaxie 2. Agenesie der rechten Pulmonalarterie 3. Aplasie der rechten Pulmonalarterie 4. Aortopulmonale Fistel	4

3.1.4 Behandlungsstatus der Patienten

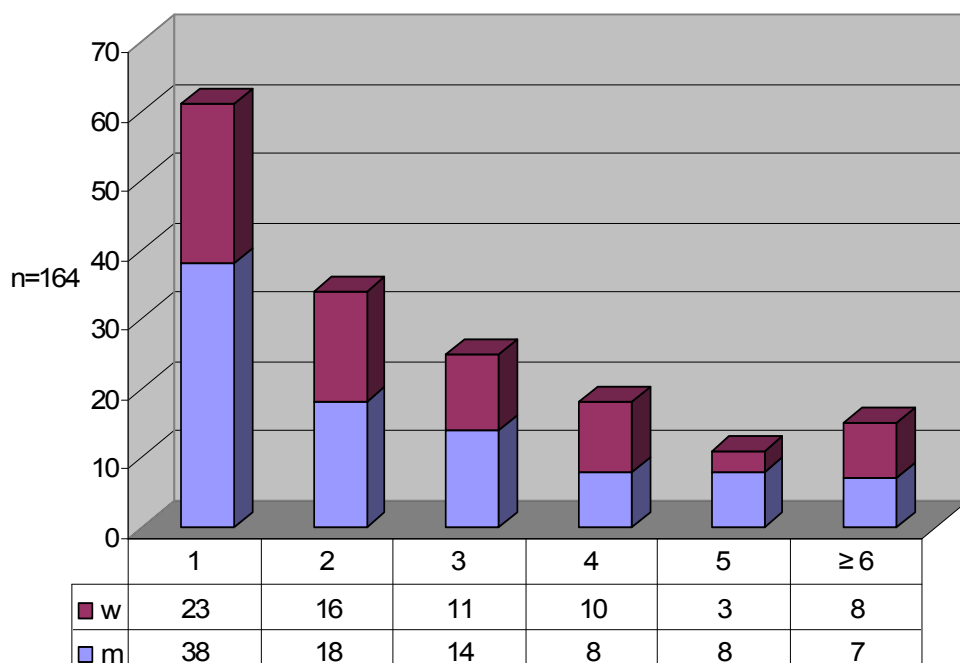
Von den 195 eingeschlossenen Patienten hatten 31 (15,9 %) einen AHF in nativer Form.

Bei 164 der 195 Pat. (84,1 %) war eine operative oder eine interventionelle Behandlung des AHF erfolgt.

Von den 164 Patienten waren 13 Patienten (6,7 %) interventionell behandelt, 13 (6,7 %) palliativ und 138 (70,8 %) korrigierend operiert worden.

Einundsechzig Patienten (31,3 %) hatten jeweils einen, 34 (17,4 %) jeweils zwei, 25 (12,8 %) jeweils drei, 18 (9,2 %) jeweils vier, 11 (5,6 %) jeweils 5 und 15 Patienten (7,7 %) sechs oder mehr Eingriffe hinter sich (Abb. 3.1.4).

Abb. 3.1.4: Anzahl der durchgeführten operativen oder interventionellen Behandlungen bei den Patienten der Studie. Nicht berücksichtigt sind Patienten mit einem Nativbefund zum Zeitpunkt der Untersuchung



4. DURCHGEFÜHRTE MSCT-UNTERSUCHUNGEN

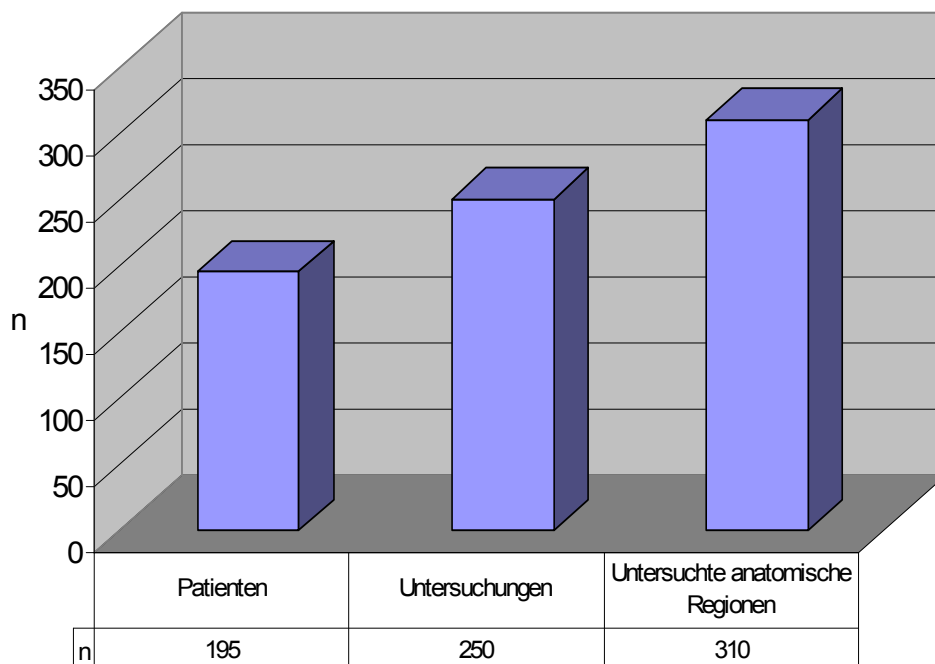
4.1 Anzahl

Insgesamt wurden an 195 Patienten 250 CT-Untersuchungen vorgenommen (Abb. 4.1).

Bei diesen 250 Untersuchungsgängen wurden sechs Körperregionen dargestellt.

Wertet man jede vollständige Untersuchung einer Körperregion (z.B. Thorax, Abdomen, usw.) gesondert, so wurden insgesamt 310 regionalbezogene Einzeluntersuchungen durchgeführt.

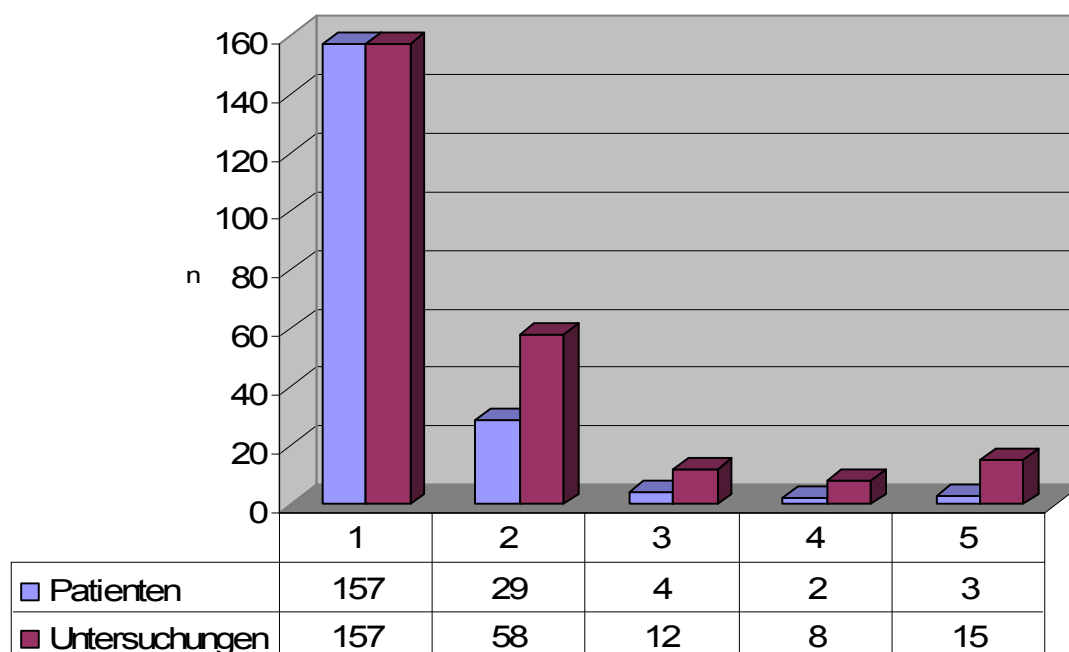
Abb. 4.1: Zahl untersuchter Patienten mit AHF, durchgeführte Untersuchungsgänge und Zahl der untersuchten anatomischen Regionen



Die Mehrzahl der Patienten (n=157; 80,5 %) benötigte einen Untersuchungsgang. Mehrfachuntersuchungen waren bei 38 Patienten (19,5 %) erforderlich.

Bei 29 Patienten (14,9 %) waren zwei, bei vier Patienten (2,1 %) drei, bei zwei Patienten (1,0 %) vier und bei drei Patienten (1,5 %) sogar fünf Untersuchungsgänge erforderlich (Abb. 4.1.1).

Abb. 4.1.1: Zahl der untersuchten Patienten mit AHF, sowie Anzahl der Untersuchungsgänge pro Patient

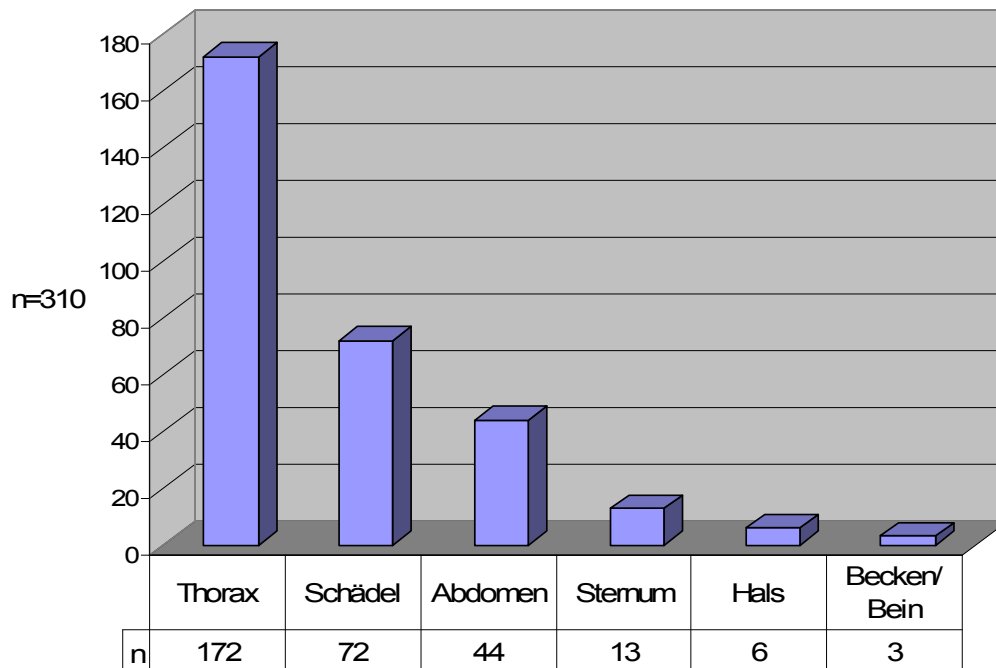


4.2 Untersuchte anatomische Regionen

In den 250 Untersuchungsgängen wurden sechs unterschiedliche anatomische Regionen untersucht (Abb. 4.2).

Die Mehrzahl betraf (n=172; 55,5 %) den Thorax. Die übrigen MSCT-Untersuchungen bezogen sich auf den Schädel (n=72; 23,2 %), das Abdomen (n=44; 14,2 %), das Sternum (n=13; 4,2 %), den Hals (n=6; 1,9 %) oder die Becken-Beinregion (n=3; 1 %).

Abb. 4.2: *Untersuchte anatomische Regionen (n=310) bei 250 MSCT-Untersuchungen an 195 Patienten*



Tab. 4.2 gibt eine Übersicht, wie oft und in welcher Kombination die verschiedenen Körperregionen untersucht wurden.

