

Aus dem Experimental and Clinical Research Center  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Evaluierung des Stellenwerts der kardialen  
Magnetresonanztomographie in der klinischen Kardiologie

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Sana El-Mahmoud

aus Berlin

Datum der Promotion: 09.09.2016



## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>8</b>
2.1	Technisches Prinzip der Magnetresonanztomographie (MRT).....	9
2.2	Besonderheiten der kardiovaskulären MRT (CMR).....	10
2.3	Kontrastmittelverstärkte MRT .....	11
2.4	Indikationen für die CMR .....	11
2.4.1	Koronare Herzkrankheit.....	12
2.4.2	Myokarditis .....	13
2.4.3	Kardiomyopathie.....	13
2.4.4	Weitere Indikationen.....	14
<b>3</b>	<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Methoden</b> .....	<b>15</b>
4.1	CMR-Untersuchungen.....	15
4.2	Datenmanagement .....	15
4.2.1	Erstellung einer Datenbank .....	16
4.2.2	Erfassung demographischer Informationen .....	18
4.2.3	Erfassung der Diagnostik vor der CMR-Untersuchung .....	20
4.2.4	Erfassung der prozeduralen Information der CMR-Untersuchung .....	23
4.2.5	Erfassung der klinischen Bedeutung der CMR-Untersuchung .....	26
4.2.6	Erfassung detaillierter Information bei koronarer Herzkrankheit .....	27
4.2.7	Erfassung detaillierter Information bei Myokarditis.....	29
4.3	Beurteilung der Bedeutung der CMR durch einen externen Gutachter.....	30
4.4	Statistik.....	33
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>33</b>
5.1	Charakteristika des Studienkollektivs.....	33
5.2	Indikationen für die CMR .....	35
5.3	Fragestellungen der Verlaufs-CMR.....	37
5.4	Prozedurale Ergebnisse.....	37
5.4.1	Kontrastmittel.....	37
5.4.2	Sedierung .....	38
5.4.3	Dauer der Untersuchungen .....	38
5.4.4	Bildqualität.....	39
5.4.5	Frühzeitiger Abbruch der Untersuchung.....	39
5.4.6	Komplikationen .....	40
5.5	Klinische Bedeutung der Erkenntnisse der CMR-Untersuchung .....	41

5.5.1	Bedeutung der CMR-Untersuchung hinsichtlich der Fragestellung .....	41
5.5.2	Bedeutung der CMR-Untersuchung hinsichtlich der Diagnosestellung.....	42
5.5.3	Bedeutung der CMR-Untersuchung hinsichtlich des Patientenmanagements.....	42
<b>5.6</b>	<b>Diagnostik vor der MRT .....</b>	<b>43</b>
<b>5.7</b>	<b>Myokarditis – Detaillierte Analysen .....</b>	<b>44</b>
<b>5.8</b>	<b>Stress- Tests – Detaillierte Analysen .....</b>	<b>46</b>
<b>5.9</b>	<b>Beurteilung der klinischen Bedeutung der CMR durch einen externen Gutachter</b>	<b>48</b>
5.9.1	Empfohlene Diagnostik vor und nach Einsicht des CMR-Befundes.....	48
5.9.2	Beantwortung der klinischen Fragestellung .....	50
5.9.3	Diagnosefindung mittels CMR.....	50
5.9.4	Empfehlung zur stationären Aufnahme vor und nach Kenntnisnahme des CMR-Befundes .....	51
<b>6</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>53</b>
<b>6.1</b>	<b>Anwendung der CMR in der klinischen Routine .....</b>	<b>53</b>
6.1.1	Indikation für eine CMR.....	53
6.1.2	Diagnostik vor der CMR-Untersuchung.....	56
<b>6.2</b>	<b>Einfluss der CMR auf das Patientenmanagement.....</b>	<b>56</b>
<b>6.3</b>	<b>Limitationen .....</b>	<b>58</b>
<b>6.4</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>Abkürzungen.....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Literaturangaben .....</b>	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>69</b>
<b>10</b>	<b>Publikation .....</b>	<b>70</b>
<b>11</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung/Anteilserklärung.....</b>	<b>71</b>
<b>12</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>72</b>