Tab. 4.2: *Anzahl der kombiniert untersuchten Körperregionen in einem MSCT-Untersuchungsgang*

	Thorax	Schädel	Abdomen	Sternum	Hals	Becken/Bein
Thorax					-	
Schädel	17					
Abdomen	29	18				
Sternum	-	-	-			
Hals	5	1	-	-		
Becken/Bein	1	-	2	-	-	

4.3 Zeitliche Zuordnungen der Untersuchungen im Krankheitsverlauf

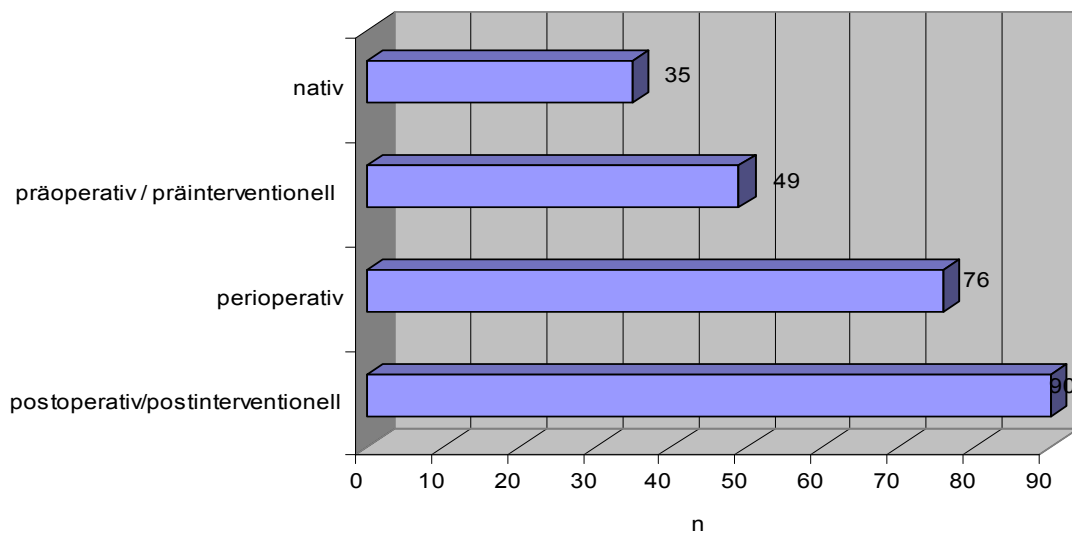
4.3.1 Nicht-operierte Patienten

Von insgesamt 250 durchgeführten MSCT (n=250) (Tab. 4.3.1) erfolgten 35 Untersuchungen (14,0 %) zur Stuserhebung bei nativem AHF. Bei 30 dieser Patienten war eine Untersuchung ausreichend, während bei einer Patientin mit Pulmonalatriesie und VSD fünf Untersuchungen erforderlich waren.

Tab. 4.3.1: Übersicht über die nicht-operierten Patienten mit angeborenem Herzfehler und die Verteilung der Diagnosen respektive der Indikationsstellungen (N/A Nachweis/Ausschluss)

Herzfehler	n	Fragestellung
Double-inlet ventricle	3	N/A Lungenembolie (1) N/A cerebrales Geschehen (1) N/A thorakale Gefäßmalformation (1)
DORV-TGA	1	N/A thorakale Gefäßmalformation (1)
CoA	2	Verlaufkontrolle bei CoA (2)
Aortenklappenanomalien	3	Verlaufkontrollen bei bek. Aortenneurysma (2) N/A thorakale Gefäßmalformation (1)
PA mit VSD	6	Anatomie vor EPU (1) N/A eines Entzündungsprozesses (2) Verlaufkontrolle, N/A KHK (1) CT-gesteuerte Thorax-Punktion bei V.a. Empyem (1) Abklärung Hb-Abfall unklarer Genese (1)
VSD	2	Abklärung von Haemoptysen (1) N/A Hämatothorax (1)
PDA	1	N/A Lungenembolie (2)
PFO	3	Befunderhebung vor EPU (1) N/A Pneumonie (1)
ASD	2	N/A Lungenembolie (2)
Ebstein'sche Anomalie	1	N/A Lungenembolie (1)
Kardiomyopathie	1	N/A cerebrales Geschehen (1)
Kawasaki-Syndrom	2	N/A thorakale Gefäßmalformation (1) Kontrolle bei bek. Aortenaneurysma (1)
Aortenaneurysma	1	N/A Coarctatio (1)
Marfan-Syndrom	5	N/A Dissektion (1) Kontrollen bei bek. Aneurysma (4)
Sonstige bei AHF	2	N/A thorakale Gefäßmalformation (2)

Abb. 4.3.1: Anlass und Zeitpunkt der MSCT- Untersuchungen (n=250) im Verlauf unter Berücksichtigung der operierten und nicht-operierten Patienten



4.3.2 Patienten im peri-/postoperativen oder peri-/postinterventionellen Verlauf

Die Gruppe beinhaltet 164 Patienten, bei denen praeoperativ bzw. praeinterventionell, unmittelbar perioperativ oder periinterventionell sowie in der Langzeitbetreuung 215 CT-Untersuchungen angefallen sind.

- Praeoperativ bzw. praeinterventionell fanden zur Planung einer Behandlung 49 CT-Untersuchungen (19,6 %) statt.
- In 90 Fällen (36,0 %) erfolgte das MSCT perioperativ/periinterventionell, d.h. in unmittelbarem zeitlichem Zusammenhang mit einem stattgehabten operativen oder interventionellen Eingriff.
- Im Rahmen der Langzeitbetreuung nach operativer oder interventioneller Behandlung erfolgten 76 Untersuchungen (30,4 %).

Die Tabellen 4.4.1–4.4.3 geben eine Übersicht über die Fragestellungen die bei dem zugrunde liegenden Herzfehler in Abhängigkeit von verschiedenen Zeitpunkten vor oder nach Eingriffen geklärt werden sollten.

4.4 Fragestellungen an die MSCT praeoperativ oder -interventionell

Zur praeoperativen Planung eines Eingriffs erfolgten 49 Untersuchungen.

Bei den komplexen Herzfehlern hatten zehn (20,4 %), bei den Linksherzobstruktionen 12 (24,5 %) und den Rechtsherzobstruktionen 15 (30,6 %) bzw. den posttricuspidalen Shunts drei (6,1 %) Untersuchungen stattgefunden.

Drei Untersuchungen (6,1 %) wurden bei den praetricuspidalen Shunts und sechs Untersuchungen (12,3 %) in der Gruppe der sonstigen Herzfehler bei AHF durchgeführt.

Tab. 4.4: Fragestellungen an die MSCT praeoperativ bzw. praeinterventionell (N/A Nachweis/Ausschluss)

Zeitpunkt der MSCT	Herzfehler	n	Fragestellung
Praeoperative Abklärung	HLH	3	Anatomie nach TCPC (1) Darstellung einer Choanalatresie (1) N/A thorakale Gefäßmalformation (1)
	Tricuspidalatresie	1	N/A Lungenembolie (1)
	TGA	4	N/A Lungenembolie (1) Anatomie vor EPU (2) Aneurysma-Darstellung (1)
	TAC	2	Abklärung entzdl. Prozesses (2)
	CoA	5	Anatomie bei CoA (4) Darstellung einer Choanalatresie (1)
	Unterbrochener Aortenbogen	1	Abklärung entzdl. Prozesses (1)
	Aortenklappenveränderungen	6	N/A Aortenaneurysma (1) N/A CoA (1) Abklärung von Sternotomie-Beschwerden (1) N/A entzdl. Prozess (2) N/A KHK (1)

	Pulmonalklappenstenose	1	Anatomie und Lage des Conduit (1)
	TOF	6	N/A Lungenembolie (1) Anatomie bei bek. Dissektion (1) Darstellung intrathor. Hämatom (1) N/A entzdl. Prozess (1) Abklärung Pericarditis constrictiva (1) N/A KHK (1)
	DORV (Fallot-Typ)	1	N/A Aortenaneurysma/-dissektion (1)
	PA mit VSD	7	N/A Lungenembolie (2) Abklärung von Sternotomie-Beschwerden (1) Anatomie der Pulmonalis (1) Anatomie aorto-pulmonaler Kollateralen (1) N/A Choanalatresie (1) Situs vor OP (1)
	AV-Septum-Defekt	1	N/A entzdl. Prozess (1)
	VSD	2	Abklärung entzdl. Prozesse (2)
	PFO	1	N/A Lungenembolie (1)
	ASD	2	N/A Lungenembolie (1) Praeoperativer Befund (1)
	Ebstein'sche Anomalie	2	N/A Lungenembolie (1) Praeoperativer Befund (1)
	Marfan	3	N/A Lungenembolie (1) N/A Aortenaneurysma/-dissektion (1) Abklärung entzdl. Prozess (1)
	Sonstige	1	N/A Lungenabzess (1)

4.4.1 Fragestellungen an die MSCT früh-postoperativ oder früh-postinterventionell

In der frühen postoperativen oder postinterventionellen Phase wurden 90 Untersuchungen durchgeführt. Davon entfielen 38 (42,2 %) auf komplexe Herzfehler, 19 (21,1 %) auf Obstruktionen des linken Herzens, zehn (11,1 %) auf Rechtsherzobstruktionen resp. posttricuspidale Shunts, sieben (7,8 %) auf praetricuspidale Shunts und sechs (5,3 %) auf die sonstigen AHF.

Tab. 4.4.1: *Fragestellungen an die MSCT in der perioperativen, frühen postoperativen oder postinterventionellen Verlaufskontrolle (N/A–Nachweis/Ausschluss; VHU–Vorhofumkehr)*

Zeitpunkt der MSCT	Herzfehler	n	Fragestellung
Frühe postoperative oder postinterventionelle Untersuchungen	HLH	4	N/A intrathorakale Blutung (1) Kontrolle bei sekund. Wundheilung (1) Anatomie nach TCPC (1) N/A AV-Fistelrezidiv (1)
	Tricuspidalatresie	7	N/A cerebrales Geschehen (4) N/A intrathorakale Blutung (1) N/A Bronchus-/Gefäßkompression (1) N/A Lungenatelektasen (1)
	Double-inlet ventricle	8	N/A cerebrales Geschehen (6) N/A Aortendissektion (1) Anatomie nach PCPC (1)
	PA mit intaktem Septum	1	N/A cerebrales Geschehen (1)
	TGA	4	Postinterventionelle Anatomie (1) N/A intrathorakale Blutung (1) Baffle-Anatomie nach VHU (1) N/A entzdl. Prozess (1)
	ccTGA	1	Anatomie der Pulmonalis (1)
	DORV-TGA	4	Anatomie der Pulmonalis (1) N/A RF li. Lunge (1) N/A cerebrales Geschehen (1) N/A Ausschluss Traumafolge
Frühe postoperative oder postinterventionelle Verlaufskontrolle	TAC	9	N/A cerebrales Geschehen (2) N/A postop. Komplikationen (5) Abklärung von Sternotomie-Beschwerden (1) N/A retrosternaler Abszesse (1)
	CoA	11	Anatomie bei CoA (2) N/A cerebrales Geschehen (1) N/A Dissektion (2) Kontrolle bei bek. Aneurysma (1) Kontrolle postop. Situs (5)

	Unterbrochener Aortenbogen	3	N/A cerebrales Geschehen (2) N/A Aortendissektion (1)
	Aortenklappenanomalien	5	N/A Lungenembolie (1) N/A cerebrales Geschehen (1) N/A Pericarderguß (1) N/A Pleuraerguß (1) N/A Atelektasen (1)
	TOF	7	N/A Lungenembolie (1) N/A cerebrales Geschehen (2) Beschwerden n. Sternotomie (1) N/A akute Pankreatitis (1) N/A intrathorakale Blutung (2)
	PA mit VSD	3	Suche nach Sepsisquelle (1) Anatomie aorto-pulmonaler Kollateralen (1) N/A Ileus (1)
	AV-Septum Defekt	3	N/A intrathorakale Blutung (1) N/A cerebrales Geschehen (1) N/A Thrombus li. Ventrikel
	VSD	7	N/A cerebrales Geschehen (1) postoperative Kontrollen (3) N/A entzdl. Prozess (2) N/A Traumafolge n. Synkope (1)
	PFO	4	N/A Lungenembolie (1) N/A cerebrales Geschehen (1) N/A postop. Blutung (2)
	ASD	2	N/A retroperitoneale Blutung (1) N/A art. Verschuß der Beckenstrombahn (1)
	Part. AV-Septumdefekt	1	N/A Lungenembolie (1)
	Kardiomyopathie	2	N/A postop. Blutung (2)
	Marfan	4	N/A rez. Pneumothorax (2) Abklärung entzdl. Prozess (3)

4.4.2 Fragestellungen an die MSCT in der Langzeit-Verlaufskontrolle

In der Langzeit-Verlaufskontrolle nach Operation oder Intervention erfolgten 76 MSCT.

Davon betrafen 17 Untersuchungen (22,4 %) die komplexen Herzfehler, 24 (31,6 %) die Linksherzobstruktionen, 17 (22,4 %) die Rechtsherzobstruktionen, neun (11,8 %) die posttricuspidalen Shunts, drei (3,9 %) einen praetricuspidalen Shunt und sechs (7,9 %) sonstige AHF.

Tab. 4.4.2: *Fragestellungen an die MSCT in der Langzeit-Verlaufkontrolle nach Operation oder Intervention (N/A Nachweis/Ausschluss)*

Zeitpunkt der MSCT	Herzfehler	n	Fragestellung
Langzeit-Verlaufskontrolle nach Operation oder Intervention	Tricuspidalatresie	1	N/A Lungenembolie (1)
	Double-inlet ventricle	5	N/A Lungenembolie (2) Abklärung vor EPU (2) N/A entzdl. Prozess (1)
	PA mit intaktem Septum	2	N/A cerebrales Geschehen (1) Anatomie der Pulmonalis (1)
	TGA	8	N/A Lungenembolie (2) N/A cerebrales Geschehen (1) Anatomie nach VHU-OP (2) N/A entzdl. Prozess (1) Anatomie vor HTx (1) N/A Aortenaneurysma (1)
	ccTGA	1	Abklärung Gefäßmalformation (1)
	CoA	15	Anatomie nach CoA-repair (9) Abklärung von Haemoptysen (1) N/A cerebrales Geschehen (1) Abklärung von Sternotomie-Beschwerden (1) Anatomie bei Aneurysma (2) Koronarstatus (1)
	Aortenklappenanomalien	9	N/A cerebrales Geschehen (4) Abklärung von Sternotomie-Beschwerden (1) N/A Dissektion (4)
	TOF	4	N/A Lungenembolie (1) Anatomie nach Bentall-OP (1) Koronarstatus (1) Anatomie bei Aneurysma (1)

	DORV (Fallot-Typ)	2	N/A Lungenembolie (1) N/A cerebrales Geschehen (1)
	PA mit intaktem Septum	11	N/A Lungenembolie (1) Abklärung von Haemoptysen (2) Abklärung von Sternotomie-Beschwerden (1) Abklärung entzdl. Prozess (2) Anatomie vor HL-Transplantation (1) N/A thorakale Gefäßmalformation (3) Abklärung einer Raumforderung am Rücken (1)
	Kompl. AV-Septumdefekt	3	N/A Lungenembolie (1) N/A entzdl. Prozess (1) N/A thorakale Gefäßmalformation (1)
	VSD	6	N/A Lungenembolie (3) Abklärung von Sternotomie-Beschwerden (1) N/A einer AV-Fistel li. Lunge (1) N/A Malformation Aorta (1)
	ASD	1	N/A einer pulmonalen AV-Fistel (1)
	Part. AV-Septumdefekt	2	Abklärung von Sternotomie-Beschwerden (2)
	Kawasaki-Syndrom	5	N/A cerebrales Geschehen (1) Abklärung von Sternotomie-Beschwerden (1) N/A Dissektion (1) Anatomie bei bek. Aneurysma (2)
	Marfan	2	N/A Lungenembolie (2)

4.5 Diagnosebezogene Fragestellungen an das MSCT

Im Folgenden wurden bei der Auswertung der 250 Untersuchungen die zugrunde liegenden klinischen Indikationsstellungen berücksichtigt. Die Hauptfragestellungen (n=150) waren dabei:

1. Nachweis/ Ausschluss einer Lungenembolie (n=29)
2. Nachweis/ Ausschluss einer cerebralen Symptomatik (n=40)
3. Sternotomie-assoziierte Beschwerden (n=12)
4. Nachweis/ Ausschluss eines Aortenaneurysma/ Aortendissektion (n=22)
5. Nachweis/ Ausschluss von Entzündungen (n=27)
6. Choanalatresie (n=3)
7. Haemoptysen (n=4)
8. Nachweis/ Ausschluss thorakaler Gefäßanomalien (n=3)
9. Sonstiges (n=10)

4.5.1. N/A Lungenembolie

Bei klinischem Verdacht auf eine Lungenembolie erfolgte die MSCT-Untersuchung in 29 Fällen zum Nachweis resp. Ausschluss (Tabelle 4.5.1).

Die untersuchten Patienten stammten in acht Fällen (27,6 %) aus der Gruppe der komplexen Herzfehler, in sieben Fällen (24,1 %) aus der Gruppe mit Rechtsherzobstruktionen, in sechs Fällen (20,7 %) aus der Gruppe der posttricuspidalen Shunts, in fünf Fällen (17,2 %) aus der Gruppe der praetricuspidalen Shunts, in zwei Fällen (6,9 %) aus der Gruppe sonstiger AHF und in einem Fall (3,4 %) aus der Gruppe der Linksherzobstruktionen.

Tab. 4.5.1: MSCT zur Abklärung einer klinisch vermuteten Lungenembolie unter Berücksichtigung der Hauptdiagnosegruppe und der Untergruppen der AHF

Organkomplikationen	n	In Hauptdiagnosegruppe	In Untergruppe	n
Lungenembolie	8	Komplexe Herzfehler	Tricuspidalatresie	2
			Double-inlet ventricle	3
			TGA	3
	1	Obstruktionen des linken Herzens	Aortenklappenanomalien	1
	7	Obstruktionen des rechten Herzens	TOF	3
			DORV (Fallot-Typ)	1
			PA mit VSD	3
	5	Posttricuspidale Shunts	Kpl. AV-Septumdefekt	1
			VSD	3
			PDA	1
	6	Praetricuspidale Shunts	PFO	3
			ASD	2
			Part. AV-Septumdefekt	1
	2	Sonstige bei AHF	Ebstein´sche Anomalie	1
			Heterotaxie	1

Zusätzlich zu den obligatorischen Thorax-Untersuchungen wurden in fünf Fällen (DIV, TOF, PA-VSD, cAVSD, PFO) weitere Körperregionen untersucht. Dabei handelte es sich in drei Fällen um den Schädel, in drei Fällen um das Abdomen und in einem Fall um die Becken-Beinregion (Tabelle 4.5.1.1)

Die Fragestellungen betrafen dabei die Suche nach einer septischen Emboliequelle (DIV) bzw. nach einer Phlebothrombose (TOF), die Abklärung einer Cholecystitis (cAVSD) sowie die Suche nach einer zusätzlichen Emboliequelle im Carotisstromgebiet (PA-VSD).

Tab. 4.5.1.1: MSCT-Untersuchungen bei V.a. Lungenembolie unter besonderer Berücksichtigung des zugrunde liegenden AHF und Übersicht über die untersuchten Körperregionen

Grund der MSCT	Herzfehler	Thorax	Schädel	Abdomen	Sternum	Hals	Becken/ Bein
N/A Lungenembolie	Tricuspidalatresie	2	-	-	-	-	-
	Double-inlet ventricle	3	1	1	-	-	-
	TGA	3	-	-	-	-	-
	Aortenklappenanomalien	1	-	-	-	-	-
	TOF	3	-	-	-	-	1
	DORV	1	-	-	-	-	-
	PA mit VSD	3	1	-	-	-	-
	Kompl. AV-Septumdefekt	1	-	1	-	-	-
	VSD	3	-	-	-	-	-
	PDA	1	-	-	-	-	-
	PFO	3	1	1	-	-	-
	ASD	2	-	-	-	-	-
	Part. AV-Septumdefekt	1	-	-	-	-	-
	Ebstein-Anomalie	1	-	-	-	-	-
Heterotaxie	1	-	-	-	-	-	

4.5.2 N/A cerebrales Geschehen

Zur Abklärung eines cerebralen Geschehens erfolgten MSCT-Untersuchungen in 40 Fällen (Tabelle 4.5.2).

Davon entfielen 17 Untersuchungen (42,5 %) auf die Hauptgruppe der komplexen Herzfehler, neun (22,5 %) auf die Linksherzobstruktionen, vier (10,0 %) auf die Rechtsherzobstruktionen, drei (7,5 %) auf posttricuspidale Shunts, zwei (5,0 %) auf praetricuspidale Shunts und fünf (12,5 %) auf sonstige AHF.

Tab. 4.5.2: MSCT zum N/A eines cerebralen Geschehens unter Berücksichtigung der Haupt- und Nebengruppen der AHF (N/A Nachweis/Ausschluss)

Organkomplikationen	n	In Hauptdiagnosegruppe	In Untergruppe	n
Cerebrales Geschehen	17	Komplexe Herzfehler	Tricuspidalatresie	4
			Double-inlet ventricle	7
			PA mit intaktem Septum	2
			TGA	1
			DORV-TGA	1
			TAC	2
	9	Obstruktionen des linken Herzens	CoA	2
			Unterbrochener Aortenbogen	2
			Aortenklappenanomalien	5
	4	Obstruktionen des rechten Herzens	TOF	2
			DORV (Fallot-Typ)	1
			PA mit VSD	1
	3	Posttricuspidale Shunts	Kompl. AV-Septumdefekt	2
			VSD	1
	2	Praetricuspidale Shunts	PFO	1
			ASD	1
	5	Sonstige AHF	Ebstein	1
			Kardiomyopathie (cong.)	3
Marfan			1	

Neben der craniellen MSCT-Untersuchung wurden in sechs Fällen zusätzlich der Thorax und in jeweils einem Fall eine MSCT des Abdomens, des Sternum oder der Halsregion durchgeführt.

Tab. 4.5.2.1: MSCT-Darstellung der verschiedenen Körperregionen zum N/A cerebrale Symptomatik unter Berücksichtigung des zugrunde liegenden AHF (N/A Nachweis/Ausschluss)

Grund der MSCT	Herzfehler	Thorax	Schädel	Abdomen	Sternum	Hals	Becken/ Bein
N/A cerebrales Geschehen	Tricuspidalatresie	-	4	-	-	-	-
	Double-inlet Ventricle	2	6	1	-	1	-
	PA mit intaktem Septum	2	2	-	-	-	-
	TGA	-	1	-	-	-	-
	DORV-TGA	-	1	-	-	-	-
	TAC	-	2	-	-	-	-
	CoA	-	2	-	-	-	-
	Unterbrochener Aortenbogen	-	2	-	-	-	-
	Aortenklappenanomalien	1	4	-	-	-	-
	TOF	-	2	-	-	-	-
	DORV (Fallot)	-	1	-	-	-	-
	PA mit VSD	-	1	-	-	-	-
	Kompl. AV-Septumdefekt	-	2	-	-	-	-
Cerebrales Geschehen	VSD	-	1	-	-	-	-
	PFO	-	1	-	-	-	-
	ASD	-	1	-	-	-	-
	Ebstein	-	1	-	-	-	-
	Congenitale. Kardiomyopathie	-	3	-	-	-	-
	Marfan	1	1	-	1	-	-

4.5.3 Beschwerden nach Sternotomie

Zwölf Patienten nach medianer Sternotomie klagten über Beschwerden im Bereich des Brustbeines. Zur weiteren Abklärung erfolgten MSCT-Untersuchungen in allen 12 Fällen.

Davon entfielen vier (33,3 %) auf Obstruktionen des rechten Herzens, drei (25,0 %) auf Linksherzobstruktionen, zwei (16,7 %) auf praetricuspidale Shunts und jeweils eine Untersuchung (8,3 %) auf komplexe Herzfehler, posttricuspidale Shunts und sonstige AHF.

Zusätzliche CT-Untersuchungen waren bei dieser Fragestellung nicht erforderlich.

4.5.4 N/A Aortenaneurysma

Der Ausschluss resp. Nachweis eines Aortenaneurysmas bzw. einer Aortendissektion erforderte in 22 Fällen eine MSCT.

Die Patienten stammten in 15 Fällen (68,2 %) aus der Gruppe der Linksherzobstruktionen, in fünf Fällen (22,7 %) aus der Gruppe der sonstigen AHF sowie in einem Fall (4,5 %) aus der Gruppe der Rechtsherzobstruktionen.

Bei einem Patienten mit operiertem Double-inlet ventricle zeigte sich im MSCT ein Milzinfarkt als Ursache der thorakoabdominellen Beschwerden.

Tab. 4.5.4: MSCT zum N/A eines Aortenaneurysmas bzw. einer Aortendissektion unter Berücksichtigung des AHF (N/A Nachweis/Ausschluss)

Organkomplikationen	n	In Hauptdiagnosegruppe	In Untergruppe	n
Aortenaneurysma/ Aortendissektion	1	Komplexe Herzfehler	Double-inlet ventricle	1
	15	Obstruktionen des linken Herzens	CoA	7
			Unterbrochener Aortenbogen	1
			Aortenklappenanomalien	7
	1	Obstruktionen des rechten Herzens	TOF	1
5	Sonstige bei AHF	Marfan	5	

Alle untersuchten Patienten erhielten eine thorakale MSCT (n=22). In sieben Fällen wurde die Untersuchung auf das Abdomen ausgedehnt. (Tab. 4.5.4.1).

Tab. 4.5.4.1: Darstellung der verschiedenen Körperregionen im Rahmen eines N/A eines Aortenaneurysmas bzw. einer Aortendissektion (N/A Nachweis/Ausschluss)

Grund der MSCT	Herzfehler	Thorax	Schädel	Abdomen	Sternum	Hals	Becken/ Bein
N/A Aortenaneurysma/-dissektion	Double-inlet ventricle	1	-	1	-	-	-
	CoA	7	-	1	-	-	-
	Unterbrochener Aortenbogen	1	-	1	-	-	-
	Aortenklappenanomalien	7	-	1	-	-	-
	TOF	1	-	-	-	-	-
	Marfan	5	-	3	-	-	-

4.5.5 Entzündliche Prozesse

Weitere 27 Untersuchungen dienten der Abklärung eines vermuteten Entzündungsprozesses resp. der Focussuche (Tab. 4.5.5).

In der Gruppe der Rechtsherzobstruktionen wurden acht Untersuchungen (29,6 %), in der Gruppe der komplexen Herzfehler und in der Gruppe der posttricuspidalen Shunts jeweils sechs (22,2 %), in der Gruppe der Linksherzobstruktionen vier (14,8 %), in der Gruppe der praetricuspidalen Shunts eine (3,7 %) und bei den sonstigen AHF zwei Untersuchungen (7,4 %) durchgeführt.