# 1 Abstract

## Einleitung

Die kardiale Magnetresonanztomographie gewinnt zunehmend an Bedeutung, insbesondere in der Diagnostik von Kardiomyopathien, Myokarditis sowie in der Beurteilung der koronaren Herzkrankheit. Im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren kommt die CMR dennoch weniger häufig zum Einsatz. Das ist insbesondere auf die eingeschränkte Verfügbarkeit und auf die Kosten zurückzuführen. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Verbreitung der CMR in Zukunft zunimmt, darauf hinweisend ist die Integration der CMR-Ausbildung in das Ausbildungsprogramm für Kardiologen. Im Vergleich zu anderen diagnostischen Verfahren existieren aktuell wenig Daten über den Stellenwert der CMR sowie über die Anwendung der CMR in der klinischen Routine.

Die aktuelle Studie bietet deskriptive Daten zur klinischen Anwendung der CMR in einer großen CMR-Einrichtung. Ziele dieser Arbeit sind darüber hinaus die Untersuchung des Stellenwerts der CMR in der kardiologischen Diagnostik und deren Einfluss auf das Patientenmanagement.

## Methoden

Alle klinisch indizierten CMR-Untersuchungen wurden über ein Jahr registriert und sowohl detaillierte Informationen über die Patienten, die sich der Untersuchung unterzogen, als auch über die CMR-Untersuchung erfasst. Zusätzlich analysierten wir in einer Subgruppe, durch Hinzuziehung eines externen Gutachters, ob die CMR-Untersuchung Einfluss auf das Patientenmanagement und die nachfolgenden Untersuchungen hat.

## Ergebnisse

2598 Untersuchungen wurden in die Analysen eingeschlossen. Die inflammatorischen Herzerkrankungen (31,3%) sowie die ischämischen Herzerkrankungen (28,4%) stellten die Hauptindikationen dar. 75,9% der Untersuchungen wurden mit Kontrastmittel durchgeführt. Die Mehrzahl der Untersuchungen (81,8%) dauerte nicht länger als 45 Minuten. Bei 3,8% der Untersuchungen war eine Sedierung notwendig. 99,6% der Untersuchungen lieferten eine diagnostische Bildqualität. 98% der Untersuchungen konnten regelrecht abgeschlossen werden. Während der Untersuchungen traten keine schweren Komplikationen auf. Aus der gesamten Patientenpopulation konnten über 98% der Fragestellungen beantwortet werden. 67,4% der Verdachtsdiagnosen konnten ausgeschlossen werden, 34,9% der Verdachtsdiagnosen wurden bestätigt und in

21,4% der Fälle konnte eine neue, bisher unbekannte Diagnose gestellt werden. Innerhalb von drei Monaten ging der CMR in 80,4% der Fälle mindestens eine alternative Untersuchung voraus, bei 43% wurde eine transthorakale Echokardiographie durchgeführt. In der Subanalyse durch den externen Gutachter beeinflusste die CMR die Anzahl der initial empfohlenen Untersuchungen und die Anzahl der empfohlenen Krankenhausaufenthalte nach Einsicht des CMR- Befundes. 88,4% der Fragestellungen wurden aus Sicht des Gutachters vollständig beantwortet.

### **Schlussfolgerung**

Die CMR ist ein sicheres Verfahren, welches bei einer Vielzahl von Fragestellungen Anwendung findet. Ihr Einsatz hat einen möglichen positiven Einfluss auf das Patientenmanagement.

### **Background**

The importance of cardiovascular magnetic resonance (CMR) imaging is growing, particularly in the diagnosis of cardiomyopathy, myocarditis and in the assessment of ischemic heart disease. Compared to alternative modalities, CMR is a minor contributor which is particularly explained by the limited access and initial investment. The integration of CMR in the training curriculum of cardiologists may indicate that the application of CMR will grow in future. At this time, only few is known about the value of CMR compared with alternative modalities and about the application of CMR in everyday clinical use.

The present study aimed at providing descriptive data about the clinical use of CMR in a institution of CMR. We also aimed at analysing the value of CMR in cardiological diagnostics and the impact on patient management.

### **Methods**

All clinically indicated CMR exams were registered during one year. Detailed data of the individual patient as well as procedural information of each exam were collected. Furthermore a subgroup of 250 cases, was evaluated by an external reviewer and the influence of CMR on patient management and the need for further diagnostic testing was estimated.

### **Results**

2598 patients were included in the analysis. The most frequent indication for CMR was the assessment of inflammatory (31,3%) and ischemic (28,4%) heart disease. 75,9% patients received a gadolinium-based contrast media. The majority of all exams did not

last longer than 45 minutes (81,1%). Anxiolytic sedation was needed in 3.8%. The majority of studies provided diagnostic image quality (99,6%). 98% of all studies were properly terminated. During the studies, no severe adverse events occurred. In over 98% cases of all exams, the clinical question was answered. CMR was conducted to rule out a suspected diagnosis (67,4%), verified a suspected diagnosis (34,9%), and in 21,4% a new, unexpected diagnosis could be received. Before undergoing CMR, 80,4% of all patients had undergone at least one alternative diagnostic test, mainly transthoracic echocardiography (43%).

In the subgroup analysis, the impact of CMR influenced the requirement of further cardiac daignostic testing and the amount of patients, who were initially referred to hospital admission. From the perspective oft the reviewer, the clinical question was answered completely in 88,4% of all cases.

### **Conclusion**

CMR is a safe and robust technique that is clinically applicated in a wide variety of indications. The application of CMR might profitably influence individual patient management.

## 2 Einleitung

Die kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie (CMR) hat in den letzten Jahren einen rasanten Fortschritt erfahren und gewinnt zunehmend an Bedeutung in der nicht-invasiven, kardialen Diagnostik. Die Gleichwertigkeit oder die Überlegenheit dieser Methode im Vergleich zu anderen Bildgebungsverfahren, wie zum Beispiel, die single-photon emission computed tomography (SPECT) und die transthorakale Echokardiographie (TTE), insbesondere bei der Beurteilung der koronaren Herzkrankheit (KHK), wurde von mehreren Studien belegt (1-3). Bei bestimmten kardiologischen Fragestellungen stellt die CMR die Untersuchungsmethode der ersten Wahl dar (4). Mit der CMR können 3-dimensionale Datensätze mit anatomischen und funktionellen Inhalten akquiriert werden (5). Die CMR bietet, ohne den Einsatz ionisierender Strahlen, eine Vielzahl diagnostischer Möglichkeiten, wie z.B. Perfusionsmessungen und Funktionsbeurteilungen unter Belastung sowohl mit als auch ohne Kontrastmittel (KM) und ist insbesondere in der Diagnostik von Kardiomyopathien (4), Myokarditis (6) sowie in der Beurteilung der KHK (7) ein hilfreiches diagnostisches Verfahren. Auch bei Kindern und Jugendlichen sowie bei Verlaufsuntersuchungen spielt die CMR aufgrund der Freiheit von ionisierenden Strahlen eine wichtige Rolle.

Zahlenmäßig kommt die CMR weniger häufig zum Einsatz verglichen mit der SPECT, der Echokardiographie und der kardiovaskulären Computertomographie (CT) (8). Neben der eingeschränkten Verfügbarkeit ist das auf die hohen Kosten im Vergleich zu alternativen bildgebenden Verfahren wie z.B. die SPECT (9) sowie auf die hohen Anforderungen an technischem Wissen und den erschwerten Zugang zu einer profunden Ausbildung (10) zurückzuführen. Des Weiteren gibt es in Deutschland bislang keine adäquate Vergütung für die Durchführung einer CMR. Allerdings konnte in der Studie von Boldt et al. gezeigt werden, dass die CMR bei der Beurteilung einer KHK bei bestimmten Patienten dennoch kosteneffizienter ist als die SPECT (9). Oft wird die CMR additiv zu bestehenden etablierten Verfahren, wie z.B. der Echokardiographie und der SPECT eingesetzt (11). Für die Beurteilung ischämischer Herzerkrankungen reicht jedoch ein einziger Untersuchungsgang mittels der CMR aus, um therapierelevante Informationen zu liefern (12). Es ist daher auch anzunehmen, dass der gezielte Einsatz bereits in der Frühphase der diagnostischen Kaskade helfen könnte, unnötige bildgebende Diagnostik zu vermeiden und damit mögliche Ressourcen einzusparen. Es ist zu erwarten, dass die Verbreitung der CMR in der kardiovaskulären Diagnostik in

Zukunft zunimmt. Darauf hinweisend ist die Integration der CMR-Ausbildung in das Ausbildungsprogramm für Kardiologen (13).