Tab. 4.5.5: MSCT zum N/A von Entzündungsprozessen unter Berücksichtigung des AHF
(N/A Nachweis/Ausschluss)

Organkomplikationen	n	In Hauptdiagnosegruppe	In Untergruppe	n
Entzündlicher Prozess	6	Komplexe Herzfehler	Double-inlet ventricle	1
			Komplette Transposition	2
			TAC	3
	4	Obstruktionen des linken Herzens	CoA	2
			Unterbrochener Aortenbogen	1
			Aortenklappenanomalien	1
	8	Obstruktionen des rechten Herzens	TOF	2
			PA mit VSD	6
	6	Posttricuspidale Shunts	Kompletter AV-Spetumdefekt	2
			VSD	4
	1	Praetricuspidale Shunts	PFO	1
	2	Sonstige AHF	Marfan	2

Zur Abklärung entzündlicher Prozesse bzw. zur Focussuche wurden 45 Körperregionen untersucht. Dabei handelte es sich in 12 Fällen um den Thorax, in 19 Fällen um den Schädel und in 14 Fällen um das Abdomen (Tab. 4.5.5.1).

Tab. 4.5.5.1: Darstellung der Untersuchungen zum N/A eines entzündlichen Prozesses. Berücksichtigt sind der zugrunde liegende AHF und die jeweils untersuchte Körperregion
(N/A Nachweis/Ausschluss)

Grund der MSCT	Herzfehler	Thorax	Schädel	Abdomen	Sternum	Hals	Becken/ Bein
N/A entzündlicher Prozess	Double-inlet ventricle	-	1	-	-	-	-
	TGA	2	-	-	-	-	-
	TAC	3	3	3	-	-	-
	CoA	-	2	2	-	-	-
	Unterbrochener Aortenbogen	1	1	-	-	-	-
	Aortenklappenanomalien	-	1	-	-	-	-
	TOF	-	1	1	-	-	-
	PA mit VSD	4	2	4	-	-	-
	Kompl. AV-Septumdefekt	1	2	1	-	-	-
	VSD	-	4	3	-	-	-
	PFO	1	-	-	-	-	-
Marfan	-	2	-	-	-	-	

4.5.6 Choanalatresie

Bei klinischem Verdacht auf eine Choanalatresie wurden drei CT-Untersuchungen an drei Patienten durchgeführt. Betroffen waren jeweils ein Patient mit HLH, bzw. CoA und DORV vom Fallot-Typ.

4.5.7 Haemoptysen

Vier Untersuchungen dienten der Abklärung von Haemoptysen in den Gruppen der Rechtsherzobstruktionen (n=2; 50,0 %) sowie bei Linksherzobstruktion (n=1; 25,0 %) bzw. einem posttricuspidalen Shunt (n=1; 25,0 %). Zwei Untersuchungen erfolgten dabei an einem Patienten.

4.5.8 N/A thorakaler Gefäßmalformationen

Gefäßmalformationen wurden in neun Fällen mit Hilfe der thorakalen MSCT abgeklärt.

In drei Fällen wurden zusätzlich neben dem Thorax noch der Schädel (n=1), das Abdomen (n=1) bzw. der Hals (n=1) dargestellt.

Die Darstellung der Halsregion (n=1) erfolgte zur anatomischen Darstellung von Gefäßen der oberen Thoraxapertur. Zur Abklärung peripherer Aneurysmata erfolgte bei einem Patienten mit Kawasaki-Syndrom zusätzlich zur Thoraxuntersuchung eine Untersuchung des Halses und des Kopfes. Die Untersuchung des Abdomens erfolgte in einem Fall zur Beurteilung von beidseitigen Zystennieren und in einem weiteren Fall zur Darstellung der gesamten Aorta.

Tab. 4.5.8: MSCT zum N/A thorakaler Gefäßmalformationen
(N/A Nachweis/Ausschluss)

Organkomplikation	n	In Hauptdiagnosegruppe	In Untergruppe	n
Thorakale Gefäßmalformationen	3	Komplexe Herzfehler	HLH	1
			Double-inlet ventricle	1
			DORV-TGA	1
	1	Obstruktionen des linken Herzens	Aortenklappenanomalien	1
	1	Obstruktionen des rechten Herzens	PA mit VSD	1
	4	Sonstige bei AHF	Kawasaki	1
			Marfan	1
			Aortopulmonale Fistel	1
			Agenesie d. re. PA	1

Tab. 4.5.8.1: Darstellung der verschiedenen Körperregionen resp. der Anzahl der Untersuchungen unter Berücksichtigung des AHF bei N/A thorakaler Gefäßmalformationen
(N/A Nachweis/Ausschluss)

Grund der MSCT	Herzfehler	Thorax	Schädel	Abdomen	Sternum	Hals	Becken/ Bein
N/A thorakaler Gefäßmalformationen	HLH	1	-	-	-	-	-
	Double-inlet ventricle	1	-	-	-	-	-
	DORV-TGA	1	-	-	-	-	-
	Aortenklappenanomalien	1	-	-	-	-	-
	PA mit VSD	1	-	-	-	-	-
	Kawasaki-Syndrom	1	1	-	-	1	-
	Marfan	1	-	-	1	-	-
	Aortopulmonale Fistel	2	-	-	-	-	-

4.5.9 Spezielle Fragestellungen

In 10 Fällen gaben spezielle Fragestellungen Anlass zur MSCT.

Indikationen, Zeitpunkt der Untersuchung und die zu Grunde liegende Anomalie sind in Tab. 4.5.9 aufgeführt.

Tab. 4.5.9: *Spezielle Fragestellungen bei verschiedenen zugrunde liegenden AHF. Dargestellt sind der Zeitpunkt der Untersuchung und die klinische Fragestellung die zu der Untersuchung führte (N/A Nachweis/Ausschluss)*

Herzfehler	Zeitpunkt der Untersuchung	Fragestellung an MSCT
DORV	perioperativ	AV-Fistel der Halsgefäße
TGA	postoperativ	Abklärung einer sonographisch erkannten renalen Raumforderung
DORV-TGA	perioperativ	N/A einer intracranielle Blutung nach Sturz
VSD	perioperativ	N/A intracranielle Ursache/Traumafolge nach Synkope
PA mit VSD	postoperativ	Suche nach Blutungsquelle (Hüftgelenk)
PA mit VSD	postoperativ	CT-gesteuerte Punktion bei V.a. Pleuraempyem
PA mit VSD	Nativbefund	Tumor unklarer Genese am Rücken (klinisch V.a. Lipom)
PA mit VSD	Nativbefund	Verlauf einer MAPCA
VSD	Nativbefund	Abklärung einer thorakalen Raumforderung im Nativröntgen
ASD	perioperativ	N/A Verschluss im Bereich der Becken-Beinarterien

4.6 Indikationsverteilung innerhalb der Hauptgruppen

In Tabelle 4.6 sind die Indikationen innerhalb der Diagnosegruppen aufgeführt.

Tab. 4.6: Übersicht über die Verteilung der Fragestellungen die zur Indikationsstellung einer MSCT in den jeweiligen AHF-Gruppen geführt haben (N/A Nachweis/Ausschluss)

Herzfehler	n	Fragestellung	Häufigkeit
HLH	7	N/A intrathorakale Blutung	1
		Abklärung bei sekund. Wundheilung	1
		Anatomie nach TCPC	2
		N/A AV-Fistel	1
		N/A Choanalatresie	1
		N/A thorakale Gefäßmalformation	1
Tricuspidalatresie	9	N/A intrathorakale Blutung	1
		N/A Bronchus-Gefäßkompression,	1
		N/A Lungenatelektasen	1
		N/A Lungenembolie	1
		N/A cerebrales Geschehen	4
		N/A Thrombose linke PA	1
Double-inlet ventricle	16	Anatomie nach PCPC	1
		Intracardiale Anatomie vor EPU	2
		N/A Lungenembolie	3
		N/A cerebrales Geschehen	7
		N/A Aortenaneurysma/-dissektion	1
		Abklärung eines Entzündungsprozesses	1
		N/A thorakale Gefäßmalformation	1
PA mit intaktem Septum	3	Anatomie der Pulmonalis	1
		N/A cerebrale Symptomatik	2
Komplette Transposition	16	N/A intrathorakale Blutung postop.	1
		Baffle-Anatomie nach VHU	1
		Koronarstatus	3
		Anatomie vor HLx-Transplantation	1
		Herzanatomie vor HK/EPU	3
		N/A Lungenembolie	3
		N/A cerebrales Geschehen	1
		N/A Entzündungsprozess	2
		N/A renale Raumforderung	1
ccTGA	2	Anatomie und Lage des Conduit	1
		Verlaufkontrolle nach Shunt-Anlage	1

DORV-TGA	5	N/A Raumforderung li. Lunge N/A cerebrales Geschehen N/A thorakaler Gefäßmalformation	1 1 3
TAC	11	N/A cerebrales Geschehen Sternotomie-assoziierte Beschwerden N/A entzündliches Geschehen N/A Lungenembolie Verlaufkontrollen postop. N/A Endocarditis	2 1 2 2 2 2
CoA	33	Anatomie nach CoA-repair (perioperativ) Anatomie nach CoA-repair (postoperativ) Anatomie der Isthmusregion N/A cerebrales Geschehen Sternotomie-assoziierte Beschwerden N/A Aortenaneurysma/-dissektion N/A Entzündungsprozesses N/A Choanalatresie Abklärung von Haemoptysen	6 9 4 2 1 7 2 1 1
Unterbrochener Aortenbogen	4	N/A cerebrales Geschehen N/A Aortenaneurysma/-dissektion N/A Entzündungsprozesses	2 1 1
Aortenklappen-anomalien	23	N/A cerebrales Geschehen N/A Lungenembolie N/A Aortenaneurysma/-dissektion Sternotomie-assoziierte Beschwerden N/A Perikarderguss N/A entzündlicher Prozess N/A thorakaler Gefäßmalformation N/A KHK N/A Lungenatelektase	5 1 8 2 1 3 1 1 1
Pulmonalklappen-stenose	1	Anatomie und Lage des Conduit	1
TOF	17	N/A Aortendissektion N/A cerebrales Geschehen N/A Lungenembolie N/A entzündlicher Prozess N/A Pericarditis constrictiva Koronarstatus Sternotomie-assoziierte Beschwerden N/A intrathorakale Blutung N/A nekrotisierende Pankreatitis	2 2 3 1 1 2 2 3 1

DORV	3	N/A Aortenaneurysma/-dissektion N/A Lungenembolie N/A cerebrales Geschehen	1 1 1
PA mit VSD	27	N/A cerebrales Geschehen N/A Lungenembolie Koronarstatus Abklärung von Haemoptysen Befunderhebung aortopulmonaler Kollateralen N/A Choanalatresie N/A Hämarthros bei Hb-Abfall Sternotomie-assoziierte Beschwerden Pulmonalisanatomie N/A entzündlicher Prozess Anatomie vor Transplantations-Planung Anatomie zur OP-Planung Unklare RF am Rücken	1 4 1 2 3 1 1 1 2 2 7 1 1
Kpl. AV-Septumdefekt	7	N/A Lungenembolie N/A cerebrales Geschehen Anatomie zur OP-Planung N/A thorakale Gefäßmalformation N/A cerebrales Geschehen	1 2 1 1 2
VSD	17	Suche nach septischen Embolien N/A einer AV-Fistel li. Lunge Abklärung Aortenanomalie N/A Lungenembolie N/A cerebrales Geschehen Sternotomie-assoziierte Beschwerden Abklärung eines Entzündungsprozesses Abklärung von Haemoptysen N/A Traumafolge nach Synkope	3 1 1 3 1 2 4 1 1
PDA	1	N/A Lungenembolie	1
PFO	8	N/A retroperitoneale Blutung postop. Anatomie vor EPU N/A Lungenembolie N/A cerebrales Geschehen N/A eines Entzündungsprozesses	2 1 3 1 1
ASD	7	N/A retroperitoneale Blutung postint. N/A thorakale Gefäßmalformation Anatomie vor HK/EPU N/A Lungenembolie N/A art. Verschluss der Beinarterien N/A cerebrales Geschehen	1 1 1 1 2 1
Partieller AV-Septumdefekt	3	N/A Lungenembolie Sternotomie-assoziierte Beschwerden	1 2

Ebstein'sche Anomalie	3	N/A cerebrales Geschehen N/A Lungenembolie Abklärung vor EPU/HK	1 1 1
Kardiomyopathie (congenital)	3	N/A cerebrales Geschehen Postop. Verlaufkontrolle	2 1
Aortenaneurysma/ Ektasie der großen Gefäße/Kinking	1	Aortenanatomie	1
Kawasaki-Syndrom	2	Koronarstatus N/A Veränderungen vaskulärer Strukturen	1 1
Marfan-Syndrom und ähnliche Bindegeweser- krankungen	17	N/A Aortenaneurysma/-dissektion Kontrolle bei Aortenaneurysma N/A cerebrales Geschehen Sternotomie-assoziierte Beschwerden N/A eines Entzündungsprozesses N/A thorakale Gefäßmalformation Postoperative Anatomie Praeop. Anatomie	2 7 1 1 2 1 2 1
Aplasie der re. PA Heterotaxie Aortopulmonale Fistel Agenesie der re. PA	4	N/A Lungenabszess N/A Lungenembolie N/A thorakaler Gefäßmalformation N/A thorakaler Gefäßmalformation	1 1 1 1

4.7 Kontrastmittelgabe und EKG-Triggerung

Die MSCT - Untersuchungen erfolgten in 42 Fällen (16,8 %) als Nativuntersuchung, d.h. ohne Kontrastmittel und in 208 Fällen (83,2 %) als kontrastmittelunterstützte Untersuchung (Tab. 4.7).