Aktuell existieren nur wenig Daten über die Anwendung der CMR in der klinischen Routine. Außerdem existieren keine ausreichenden Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses der CMR auf das Patientenmanagement. Die EuroCMR-Registerstudien aus dem Jahr 2009 (11) und aus dem Jahr 2013 (14) untersuchten auf der Basis hoher Patientenzahlen deutschland- (mit über 11000 Patienten) und europaweit (mit über 27000 Patienten) die klinische Praxis der CMR und deren Bedeutung für das Patientenmanagement. Aus dem Jahr 2014 existiert eine weitere Registerstudie aus Italien, welche 3376 Patienten in diese Multizenterstudie einschließt (15). Die erfassten Daten der genannten Registerstudien zeigen die hohe Qualität und Sicherheit der CMR sowie deren Einfluss auf das Patientenmanagement.

## **2.1 Technisches Prinzip der Magnetresonanztomographie (MRT)**

Seit Anfang der 1970er Jahre wird die MRT in der medizinischen Diagnostik verwendet. Die 1946 von F. Bloch und E. Purcell nachgewiesene magnetische Resonanz von Atomkernen bildet die Grundlage der MR-Bildgebung. Im Folgenden soll das Prinzip der Bildgebung mittels MRT kurz umschrieben werden.

Durch die Eigenschaft des Protons, sich um die eigene Achse zu drehen, des sogenannten Spins, wird ein magnetisches Moment erzeugt. Liegt der Patient in einem starken äußeren Magnetfeld, so baut sich eine Längsmagnetisierung der Protonen auf und die Protonen vollführen eine Kreiselbewegung, die sogenannte Präzession. Diese Bewegung erfolgt mit einer zur Stärke des äußeren Magnetfeldes proportionalen Frequenz, der Larmorfrequenz (16).

Für die Messung wird das stabile Spin-System mittels eines Hochfrequenzimpulses angeregt. Die Frequenz dieses Impulses entspricht dabei der Larmorfrequenz (Resonanzbedingung). Diese Energiezufuhr bewirkt, dass die Spins aus der z- Richtung (Längsachse) herauskippen. Je nach Leistung und Dauer kann der Winkel der Auslenkung bestimmt werden. Bei einer 90°-Auslenkung werden die Spins in die X-Y-Ebene (transversale Magnetisierung) gekippt, was zur Folge hat, dass diese Bewegung wie ein elektrischer Generator eine Wechselspannung in der Empfangsspule induziert. Nach der Anregung bewirken zwei unabhängige Prozesse, die Spin-Gitter-Wechselwirkung und die Spin-Spin-Wechselwirkung, eine Abnahme der transversalen

Magnetisierung und des MR-Signals. Die Spin-Gitter-Wechselwirkung ist mit der Abgabe von Energie an die Umgebung und den Wiederaufbau der Längsmagnetisierung (longitudinale Relaxation) verbunden. Die Zeitkonstante dieses Vorgangs wird als T1 bezeichnet (16).

Die Spin-Spin-Wechselwirkung beschreibt die transversale Relaxation. Nach einer Anregung präzedieren alle Spins synchron und es befinden sich alle Spins in Phase  $0^\circ$ , man spricht dann von einer Phasenkohärenz, d.h. die Spins präzedieren gleich schnell und haben den gleichen Winkel in der Drehbewegung. Mit der Zeit geht diese Phasenkohärenz durch Dephasierung der Spins verloren. Dabei wird Energie unter den Spins ausgetauscht, was zu einem Verlust der transversalen Magnetisierung und damit zur Abnahme des MR-Signals führt. Die Zeitkonstante dieses Vorgangs heißt T2. Die Inhomogenität des äußeren Magnetfeldes  $B_0$ , welche durch das Gerät und durch den zu untersuchenden Körper hervorgerufen wird, ist eine weitere Komponente der transversalen Relaxation und wird mit der Zeitkonstanten T2\* charakterisiert (16).