Die Kontrastmittelgabe erfolgte in allen 208 Fällen intravenös. Bei vier Untersuchungen wurde zusätzlich ein Kontrastmittel auch oral gegeben und in einem Fall wurde zudem noch ein Fistelgang lokal gefüllt.

Tab. 4.7: Übersicht über die Kombinationen und Verteilung der Kontrastmittelgabe bei den durchgeführten MSCT-Untersuchungen

KM - Gabe		Häufigkeit (n)	Häufigkeit (%)	Häufigkeit (n)
Nativ		42	16,8	
Kontrastmittel		208	83,2	
	iv			138
	Nativ + iv			65
	Nativ + iv + Fisteldarstellung			4
	iv + p.o.			1
Summe		250	100	208

4.8 Aussagekraft

Die klinische Fragestellung die zur Indikationsstellung einer MSCT geführt hatte, wurde in 235 Fällen (94 %) durch die durchgeführte Untersuchung ausreichend beantwortet.

In 15 Fällen (6,0 %) konnte die klinisch gestellte Frage nicht abschließend beantwortet werden.

Tab. 4.8: *Fragestellungen bei der die MSCT – Untersuchung die klinisch gestellte Frage nicht abschließend beantworten konnte*

Pat.	Gruppe	Indikation/Fragestellung
1	HLH	V.a. persistierende AV-Fistel nach operativer Fistelsanierung
2	Tricuspidalatresie	Ausschluss intracerebrale Blutung/Ischämie
3	Double-inlet ventricle	V.a. Lungenembolie/septische Embolie bei Unterlappenpneumonie
4	Double-inlet ventricle	thorakale Weichteilschwellung
5	TAC	V.a. septische Embolie nach Endokarditis.
6	TAC	Ursache einer Wundheilungsstörungen nach Sternotomie
7	CoA	Koronarstatus nach CoA-Resektion
8	CoA	V.a. Choanalatresie
9	TOF	V.a. Lungenembolie
10	PA mit VSD	V.a. Pleuraempyem
11	VSD	Ursache für Haemoptysen
12	Sonstige bei AHF	echokardiographischer V. a. aortopulmonalen Shunt
13	Double-inlet ventricle	Suche nach morphologischem Korrelat bei Wesensveränderungen
14	Aortenklappenanomalien	Abklärung Hb-Abfall
15	PA mit VSD	Verlängerte Aufwachphase nach AKE

5. Diskussion

In den letzten Jahren hat die moderne Computertomographie (CT) das diagnostische Spektrum auch bei Patienten mit angeborenen Herzfehlern (AHF) stark erweitert. Bislang wurden in der Literatur überwiegend Fallberichte oder kleinere Serien von Patienten mit AHF publiziert, die mittels MSCT untersucht wurden [12, 21, 22].

In der vorliegenden Studie wird erstmals an einem großen Patientenkollektiv mit AHF über den systematischen Einsatz der modernen CT in einem Zentrum der Maximalversorgung von Erwachsenen mit angeborenen Herzfehlern (EMAH) berichtet. Dabei ist das Spektrum der Herzfehler, bei denen eine MSCT durchgeführt wurde, sehr breit. Das Alter der Patienten reicht vom Kindes- bis zum hohen Erwachsenenalter, wobei die Zahl der untersuchten Erwachsenen die der Kinder deutlich übersteigt.

Die Verbesserung der Überlebensprognose von Patienten mit AHF von 20 % auf mehr als 90 % gehört mit zu den bedeutendsten Erfolgen der Medizin in den vergangenen sechs Jahrzehnten.

Dies hat dazu geführt, dass mittlerweile alleine in der Bundesrepublik Deutschland etwa 300.000 Patienten mit AHF leben, von denen nach Berechnungen und Schätzungen rund 180.000 das Erwachsenenalter erreicht haben [41].

Wenngleich nahezu alle AHF mittlerweile erfolgreich interventionell oder operativ behandelt werden können, bestehen bei fast allen Patienten im Langzeitverlauf relevante Rest- und Folgezustände, die eine lebenslange Kontrolle erforderlich machen.

Zudem können selbstverständlich Patienten mit AHF im Verlauf ihres Lebens auch andere Erkrankungen erwerben, die sich auf den Herzfehler auswirken können.

Für die Überwachung dieser speziellen Patienten kann heutzutage auf den Einsatz bildgebender Verfahren nicht mehr verzichtet werden. Dies gilt für die

Primärdiagnose ebenso, wie für die Erfassung von Residualbefunden nach operativer oder interventioneller Behandlung.

Das heutzutage wichtigste bildgebende Verfahren ist sicher die Echokardiographie, die damit konventionelle Röntgenverfahren weitgehend verdrängt hat. Für die weiterführende Diagnostik treten jedoch Schnittbildverfahren wie die Kernspintomographie (MRT) und die moderne Computertomographie immer mehr in den Vordergrund [9, 40].

Der hohe Stellenwert, den diese bildgebenden Verfahren insbesondere bei der Versorgung von Erwachsenen mit AHF haben, kommt auch in den kürzlich veröffentlichten Empfehlungen verschiedener Fachgesellschaften (u.a. Deutsche Gesellschaft für Kardiologie (DGK), Deutsche Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie (DGPK), Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG)) zur Versorgung von Erwachsenen mit AHF (EMAH) zum Ausdruck [19, 41]. In den Empfehlungen wird, neben anderen Vorgaben, das Vorhandensein bzw. die Verfügbarkeit von MRT und CT zu einer der Voraussetzungen für die Anerkennung als überregionales EMAH-Zentrum gemacht.

Welches Untersuchungsverfahren bei der Beurteilung von AHF angewendet werden soll, richtet sich nach der jeweiligen Fragestellung, dem Grad der Invasivität, der Erfahrung des Untersuchers, der Verfügbarkeit des Verfahrens und nicht zuletzt auch nach den anfallenden Kosten. Dementsprechend muss für jede Situation das am besten geeignete und ein für den Patienten schonend durchzuführendes Untersuchungsverfahren gewählt werden.

Entsprechend den technischen Gegebenheiten hat jedes der heute verfügbaren bildgebenden Verfahren spezifische Vor- und Nachteile.

Tab. 5: Wertigkeit bildgebender Verfahren in der Kardiologie (Kaemmerer, 2008)
 Anwendbarkeit: + = mäßig; ++ = gut; +++ = sehr gut.
 CT = Computertomographie;
 MRI = Magnetresonanztomographie

	Anatomie	Funktion	Stoffwechsel	Myocard-perfusion	Gewebecharakterisierung
Röntgen	+	+			
Echo, Doppler	+++	+++		(+)	+
Angio-Kardiographie	++	+++		+	
MRI	+++	+++	++	++	+++
CT	+++	+++		++	++

Die transthorakale Echokardiographie stellt das Verfahren der Wahl in der Routinekontrolle dieser Patienten dar, hat aber besonders bei Adoleszenten und Erwachsenen durch das eingeschränkte Schallfenster deutliche Limitationen. Die transthorakale Echokardiographie erlaubt bei entsprechender Schallgängigkeit die Beurteilung von Ventrikelfunktion, die Größenbestimmung von Vorhöfen, Ventrikel, einiger Abschnitte der Systemvenen, der Pulmonalarterie, der Pulmonalvenen und der Aorta, die Bestimmung der Myokarddicke sowie die Beurteilung der Herzklappen in Echtzeit. Gefäßstrukturen wie ein persistierender Ductus Botalli, aortopulmonale Kollateralen oder chirurgisch angelegte aortopulmonale Shunts lassen sich dagegen kaum direkt erkennen.

Die Technik der Echokardiographie wurde in den letzten Jahren immer weiter perfektioniert. Spezielle Verfahren und Anwendungen umfassen Gewebedoppler, Kontrastmittelechokardiografie, Stressechokardiografie, transoesophageale Echokardiographie, intravaskuläre Ultraschalluntersuchung oder intracardiale Echokardiographie.

Die letztgenannten Verfahren sind zum Teil invasiv, oder semi-invasiv und erfordern vom Untersucher neben umfangreichen physiologischen und anato-

mischen Kenntnissen ein erhebliches Vorstellungsvermögen, um aus relativ kleinen Bildausschnitten und 2-D-Schnittbildern eine plastische Vorstellung des anatomischen Situs und der cardialen Funktion zu erhalten. Die Aussagekraft wird hier zusätzlich durch die Untersucherabhängigkeit eingeschränkt.

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist ein effektives bildgebendes Verfahren zur anatomisch-morphologischen, aber auch zur funktionellen Beurteilung der intrathorakalen Organe, insbesondere des Herzens und der großen Gefäße.

Mittels moderner Techniken (u.a. Turbo-Spin-Echo (TSE), Turbo-Gradienten-Spin-Echo (GRASE), Echo-Planar-Imaging (EPI), „Time of Flight“-Technik usw.) sind u.a. Volumen- und Flussmessungen in Herzkammern und Gefäßen oder Bestimmungen der Herzmuskelmasse möglich. Die untersuchten Organe lassen sich dreidimensional rekonstruieren. Zudem lassen sich Schlagvolumina, Shuntvolumina, Regurgitationsvolumina bei Klappeninsuffizienzen sowie Gradienten an Klappen- oder Gefäßstenosen erfassen und quantifizieren [21].

Vorteile der MRT betreffen die hohe räumliche Auflösung, die beliebig wählbaren Darstellungsebenen und die detaillierten Aussagen über Größenverhältnisse und Lagebeziehung aller thorakalen Strukturen zueinander. Zudem ist die MRI nichtinvasiv, hat nach heutiger Kenntnis, keine negativen Auswirkungen auf Stoffwechsel und Gewebe und kommt ohne ionisierende Strahlen aus. Diese Vorteile lassen auch häufig notwendige Kontrolluntersuchungen bei AHF zu, ohne den Patienten mit Strahlen zu belasten [21].

Limitationen entstehen allerdings durch die immer noch lange Untersuchungsdauer, die fehlende Anwendbarkeit bei beatmungspflichtigen Patienten, nach Implantation von ferromagnetischen Metallen oder Schrittmacheraggregaten und die hohen Kosten. Bislang kann mit keiner MRT-Technik eine intracardiale oder intravasale Druckbestimmung erfolgen.

Die Notwendigkeit einer Sedierung schränkt die Anwendbarkeit bei kleineren Kindern ein. Probleme ergeben sich auch bei Patienten mit Klaustrophobie.

Die moderne Computertomographie (CT) hat in den vergangenen Jahren eine rasante Entwicklung erlebt. Sie liefert innerhalb kürzester Zeit detaillierte, überlagerungsfreie und maßstabsgetreue Schnittbilder. Mittels spezieller Rekonstruktionstechniken werden die axialen computertomographischen Schnittbilder zu 3-dimensionalen Gebilden zusammengesetzt.

Vorteile der MSCT gegenüber der herkömmlichen CT liegen in schnelleren Scanzeiten und einer konstanten Volumenerfassung bei ähnlicher oder geringerer Strahlenbelastung. Mittels MSCT ist es möglich, sämtliche Gefäße bis zu einer Größe von 1-2 mm zu beurteilen. Die MSCT kann insbesondere bei Problemkonstellationen indiziert sein, die eine kurze Untersuchungsdauer erforderlich machen, oder wenn andere bildgebende Verfahren nicht anwendbar sind (z.B. nach Implantation von ferromagnetischen Materialien, Schrittmachern oder unter künstlicher Beatmung) [21].

Die Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel können exakt quantifiziert werden, ebenso die globale Ventrikelfunktion [6, 31]. Gut kalkulierbar sind insbesondere enddiastolische und endsystolische Volumina des rechten und linken Ventrikels und somit die Schlagvolumina und das Herzzeitvolumen [31, 35].

Darüber hinaus ist die regionale, segmentale Ventrikelfunktion ebenfalls abschätzbar, wenngleich hier eine weniger gute Korrelation zur Magnetresonanztomographie besteht [31].

Mit einigen Einschränkungen kann auch die Klappenanatomie, Klappenfunktion und Klappenöffnungsfläche beurteilt werden [31]. Vereinzelt weisen auch auf die Beurteilbarkeit von Shuntvitien hinsichtlich Shuntrichtung, -lokalisierung und -größe hin [10].

Ohne Zweifel ist die Beurteilung der Coronararterien eine Domäne der MSCT, sowohl hinsichtlich Anomalien im Ursprung und Verlauf der Coronarien, als auch hinsichtlich einer erworbenen koronaren Herzerkrankung [5, 29].

Ein Nachteil der Computertomographie liegt immer noch in der fehlenden Möglichkeit, funktionelle Aspekte zu quantifizieren. So können Stenosen infolge lokaler Lumenveränderungen zwar morphometrisch erfasst werden, Rückschlüsse auf die funktionellen Einschränkungen gelingen allerdings nur indirekt [21]. Zusätzlich können bei der 3D-Oberflächendarstellung durch Pulsationsartefakte Bildverzerrungen entstehen.

Die größten Schwachstellen resultieren aus der Strahlenexposition sowie aus der Notwendigkeit der Kontrastmittelapplikation. Es ist gerade für Patienten mit AHF nachteilig, wenn die im Laufe des gesamten Lebens immer wieder notwendig werdenden Untersuchungsverfahren auf ionisierenden Strahlen beruhen. Hoffman et al [16] konnten anhand der Patientenkollektive, die in die retrospektive Multicenter-Kohortenstudie „European Heart Survey on adult congenital heart disease“ eingeschlossen wurden, zeigen, dass CT-Untersuchungen an der anfallenden Strahlenbelastung einen erheblichen Anteil (39 %) haben. Einen höheren Anteil hatten lediglich die Angiographien (42 %). Die andere Strahlenbelastung stammte von konventionellen Röntgenuntersuchungen (3 %) und nuklear-medizinischen Untersuchungen (16 %).

In der o.g. Studie lag die durchschnittliche kumulative jährliche effektive Dosis pro Patient bei 0,46 mSv. Die effektiven Dosen, die durch CT-Untersuchungen anfielen, lagen besonders hoch bei Patienten mit Fontan-Zirkulation, CoA, Marfan-Syndrom und mit zyanotischen Herzfehlern.

In diesem Zusammenhang ist es allerdings wichtig zu betonen, dass die Ergebnisse der International Prospective Multicenter Study On Radiation Dose Estimates Of Cardiac CT Angiography IN Daily Practice (PROTECTION I) zeigten, dass die Strahlendosis von Zentrum zu Zentrum und in Abhängigkeit von der gewählten

Technik und den Algorithmen erheblich verringert werden kann [14]. Aufgrund der anfallenden Strahlenexposition sollten wiederholte Untersuchungen – sofern vertretbar – lediglich in größeren zeitlichen Intervallen durchgeführt werden.

Tab. 5.1: Vor- und Nachteile der Spiral-CT (mod. nach: Kaemmerer, Crean, 2007; Ou und Celermajer, 2007)

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • nichtinvasiv • untersucherunabhängiges Verfahren mit guter Reproduzierbarkeit • kurze Untersuchungsdauer • meist auch schwer kranken Patienten zumutbar • keine Sedierung erforderlich • geringere Strahlenbelastung als beim konventionellen CT • großes Gesichtsfeld • wenig Artefakte durch ferromagnetisches Material • Gute Darstellung calcifizierter Strukturen (z.B. Pericard, Coronararterien) • hohe räumliche Auflösung • dreidimensionale Darstellungen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • nicht am Krankenbett verfügbar • Strahlenbelastung • Röntgenkontrastmittel erforderlich • Sedierung bei kleinen Kindern erforderlich • keine Flussmessungen und Gradientenbestimmung möglich

Inzwischen hat die MSCT auch in der Beurteilung von Pat. mit AHF zunehmend Bedeutung gewonnen [44]. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung und die Durchsicht der vergleichsweise spärlichen Literatur hierzu lassen erkennen, dass bei Patienten mit AHF die Indikation zur CT-Untersuchung sowohl bei nativen AHF als auch nach operativer oder interventioneller Behandlung bestehen kann [2].

Letzteres gilt zum einen für die Planung eines operativen (e.g. praeoperative Beurteilung retrosternal gelegener Herz- und Gefäßanteile), interventionellen oder elektrophysiologischen Eingriffes, zum anderen auch für den frühen Zeitraum nach einem Eingriff sowie den Langzeitverlauf.

Besonders gut beurteilen lassen sich Anomalien der thorakalen Aorta, der Pulmonalarterien und -venen, der Systemvenen und assoziierte Gefäßanomalien. Wichtig kann auch die Darstellung des anatomischen Situs vor oder nach Operation eines komplexen angeborenen Herzfehlers (u.a. Pulmonalatresie mit Kollateralen, nach Shuntanlage, nach Implantation extracardialer Conduits, Anastomosenverhältnisse nach Mustard-, Glenn- oder Fontan-OP) sein [15]. Resultierend aus der vorliegenden Studie und aus der verfügbaren Literatur gibt die Tabelle 5.2 einen Überblick über Fragestellungen im Zusammenhang mit einem AHF, die besonders gut mit der CT beantwortet werden können.

Tab. 5.2: Zusammenstellung der wichtigsten vitientypischen Befunde, die mittels MSCT erhoben werden können (mod. n.: Kaemmerer; Leschka und Oechslin, 2007; Ou und Celermajer, 2007; Cook und Raman, 2007; Raman und Cook, 2005; Steiner und Reddy, 2002)

Vitium	S-CT-Befunde
Systemvenen	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellung von Größe und Verlauf • Nachweis von Anomalien • Nachweis von Obstruktionen
Lungenvenen	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellung von Größe und Verlauf • Nachweis von Anomalien postoperativ • Nachweis oder Ausschluss von Stenosen
Pulmonalarterien	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellung von Größe und Verlauf • Nachweis von Stenosen und Aneurysmen • Nachweis von Thromben bei Lungenembolie
Coronararterien	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellung von Größe und Verlauf • Nachweis von Anomalien • Nachweis oder Ausschluss von Stenosen • Nachweis oder Ausschluss von Calcifizierungen • Quantifizierung der Ventrikelfunktion
Aortenaneurysmen	<ul style="list-style-type: none"> • Größe, • Ausdehnung • Zeichen der Perforation/Aortenruptur • im Abdomen: Abstand zum Ursprung der Nierenarterien <li style="padding-left: 20px;">Stenosen der Visceralarterien <li style="padding-left: 20px;">Beteiligung der Aortenbifurkation und der Iliakalgefäße • Pleuraerguß • Mediastinalbeteiligung

Aortendissektion	<ul style="list-style-type: none"> ● Klassifikation ● Lokalisation von Entry und Re-entry ● Perforationszeichen ● Identifikation von wahren und falschem Lumen ● Mitbeteiligung von Seitenästen
Aorten-, Aortenbogenanomalien	<ul style="list-style-type: none"> ● Lokalisation des Aortenbogens (rechts, links) ● Doppelter Aortenbogen ● vascularring/sling ● Aortenisthmusstenose ● Aortenstenosen ● Aortenaneurysmen ● unterbrochener Aortenbogen
Aortenisthmusstenose	<p>Praeinterventionell/-operativ:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Nachweis, Lokalisation und Ausmaß der Stenose ● hypoplastischer Aortenbogen ● poststenotische Dilatation ● Kollateralgefäße ● Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel ● Quantifizierung der Ventrikelfunktion <p>Postinterventionell/-operativ</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Re-/Reststenose ● Ascendensaneurysma ● hypoplastischer Aortenbogen ● Aneurysmen im OP-/Dilatationsbereich ● Klare Darstellung der Anatomie nach Stentimplantation ● Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel ● Quantifizierung der Ventrikelfunktion
Marfan-Syndrom	<ul style="list-style-type: none"> ● Ektasie der Aorta ● Aortendissektion ● Dura-Ektasie ● Skelett-Anomalien
Vorhofseptumdefekt	<ul style="list-style-type: none"> ● Klare Darstellung der Anatomie des Vorhofseptums ● Defektdarstellung (Position, Größe, Form, Lagebeziehung zu anderen anatomischen Strukturen) ● Nachweis/Ausschluss begleitender Gefäßanomalien (z.B. System- oder Lungenvenen) ● Device-Beurteilung nach perkutaner Implantation (Position, Thromben, Lagebeziehung zu anderen anatomischen Strukturen (z.B.: Aorta, AV-Klappe, Lungenvenen)) ● Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel ● Quantifizierung der Ventrikelfunktion

	<ul style="list-style-type: none"> • Komplikationen (s. Eisenmenger-Reaktion)
Ventrikelseptumdefekt	<ul style="list-style-type: none"> • Klare Darstellung der Anatomie des Ventrikelseptums • Defektdarstellung (Position, Größe, Form, Lagebeziehung zu anderen anatomischen Strukturen) • Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel • Komplikationen (s. Eisenmenger-Reaktion)
Fallot'sche Tetralogie	<p>Praeoperativ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pulmonalarteriengröße • Aortenbogen • Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel • Quantifizierung der Ventrikelfunktion
Pulmonalatresie	<ul style="list-style-type: none"> • Pulmonalarteriengröße und -kontinuität • Aorto-pulmonale Kollateralen • Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel • Quantifizierung der Ventrikelfunktion
Aorto-pulmonale Shunts (nativ: PDA, Aorto-pulmonales Fenster; original oder modifiz. Blalock-Taussig-Shunt; Pott-; Waterston-Anastomose)	<ul style="list-style-type: none"> • Lokalisation und Durchgängigkeit • Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel • Quantifizierung der Ventrikelfunktion
Komplette Transposition der großen Arterien	<p>nativ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ursprung und Verlauf der Aorta • Ursprung und Verlauf der Pulmonalarterie • Begleitende Anomalien (z.B. VSD) • Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel • Quantifizierung der Ventrikelfunktion <p>nach Vorhofumkehr-Operation</p> <ul style="list-style-type: none"> • systemvenöse Obstruktion • pulmonalvenöse Obstruktion • Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel • Quantifizierung der Ventrikelfunktion <p>nach arterieller Switch-Operation</p> <ul style="list-style-type: none"> • supraalvuläre Pulmonalstenosen • Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel • Nachweis oder Ausschluss von Coronarveränderungen • Quantifizierung der Ventrikelfunktion <p>nach Rastelli-Operation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stenosen und Verkalkungen im Bereich des Conduits • Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel • Quantifizierung der Ventrikelfunktion

Z. n. Glenn- oder modifiz. Fontan-Operation	<ul style="list-style-type: none"> • Anastomosenregion (atrio-pulmonal; veno-pulmonal) • Thromben • Pleura-/Pericardergüsse/ Ascites • Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel • Quantifizierung der Ventrikelfunktion
Eisenmenger-Reaktion	<ul style="list-style-type: none"> • Dilatierter Pulmonalarterienstamm • Pulmonalarterienanatomie • Rechtsventrikuläre Hypertrophie • Dekretische, nicht-verkalkte Coronararterien • In-situ Thromben, Thrombus-Calcifizierungen • Größenverhältnisse der Vorhöfe und Ventrikel • Quantifizierung der Ventrikelfunktion
Komplexe Herzfehler (Hypoplastisches Linksherz, Double-inlet ventricle, PA mit intaktem Septum)	Postoperativ: <ul style="list-style-type: none"> • Anatomie und Funktion nach Conduit
ccTGA	<ul style="list-style-type: none"> • Anatomie und Funktion des Conduit
TAC	<ul style="list-style-type: none"> • Postoperative Kontrollen nach Repair
Kardiomyopathie	<ul style="list-style-type: none"> • Differenzierung • Praeoperative Planung

Die vorliegende Studie belegt, dass neben Fragen, die den AHF direkt betreffen, auch erworbene kardiovaskuläre Befunde sowie primär nicht-cardiale Erkrankungen oder Befunde Beachtung finden müssen, wie Schroeder et al. [40] bereits zeigen konnten. Wichtige Zusatzbefunde betreffen intra- und paracardiale Raumforderungen, Thromben, Pericardkrankungen, Lungenembolien, Gefäßthrombosen sowie cerebrale Ereignisse und septische Komplikationen.

Dies stimmt mit den Ergebnissen von Onuma und Tanabe [32] überein, die ebenfalls anlässlich einer cardialen MDCT eine signifikante Zahl nicht-cardialer Befunde erheben konnten. Zu einem ähnlichen Resultat kamen Gil et al. [11]. Sie fanden bei 258 Patienten, die eine CT-Untersuchung der Koronararterien erhielten, in 56,2 % der Fälle signifikante, nicht-cardiale Veränderungen. Dabei handelte es sich vorwiegend um Lungenerkrankungen (n=91; Emphyseme, Bullae, interstitielle Lungenerkrankungen, Lungentumore), Pericardveränderungen, Lebererkrankungen, Nebennieren- und Knochenveränderungen, die eine weitere Abklärung erforderlich machten.

Gemäß der vorliegenden Studienergebnisse und der Literatur lassen sich einige generelle Aussagen treffen:

Thromben im Bereich der Vorhöfe, Ventrikel und Gefäße sind mittels CT vielfach gut darstellbar [28, 45].