Der Bildkontrast im MR-Bild hängt nun von drei Parametern ab, die den Gewebekontrast ermöglichen: von der Protonendichte, T1- und der T2-Zeit. Mit der Abfolge spezieller Puls-Sequenzen lassen sich unterschiedliche Gewebekontraste erzeugen. Für die Bilderzeugung ist eine räumliche Zuordnung mit Hilfe von Gradienten sowie die Registrierung der MR-Signale mit Hilfe von Empfängerspulen notwendig (16).

## **2.2 Besonderheiten der kardiovaskulären MRT (CMR)**

Während einer MRT-Untersuchung sollten sich die abzubildenden Objekte nicht bewegen, um einwandfreie Ergebnisse zu erzielen.

Bei der kardialen MRT sind jedoch drei Bewegungstypen zu berücksichtigen, die Patientenbewegung, die respiratorische Bewegung und die kardiale Bewegung. Der Patientenbewegung kann durch eine geeignete, möglichst komfortable Lagerung entgegengewirkt werden - für Herzuntersuchungen ist dies überwiegend die Rückenlage.

Die einfachste Methode die Atembewegung zu unterdrücken ist die Atemstopptechnik, wobei hier die Compliance des Patienten eine wichtige Rolle spielt. Alternativ kommen Navigatorverfahren zum Einsatz. Für die Minimierung der durch den Herzschlag verursachten Bewegungsartefakte bedient man sich der Elektrokardiogramm (EKG)-

Synchronisation (17). Alternativ zum EKG kann die Synchronisation mit dem Pulstrigger erfolgen.

### **2.3 Kontrastmittelverstärkte MRT**

Das KM verbessert die Darstellung verschiedener Strukturen und Gewebe durch Verstärkung des Kontrastunterschiedes. Das KM kann die Sensitivität und Spezifität des Verfahrens verbessern und damit bei bestimmten Fragestellungen hilfreich für die diagnostische Aussage sein (18). In der MRT kommen KM mit verschiedenen Eigenschaften zum Einsatz. Das in der kardialen MRT am häufigsten verwendete KM ist das paramagnetische Gadolinium (Gd). Durch die KM-Aufnahme verändert sich das lokale Magnetfeld und verkürzt die Relaxationszeit T1 der umgebenden Protonen. Dadurch kommt es zu einer Veränderung der Signalintensität des Gewebes. Die Signalwirkung eines KM wird durch die Relaxivität bestimmt. Diese ist ein Maß für die Relaxationsgeschwindigkeit (19). In freier Form ist das Gd toxisch und wird deshalb an DTPA (Diethylentriaminpentaessigsäure, z.B. Magnevist®) gebunden.

Das Gd-DTPA wird intravasal appliziert und verteilt sich in den extrazellulären Raum (20). Das Gd-DTPA hat eine biologische Halbwertszeit von 90 Minuten und wird vollständig glomerulär filtriert (21). 2006 gab es erste Hinweise auf einen Zusammenhang der nephrogenen systemischen Fibrose (NSF) mit der Gabe gadoliniumhaltiger KM (22). Zulassungsbehörden schränkten die Anwendung gadoliniumhaltiger Kontrastmittel ein. Seit der Umsetzung der Anwendungseinschränkungen hat sich die Anzahl der neu aufgetretenen NSF-Fälle auf nahezu Null reduziert (23). Unter anderem beschreiben Wang et al. (24), dass unabhängig von der Nierenfunktion, seit der Etablierung von Richtlinien für den Gebrauch von gadoliniumhaltigen KM, das Auftreten einer NSF, solange die Höchstdosis nicht überschritten wird, nahezu bei Null liegt. Bei Nierengesunden trat die NSF nicht auf (25).

### **2.4 Indikationen für die CMR**

Die CMR hat sich in der kardiovaskulären Diagnostik etabliert und findet bei der Beurteilung zahlreicher Fragestellungen Anwendung. Gesellschaften für Kardiologie und Radiologie haben in einem Positionspapier Stellung zur klinischen Indikation für die CMR genommen, den Stellenwert dieses diagnostischen Verfahrens beurteilt und

Empfehlungen abgegeben (26). An dieser Stelle sollen die klinischen Indikationen für die CMR kurz angesprochen werden.