Häufig und wichtig ist die Beurteilung von Pericardbeteiligungen oder -erkrankungen. Mittels CT lassen sich Pericardergüsse, Haemopericard, Pericardverdickungen und -verkalkungen sicher nachweisen und in ihrem Ausmaß quantifizieren [4, 39, 52]. Dichtewertmessungen erlauben eine Differenzierung von serösen, eitrigen oder haemorrhagischen Ergüssen

Bei der Abgrenzung einer Pericarditis constrictiva gegenüber einer restriktiven Kardiomyopathie kann die MSCT durch den Nachweis einer Pericardverdickung auf mehr als 4 mm, sowie von Erweiterungen der Hohlvenen und Vorhöfe hilfreich sein [4, 27, 52].

Die Diagnose einer Lungenembolie bereitet auch heutzutage immer noch erhebliche Probleme. Die MSCT ist beim Nachweis einer zentralen oder segmentalen LE hochsensitiv (ca. 95 %) bei hoher Spezifität (ca. 80-95 %) [37] und der Ventilations-/Perfusionsszintigraphie überlegen [1]. Sie kann vielfach die Pulmonalisangiographie ersetzen und ist ihr zumindest ebenbürtig [7, 34].

In 5,7 % aller durchgeführten Thorax-CT-Untersuchungen an 587 Patienten zeigte sich eine Lungenembolie als unerwarteter Zufallsbefund, wie Ritchie et al. zeigen konnten [37]. Die Mehrzahl der nachgewiesenen Lungenembolien betraf die Peripherie und war klinisch inapparent. In mehr als einem Drittel der Fälle wurde der LE - Befund bei der initialen Befundung übersehen. Dabei bestand eine Korrelation zwischen höherem Lebensalter und Häufigkeit der Befunde.

Kleine und haemodynamisch unbedeutende periphere Embolien können sich allerdings dem Nachweis entziehen [34].

Letztendlich muss Erwähnung finden dass es sich bei der MSCT um ein Untersuchungsverfahren handelt, dessen Anwendung auch durch die erheblichen anfallenden Kosten limitiert ist [44].

Dieses Problem betrifft vorwiegend den Bereich der Primärversorger. Da in einem Zentrum der Maximalversorgung vorwiegend Patienten mit schweren und komplikationsträchtigen Erkrankungen behandelt werden, fällt dies in derartigen Institutionen weniger ins Gewicht. Hier werden überwiegend die Patienten zur CT gebracht, bei denen mit allen anderen einfacheren Verfahren keine ausreichende oder keine ausreichend schnelle Diagnose gestellt werden kann. Somit kommt hier mehr die Kosteneffektivität als alleine die reinen Kosten zum Tragen. Bei adäquat selektionierten Patienten erscheinen die anfallenden Kosten daher durchaus gerechtfertigt. Voraussetzung sollte allerdings sein, dass die Indikation zur MSCT von einem erfahrenen congenitalen Kardiologen und möglichst in Abstimmung mit einem gleichermaßen erfahrenen Radiologen getroffen wird [25].

Zusammenfassend macht die vorliegenden Studie deutlich, dass congenitale Kardiologen bei der Beurteilung der MSCT-Befunde ihrer Patienten eng mit einem erfahrenen Radiologen zusammenarbeiten müssen, da sich die Diagnostik oftmals nicht alleine auf die Beurteilung der cardialen Anomalie bzw. Anatomie beschränkt [18]. Andererseits ist es aber von immenser Bedeutung, dass sich die Radiologen detailliert mit dem zu beurteilenden Herzfehler auskennen. Nur so kann in enger Kooperation der verschiedenen Fachgebiete der Untersuchungsablauf exakt geplant werden und eine korrekte Diagnose gestellt werden.

Die rasanten technischen Änderungen, mit Verbesserung der Bildqualität und Verringerung der Strahlendosis, scheinen noch nicht ausgeschöpft, so dass für die Zukunft eine weitere Verbreitung dieser Untersuchungsmethode mit noch größerem Erkenntnisgewinn in der prae- und postoperativen Diagnostik zu erwarten sein wird.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen lässt sich erkennen, dass bei zahlreichen Patienten im Adoleszenten- und Erwachsenenalter vor und nach operativer Behandlung einer Herz- oder Gefäßanomalie anatomische Veränderungen bestehen, die während des gesamten Lebens Kontrolluntersuchungen notwendig machen.

Zur Erfassung lokaler pathologischer Prozesse werden heutzutage bildgebende Verfahren eingesetzt. Für die Wahl des am besten geeigneten Verfahrens müssen die jeweiligen Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung gegeneinander abgewogen werden.

Versucht man nun aus den vorliegenden Daten eine für den Patienten effiziente und letztendlich auch kostensparende Stufendiagnostik beim Einsatz bildgebender Verfahren vorzuschlagen, so steht – nach Echokardiographie und der konventionellen Röntgenaufnahme die Thorax-MSCT zusammen mit dem MRI an dritter Stelle.

Bei der MSCT handelt es sich um ein minimal invasives bildgebendes Verfahren das es ermöglicht, die thorakalen Strukturen innerhalb eines einzigen, wenige Sekunden dauernden Scans lückenlos und überlagerungsfrei zu erfassen. Dabei lassen sich sowohl herkömmliche Querschnittsbilder als auch Sekundärrekonstruktionen entsprechend der Lage interessierender Strukturen erstellen. 3D-Oberflächendarstellungen ergeben, ohne zusätzliche Strahlenbelastung, eindrucksvolle Bilder der Lagebeziehung intrathorakaler Strukturen zueinander und eignen sich daher besonders gut, eine räumliche Vorstellung komplexer Situationen zu vermitteln.

Aufgrund der hohen Ortsauflösung und beliebig wählbaren Schnittrichtungen lassen sich computertomographisch alle relevanten Strukturen größtmäßig sicher quantifizieren.

Für die MSCT ergeben sich Nachteile durch die Strahlenexposition sowie durch die Notwendigkeit der Kontrastmittelapplikation. Aufgrund dieser Strahlenexposition sollten die wiederholten Untersuchungen – wenn vertretbar – lediglich in größeren zeitlichen Intervallen durchgeführt werden.

Die MSCT wird insbesondere bei Problemkonstellation Anwendung finden, wenn eine kurze Untersuchungsdauer erforderlich ist oder Kontraindikationen für andere Untersuchungsverfahren bestehen (z.B. nach Implantation ferromagnetischer Materialien, nach Schrittmacherimplantation oder unter künstlicher Beatmung).

Am Beispiel von 250 Patienten mit angeborenen Herzfehlern wird deutlich auf die Bedeutung der relevanten Residualbefunde und spezifischer Fragestellungen eingegangen, die einer MSCT-Untersuchung zugänglich sind.

Als Hauptindikation für die Durchführung einer MSCT kann demnach derzeit die Beurteilung von Anomalien der thorakalen Aorta, der Pulmonalarterien und -venen, der Systemvenen, von Gefäßanomalien und der anatomische Situs vor oder nach Operationen eines komplexen angeborenen Herzfehlers (u.a. Pulmonalatresie mit Kollateralen, nach Shuntanlage, Anastomosenverhältnisse nach Mustard-OP oder Fontan-OP) sowie die praeoperative Beurteilung retrosternal gelegener Herz- und Gefäßanteile gelten.

Bei entsprechend kritischer Würdigung bereichert die MSCT die kardiologische Diagnostik auch bei Patienten mit angeborenen Herzfehlern wesentlich.

7. LITERATURVERZEICHNIS

1. Bajc M, Olsson CG, Olsson B, Palmer J, Jonson B. (2004). „Diagnostic evaluation of planar and tomographic ventilation/perfusion lung images in patients with suspected pulmonary emboli“. Clin Physiol Funct Imaging 24 (5): 249-56.
2. Bean MJ, Pannu H, Fishman EK. (2005). „Three-dimensional computed tomographic imaging of complex congenital cardiovascular abnormalities“. J Comput Assist Tomogr 29 (6): 721-4.
3. Bittner RC, Kaiser D, Felix R. „Invasive plasma-cell granuloma of the mediastinum“. Rofo. 1994 Jan; 160 (1): 94-5
4. Butz T, Langer C, Faber L, Körfer R, Horstkotte R. (2007). „Double-layered calcification with interspacial pericardial effusion in a patient with pericarditis constrictiva calcarea detected by multislice computed tomography“. Clin Res Cardiol 96 (5): 299-300.
5. Cook SC, Raman SV. (2007). „Unique application of multislice computed tomography in adults with congenital heart disease“. Int J Cardiol 119 (1): 101-6.
6. Crean A. (2007). „Cardiovascular MR and CT in congenital heart disease“. Heart 93 (12): 1637-47.
7. Cueto SM, Cavanaugh SH, Benenson RS, Redclift MS. (2001). „Computed tomography scan versus ventilation-perfusion lung scan in the detection of pulmonary embolism“. J Emerg Med 21 (2): 155-64.
8. Flohr TG, McCollough CH, Bruder H, Petersilka M, Gruber K, Süß C, Grasruck M, Stierstorfer K, Krauss B, Raupach R, Primak AN, Küttner A, Achenbach S, Becker C, Kopp A, Ohnesorge BM. (2006) „First

performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system". *Eur Radiol* 16 (2): 256-68.

9. Fraser AG, Buser PT, Bax JJ, Dassen WR, Nihoyannopoulos P, Schwitter J, Knuuti JM, Höher M, Bengel F, Szatmári A. (2006). „The future of cardiovascular imaging and non-invasive diagnosis: a joint statement from the European Association of Echocardiography, the Working Groups on Cardiovascular Magnetic Resonance, Computers in Cardiology, and Nuclear Cardiology, of the European Society of Cardiology, the European Association of Nuclear Medicine, and the Association for European Paediatric Cardiology". *Eur Heart J* 27 (14): 1750-3.
10. Funabashi N, Asano M, Sekine T, Nakayama T, Komuro I. (2006). „Direction, location, and size of shunt flow in congenital heart disease evaluated by ECG-gated multislice computed tomography". *Int J Cardiol* 112 (3): 399-404.
11. Gil BN, Ran K, Tamar G, Shmuell F, Eli A. (2007). „Prevalence of significant noncardiac findings on coronary multidetector computed tomography angiography in asymptomatic patients". *J Comput Assist Tomogr* 31 (1): 1-4.
12. Goo, HW, Park IS. (2007). „Left ventricular noncompaction in an infant: use of non-ECG-gated cardiac CT". *Pediatr Radiol*. 37: 217-20.
13. Computed tomography for the diagnosis of congenital heart disease in pediatric and adult patients (2005). „Computed tomography for the diagnosis of congenital heart disease in pediatric and adult patients". *Int J Cardiovasc Imaging* 21 (2-3): 347-65; discussion 367.
14. Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, Huber E, Zankl M, Martinoff S, Kastrati A, Schömig A. (2006). „Radiation dose estimates from cardiac multislice

computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose estimates". *Circulation* 113 (10): 1305-10.

15. Hayabuchi Y, Mori K, Kitagawa T, Inoue M, Kagami S. (2007). „Accurate quantification of pulmonary artery diameter in patients with cyanotic congenital heart disease using multidetector-row computed tomography". *Am Heart J* 154 (4): 783-8.
16. Hoffmann A, Engelfriet P, Mulder B. (2007). „Radiation exposure during follow-up of adults with congenital heart disease". *Int J Cardiol* 118 (2): 151-3.
17. Hounsfield GN. (1980). „Computed medical imaging. Nobel lecture, December 8, 1979". *J Comput Assist Tomogr.* 1980 Oct 4; (5): 665-74.
18. Jelnin V, Co J, Muneer B, Swaminathan B, Toska S, Ruiz CE. (2006). „Three dimensional CT angiography for patients with congenital heart disease: scanning protocol for pediatric patients". *Catheter Cardiovasc Interv* 67 (1): 120-6.
19. Kaemmerer H, Breithardt G. (2006). „[Recommendations for the quality improvement of interdisciplinary care of adults with congenital heart anomalies]". *Clin Res Cardiol* 95 Suppl 4: 76-84.
20. Kaemmerer H, Hess J. (2005). „[Adult patients with congenital heart abnormalities: present and future]". *Dtsch Med Wochenschr* 130 (3): 97-101.
21. Kaemmerer H, Stern H, Fratz S, Prokop M, Schwaiger M, Hess J. (2000). „Imaging in adults with congenital cardiac disease (ACCD)". *Thorac Cardiovasc Surg* 48 (6): 328-35.

22. Kaemmerer H, Ibrahim T, Schwaiger M, Hess J. (1999). „Magnetic resonance imaging and spiral computed tomography in the diagnosis and follow-up of adults with congenital heart and vessel disease“. Herz 24 (4): 263-75.
23. Kaemmerer H, Meisner H, Hess J, Perloff JK. „Surgical treatment of patent ductus arteriosus: a new historical perspective“. Am J Cardiol. 2004 Nov 1; 94 (9): 1153-4
24. Katayama H. (1990). „Adverse reactions to contrast media. What are the risk factors?“ Invest Radiol 25 Suppl 1: S. 16-7.
25. Leschka S, Oechslin E, Husmann L, Desbiolles L, Marincek B, Genoni M, Prêtre R, Jenni R, Wildermuth S, Alkadhi H. (2007). „Pre- and postoperative evaluation of congenital heart disease in children and adults with 64-section CT“. Radiographics 27 (3): 829-46.
26. Ley S, Zaporozhan J, Arnold R, Eichhorn J, Schenk JP, Ulmer H, Kreitner KF, Kauczor HU. (2007). „Preoperative assessment and follow-up of congenital abnormalities of the pulmonary arteries using CT and MRI“. Eur Radiol 17 (1): 151-62.
27. Little WC, Freeman GL. (2006). „Pericardial disease“. Circulation. 2006 Mar 28; 113 (12): 1622-32
28. Lumia D, Carrafiello G, Laganà D, Musazzi A, Giorgianni A, Sala A, Fugazzola C. (2008). „Diagnosis with ECG-gated MDCT of floating thrombus in aortic arch in a patient with type-A dissection“. Vasc Health Risk Manag 4 (3): 735-9.
29. Manghat NE, Morgan-Hughes GJ, Roobottom CA. (2005). „Multi-detector row computed tomography: imaging in acute aortic syndrome“. Clin Radiol 60 (12): 1256-67.

30. Morris CD, Menashe VD. (1991). „25-year mortality after surgical repair of congenital heart defect in childhood. A population-based cohort study”. *Jama* 266 (24): 3447-52.
31. Nicol ED, Gatzoulis M, Padley SP, Rubens M. (2007). „Assessment of adult congenital heart disease with multi-detector computed tomography: beyond coronary lumenography”. *Clin Radiol* 62 (6): 518-27.
32. Onuma Y, Tanabe K, Nakazawa G, Aoki J, Nakajima H, Ibukuro K, Hara K. (2006). „Noncardiac findings in cardiac imaging with multidetector computed tomography”. *J Am Coll Cardiol* 48 (2): 402-6.
33. Ou P, Celermajer DS, Calcagni G, Brunelle F, Bonnet D, Sidi D. (2007). „Three-dimensional CT scanning: a new diagnostic modality in congenital heart disease”. *Heart* 93 (8): 908-13.
34. Quiroz R, Schoepf UJ, (2005). „CT pulmonary angiography for acute pulmonary embolism: cost-effectiveness analysis and review of the literature”. *Semin Roentgenol* 40 (1): 20-4.
35. Raman SV, Cook SC, McCarthy B, Ferketich AK. (2005). „Usefulness of multidetector row computed tomography to quantify right ventricular size and function in adults with either tetralogy of Fallot or transposition of the great arteries”. *Am J Cardiol* 95 (5): 683-6.
36. Rigatelli G. (2005). „Congenital heart diseases in aged patients: clinical features, diagnosis, and therapeutic indications based on the analysis of a twenty five-year Medline search”. *Cardiol Rev* 13 (6): 293-6.

37. Ritchie G, McGurk S, McCreath C, Graham C, Murchison JT. (2007). „Prospective evaluation of unsuspected pulmonary embolism on contrast enhanced multidetector CT (MDCT) scanning”. *Thorax* 62 (6): 536-40.
38. Roberts WT, Bax JJ, Davies LC. (2008). „Cardiac CT and CT coronary angiography: technology and application”. *Heart* 94 (6): 781-92.
39. Robles P, Rubio A, Olmedilla P. (2006). „Value of multidetector cardiac CT in calcified constrictive pericarditis for pericardial resection”. *Heart* 92 (8): 1112.
40. Roelandt JR. (2000). „Seeing the heart; the success story of cardiac imaging”. *Eur Heart J* 21 (16): 1281-8.
41. Schmaltz AA, Bauer U, Baumgartner H, Cesnjevar R, de Haan F, Franke C, Gabriel H, Gohlke-Bärwolf C, Hagl S, Hess J, Hofbeck M, Kaemmerer H, Kallfelz HC, Lange PE, Nock H, Oechslin E, Schirmer KR, Tebbe U, Trindade PT, Weyand M, Breithardt G. (2008). „Medical guideline for the treatment of adults with congenital heart abnormalities of the German-Austrian-Swiss Cardiology Specialty Society”. *Clin Res Cardiol* 97 (3): 194-214.
42. Schoenhagen P, Greenberg RK. (2008). „3-Dimensional planning of endovascular procedures with multi-detector computed tomography (MDCT): impact on procedural results and clinical outcome?” *Int J Cardiovasc Imaging* 24(2): 211-3.
43. Schoenhagen P, Stillman AE, Halliburton SS, Kuzmiak SA, Painter T, White RD. (2005). „Non-invasive coronary angiography with multi-detector computed tomography: comparison to conventional X-ray angiography”. *Int J Cardiovasc Imaging* 21 (1): 63-72.

44. Schroeder S, Achenbach S, Bengel F, Burgstahler C, Cademartiri F, de Feyter P, George R, Kaufmann P, Kopp AF, Knuuti J, Ropers D, Schuijf J, Tops LF, Bax JJ. „Cardiac computed tomography: indications, applications, limitations, and training requirements“; report of a Writing Group deployed by the Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the European Society of Cardiology and the European Council of Nuclear Cardiology.; Eur Heart J. 2008 Feb; 29 (4): 531-56. Epub 2007 Dec 15
45. Shapiro MD, Neilan TG, Jassal DS, Samy B, Nasir K, Hoffmann U, Sarwar A, Butler J, Brady TJ, Cury RC. „Multidetector computed tomography for the detection of left atrial appendage thrombus: a comparative study with transesophageal echocardiography“. J Comput Assist Tomogr 31 (6): 905-9.
46. Sibley CT, Lima JA. (2008). „Assessment of ventricular structure and function with multidetector CT and MRI“. Curr Cardiol Rep 10 (1): 67-71.
47. Siegel MJ, Bhalla S, Gutierrez FR, Billadello JB. (2005). „MDCT of postoperative anatomy and complications in adults with cyanotic heart disease“. AJR Am J Roentgenol 184 (1): 241-7.
48. Soongswang J, Nana A, Laohaprasitiporn D, Durongpisitkul K, Kangkagate C, Rochanasiri W, Kovitcharoentrakul T. (2000). „Limitation of transthoracic echocardiography in the diagnosis of congenital heart diseases“. J Med Assoc Thai 83 Suppl 2: S. 111-17.
49. Stark J. (1989). „Do we really correct congenital heart defects?“ J Thorac Cardiovasc Surg 97 (1): 1-9.
50. Steiner RM, Reddy GP, Flicker S. (2002). „Congenital cardiovascular disease in the adult patient: imaging update“. J Thorac Imaging 17 (1): 1-17.

51. Tworetzky W, McElhinney DB, Brook MM, Reddy VM, Hanley FL, Silverman NH. (1999). „Echocardiographic diagnosis alone for the complete repair of major congenital heart defects.” J Am Coll Cardiol 33 (1): 228-33.
52. von Erffa J, Daniel WG, Achenbach S. (2006). „Three-dimensional visualization of severe pericardial calcification in constrictive pericarditis using multidetector-row computed tomography”. Eur Heart J 27 (3): 275.
53. Warnes CA, Liberthson R, Danielson GK, Dore A, Harris L, Hoffman JL, Somerville J, Williams RG, Webb GD (2001). „Task force 1: the changing profile of congenital heart disease in adult life”. J Am Coll Cardiol 37 (5): 1170-5.

8. VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tab.		<u>Seite</u>
1.1.1	Entwicklung der Überlebensraten der Patienten mit AHF in Abhängigkeit vom Schweregrad der Erkrankung	8
1.1.2	Gruppierung von Patienten mit angeborenen Anomalien des Herzens und der großen Gefäße	8
1.1.3	Bedeutsame anatomische und funktionelle Rest- und Folgezustände nach operativer oder interventioneller Behandlung wichtiger angeborener Herzfehler	10
1.3.1.2	Vergleich der räumlichen und zeitlichen Auflösung verschiedener Untersuchungsmethoden	14
3.1.3	Systematik der AHF und Zahl der eingeschlossenen Patienten je Gruppe	22
4.2	Anzahl der kombiniert untersuchten Körperregionen in einem MSCT-Untersuchungsgang	26
4.3.1	Übersicht über die nicht-operierten Patienten mit angeborenem Herzfehler und die Verteilung der Diagnosen respektive der Indikationsstellungen	27
4.4	Fragestellungen an die MSCT praeoperativ bzw. praeinterventionell	29
4.4.1	Fragestellungen an die MSCT in der perioperativen, frühen postoperativen oder postinterventionellen Verlaufskontrolle (N/A-Nachweis/ Ausschluss; VHU-Vorhofumkehr)	31
4.4.2	Fragestellungen an die MSCT in der Langzeit-Verlaufskontrolle nach Operation oder Intervention	33
4.5.1	MSCT zur Abklärung einer klinisch vermuteten Lungenembolie unter Berücksichtigung der Hauptdiagnosegruppe und der Untergruppen der AHF	36
4.5.1.1	MSCT-Untersuchungen bei V.a. Lungenembolie unter besonderer Berücksichtigung des zugrunde liegenden AHF und Übersicht über die untersuchten Körperregionen	37

Tab.		<u>Seite</u>
4.5.2	MSCT zum N/A eines cerebralen Geschehens unter Berücksichtigung der Haupt- und Nebengruppen der AHF	38
4.5.2.1	MSCT-Darstellung der verschiedenen Körperregionen zum N/A cerebrale Symptomatik unter Berücksichtigung des zugrunde liegenden AHF	39
4.5.4	MSCT zum N/A eines Aortenaneurysmas bzw. einer Aortendissektion unter Berücksichtigung des AHF	40
4.5.4.1	Darstellung der verschiedenen Körperregionen im Rahmen eines N/A eines Aortenaneurysmas bzw. einer Aortendissektion	41
4.5.5	MSCT zum N/A von Entzündungsprozessen unter Berücksichtigung des AHF	42
4.5.5.1	Darstellung der Untersuchungen zum N/A eines entzündlichen Prozesses. Berücksichtigt sind der zugrunde liegende AHF und die jeweils untersuchte Körperregion	43
4.5.8	MSCT zum N/A thorakaler Gefäßmalformationen	45
4.5.8.1	Darstellung der verschiedenen Körperregionen resp. der Anzahl der Untersuchungen unter Berücksichtigung des AHF bei N/A thorakaler Gefäßmalformationen	45
4.5.9	Spezielle Fragestellungen bei verschiedenen zugrunde liegenden AHF. Dargestellt sind der Zeitpunkt der Untersuchung und die klinische Fragestellung die zu der Untersuchung führte	46
4.6	Übersicht über die Verteilung der Fragestellungen die zur Indikationsstellung einer MSCT in den jeweiligen AHF-Gruppen geführt haben	47
4.7	Übersicht über die Kombinationen und Verteilung der Kontrastmittelgabe bei den durchgeführten MSCT-Untersuchungen	51
4.8	Fragestellungen bei der die MSCT – Untersuchung die klinisch gestellte Frage nicht abschließend beantworten konnte	52
5	Wertigkeit bildgebender Verfahren in der Kardiologie	55
5.1	Vor- und Nachteile der Spiral-CT	59
5.2	Zusammenstellung der wichtigsten vitientypischen Befunde, die mittels MSCT erhoben werden können	60

9. VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

	<u>Seite</u>	
1.1.1	Entwicklung der Behandlung der AHF	7
3.1.1	Anzahl und Geschlechtsverteilung der in die Studie integrierten Patienten (n=195)	19
3.1.2	Altersverteilung in Dekaden aller in die Studie eingeschlossenen Patienten, Säulen getrennt nach Geschlecht	20
3.1.4	Anzahl der durchgeführten operativen oder interventionellen Behandlungen bei den Patienten der Studie. Nicht berücksichtigt sind Patienten mit einem Nativbefund zum Zeitpunkt der Untersuchung	23
4.1	Zahl untersuchter Patienten mit AHF, durchgeführte Untersuchungsgänge und Zahl der untersuchten anatomischen Regionen	24
4.1.1	Zahl der untersuchten Patienten mit AHF, sowie Anzahl der Untersuchungsgänge pro Patient	25
4.2	Untersuchte anatomische Regionen (n=310) bei 250 MSCT - Untersuchungen an 195 Patienten	26
4.3.1	Anlass und Zeitpunkt der MSCT- Untersuchungen (n=250) im Verlauf unter Berücksichtigung der operierten und nicht-operierten Patienten	28

Danksagung

Ich danke dem Direktor des Deutschen Herzzentrums München, Klinik für Kinderkardiologie und angeborene Herzfehler, Herrn Prof, Dr. J. Hess, für die Überlassung des Dissertationsthemas.

Dem Referenten dieser Arbeit, Herrn Prof. Dr. Dr. H. Kaemmerer gebührt mein ganz besonderer Dank für die Bereitschaft zur Betreuung dieser Arbeit, die stets freundliche und geduldige Unterstützung und Förderung bei ihrer Fertigstellung sowie die Übernahme des Referates.

Herrn Dr. M. Poerner danke ich für die Unterstützung bei spezifisch radiologischen Fragestellungen und seine bereitwillige Hilfe.

Mein Dank gilt insbesondere meiner Ehefrau Dr. Natalie Pouralikhan, die mich unermüdlich bei der Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt hat.