#### **2.4.1 Koronare Herzkrankheit**

Mittels einer CMR-Untersuchung kann eine KHK mit Hilfe von Ischämietests durch Analyse der Wandbewegung unter Dobutamin sowie der Perfusionsanalyse unter Adenosin beurteilt werden. Die Dobutamin-Stress-CMR ist ein etabliertes Verfahren zur Erfassung induzierbarer Wandbewegungsstörungen und dient zum Nachweis myokardialer Ischämien (27). Zusätzlich hat diese Untersuchungsmethode einen hohen prognostischen Stellenwert bei der Beurteilung einer KHK (28).

Bei der Perfusionsanalyse wird die Verteilung eines KM-Bolus im Myokard analysiert. Dies erfolgt unter Stressbedingungen mit Adenosin i.v. sowie in Ruhe. Anschließend erfolgen ergänzende Aufnahmen mit „late gadolinium enhancement“ (LGE) zur Narbendarstellung (5). Mono- und multizentrische Studien stellten die hohe diagnostische Genauigkeit der CMR-Perfusionsbildgebung zur Erkennung einer KHK dar (7, 29-31).

Auch zur Beurteilung eines akuten bzw. chronischen Myokardinfarktes kommt die CMR zum Einsatz. Das Ausmaß eines Infarktareals wird mittels LGE- Technik dargestellt. Mit T2-gewichteten Sequenzen können Ödeme bei akuten Infarkten nachgewiesen werden, was die Differenzierung zwischen akuten und chronischen Infarkten (32, 33) ermöglicht. Neben der Diagnosestellung des chronischen Myokardinfarktes ist die CMR ein nützliches Verfahren, diesen von einer nicht-ischämischen Kardiomyopathie zu unterscheiden (33, 34).

In der klinischen Routine ist die Frage nach der Vitalität nach einem Myokardinfarkt eine wichtige Indikation zur CMR. Die Differenzierung zwischen dysfunktionalem, aber noch vitalem Gewebe ist für die Indikationsstellung revaskularisierender Maßnahmen von großer Bedeutung (35) und erlaubt eine Aussage zur Prognose des Patienten nach revaskularisierenden Maßnahmen (12). Die diagnostische Zuverlässigkeit der Vitalitätsdiagnostik konnte im Vergleich zu anderen etablierten Verfahren, wie z.B. der Positronen-Emissions-Tomographie (PET), gezeigt werden (36).

### **2.4.2 Myokarditis**

Die Myokarditis ist eine entzündliche Erkrankung des Herzmuskels, für die unterschiedliche Ätiologien verantwortlich sind (37). Oft ist die klinische Diagnose der Myokarditis schwierig, da die Symptome uncharakteristisch sind.

Die CMR hat sich als Methode der ersten Wahl in der nicht-invasiven, bildgebenden Diagnostik der Myokarditis etabliert (6), insbesondere nach Ausschluss eines akuten Koronarsyndroms (38). Bei akuter Myokarditis erlaubt die CMR eine differenzierte Einschätzung der myokardialen Funktions- und Gewebeeigenschaften (6). In der Studie von Abdel-Aty et al. (39) wird eine hohe Treffsicherheit der CMR in der Diagnosestellung einer Myokarditis beschrieben, indem mehrere Sequenzen kombiniert angewandt werden: eine fettsupprimierte T2-gewichtete Sequenz, eine kontrastmittelverstärkte T1-gewichtete Sequenz zur Kalkulation des relativen Enhancement und die Darstellung von LGE. Die CMR ist außerdem eine hilfreiche Untersuchungsmethode, um den Verlauf der Myokarditis (40) und der daraus bedingten reversiblen und irreversiblen myokardialen Gewebsschädigungen (41) zu beurteilen.

### **2.4.3 Kardiomyopathie**

Die American Heart Association (AHA) definiert die Kardiomyopathien als „eine heterogene Gruppe von Krankheiten des Herzmuskels, die mit mechanischen und/oder elektrischen Funktionsstörungen einhergehen und üblicherweise (aber nicht zwingend) eine unangemessene Hypertrophie oder Dilatation der Herzkammern verursachen.“ (42).

Die CMR ist die bildgebende Referenzmethode zur Beurteilung der Anatomie und kardialen Funktionsparametern (43, 44). Im Hinblick auf das therapeutische Management spielt die Unterscheidung zwischen der dilatativen Kardiomyopathie (DCM) und anderen Formen der reduzierten linksventrikulären Pumpfunktionen, wie z.B. der ischämischen Kardiomyopathie, eine wichtige Rolle (45). Der Einsatz der kontrastmittelverstärkten MRT bietet gegenüber der Echokardiographie den Vorteil, die Möglichkeit umschriebene Fibroseherde nachzuweisen, welche bei der DCM bevorzugt intramyokardial mit dem sogenannten „midwall“- Zeichen auftreten (45, 46).

Bei der Beurteilung der hypertrophen Kardiomyopathie (HCM), eine genetisch bedingte Erkrankung des Herzmuskels, die mit einer Hypertrophie des linken Ventrikels einhergeht ohne Dilatation der Ventrikel (47), erlaubt die CMR die genaue Erfassung

der hypertrophierten Myokardareale, welche insbesondere bei der Diagnose der apikalen HCM eine Rolle spielt (48, 49).

Bei Patienten mit vermuteter arrhythmogener rechtsventrikulärer Kardiomyopathie (ARVC) kann mittels der CMR der rechte Ventrikel morphologisch und funktionell gut beurteilt werden (50). Diese und weitere Kriterien fanden Einzug in die Diagnose-Leitlinien der ARVC (51).

#### **2.4.4 Weitere Indikationen**

Für die Beurteilung der Herzklappen kann bei der planimetrischen Bestimmung für die Quantifizierung der Aortenstenose (52) und für die Bestimmung der Regurgitationsfraktion bei Klappeninsuffizienzen (53) die CMR hilfreich sein. Auch bei der Beurteilung der Gefäße sowohl mit Hilfe von KM als auch mit der Anwendung mehrerer Weichteilgewebekontraste erlaubt die CMR die Darstellung der Gefäßlumina und der Gefäßwandveränderungen (26).

Ergänzend zu der Echokardiographie kann die CMR hilfreich zur Bestimmung der Tumorausdehnung und der Beziehung zu intrakardialen Strukturen sowie zu angrenzenden Strukturen sein und erlaubt eine Aussage zur Dignität (54, 55).

Darüber hinaus lässt sich die CMR für die Detektion angeborener und entzündlicher Perikarderkrankungen nutzen (56).

### **3 Aufgabenstellung**

Angesichts der Diskrepanz zwischen dem großen Potential der CMR zur Diagnostik von Herz-Kreislaufkrankungen auf der einen Seite und der fehlenden breiten Anwendung dieser Technik auf der anderen Seite verfolgten wir in dieser Studie folgende Ziele:

1. Beschreibung der Anwendung und der Bedeutung der CMR in der klinischen Routine
2. Beurteilung der Qualität und der Sicherheit der CMR
3. Beurteilung des Einflusses der CMR auf das Patientenmanagement

## **4 Methoden**

Die aktuelle Studie bietet deskriptive Daten zur klinischen Anwendung der CMR, welche in der Klinik für Kardiologie und Nephrologie im HELIOS Klinikum Berlin-Buch erfasst wurden. Dazu wurden über ein Jahr alle klinisch indizierten MRT-Untersuchungen in einem Zentrum für CMR registriert und sowohl detaillierte Informationen über die Patienten, die sich der Untersuchung unterzogen, als auch über die MRT-Untersuchung selbst, erfasst. Des Weiteren prüften wir die sonstige individuelle kardiologische Diagnostik in einem Zeitraum von drei Monaten vor der MRT-Untersuchung. Zusätzlich analysierten wir in einer Subgruppe, ob die CMR-Untersuchung und die daraus gewonnenen Informationen Einfluss auf das Patientenmanagement und die nachfolgenden klinischen Behandlungen hat. Hierzu befragten wir mittels eines Fragebogens einen externen Arzt, der anhand der aus dem CMR-Befund gewonnenen Informationen Entscheidungen bezüglich der nachfolgenden Untersuchungen traf.

### **4.1 CMR-Untersuchungen**

Alle CMR-Untersuchungen, die zwischen dem 1. Januar und dem 31. Dezember 2009 im Helios Klinikum Berlin- Buch (Arbeitsgruppe Kardiale MRT, Charite Campus Buch und Klinik für Kardiologie und Nephrologie, HELIOS Klinikum Berlin-Buch) stattfanden, wurden prospektiv erfasst. Untersuchungen im Rahmen von Studien wurden ausgeschlossen.

Die Untersuchungen wurden an einem 1,5 Tesla- Scanner (Magnetom Avanto, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany) durchgeführt. Die Ausführungen der Untersuchungen erfolgten durch drei erfahrene medizinisch-technische Radiologieassistentinnen (MTRA). Die CMR-Untersuchung erfolgte nach standardisierten Protokollen. Die Auswertung der Bilder erfolgte durch erfahrene Kardiologen bzw. unter Supervision eines SCMR-Level-3-zertifizierten Kollegen (57). Für die Durchführung der Studie lag ein Votum der Ethikkommission der Charité-Universitätsmedizin Berlin vor.

### **4.2 Datenmanagement**

Die Datenerfassung erfolgte in Form eines Registers mit prädefinierten Kriterien (Abb. 1-7; Tab. 1-6). Die benötigten Daten wurden vom Patienten erfragt bzw. den

Arztbriefen, den überweisenden Ärzten sowie dem Krankenhausinformationssystem entnommen.

Die in das Register eingetragene Daten beinhalten demographische Informationen, Informationen der Untersuchung, Auskunft über die Diagnostik, die vor der MRT-Untersuchung stattfand, und die Beurteilung der Bedeutung des MRT-Befundes für das Patientenmanagement.

#### **4.2.1 Erstellung einer Datenbank**

Zur Datenspeicherung wurde eine eigens-programmierte elektronische Datenbank auf Basis von Microsoft Access® (Microsoft, Redmond, USA) verwendet. Diese netzwerk-basierte Datenbank erlaubte die synchrone Eingabe und Supervision von Daten der an der Studie beteiligten Mitarbeiter.

Grundsätzlich gab es die Möglichkeit, die Datensätze in eine Tabelle oder in eine Formularansicht einzugeben. Die Formularansicht entspricht einer Karteikarte, welche der Abbildung 1 (Abb. 1) zu entnehmen ist. Auf jeder Seite finden sich verschiedene Parameter mit Feldern für verschiedene Optionen. Durch Dropdown-Menüs oder durch manuelle Eingabe können diese Felder ausgefüllt werden, worauf im Folgenden im Detail eingegangen wird. Die Abbildungen 2-7 stellen die Formulare dar. Diese werden im Verlauf näher erläutert. Hinter den Formularen verbergen sich Datentabellen (Abb. 2), die weiterführende Analysen mit Statistikprogrammen zulassen. Abb. 2 zeigt einen Ausschnitt der Tabelle des Formulars mit der Bezeichnung „Basics“ mit überwiegend demographischen Informationen.

# Karteikarte 1 – „Basics“

Abbildung 1: "Basics"

MRT FVK Register											
Nummer	Name	Vorname	Geschlecht	Gewicht	Größe	Telefon Patie	Versicherung	Überweisung	Name und Te	Medizinische	
12			weiblich		77	168	gesetzlich	Hausarzt		ambulant	
13			weiblich		80	165	privat	Anderer Fachar.		ambulant	
14			weiblich		80	165	privat	Anderer Fachar.		ambulant	
15			männlich		65	178	gesetzlich	FVK Station		stationär	
20			männlich		62	177	gesetzlich	Hausarzt		ambulant	
21			männlich		62	177	gesetzlich	Hausarzt		ambulant	
22			männlich		65	164	gesetzlich	FVK Station		stationär	
23			männlich		79	170	gesetzlich	FVK Poliklinik		ambulant	
24			weiblich		65	176	gesetzlich	Kardiologe		ambulant	
25			weiblich		100	169	gesetzlich	FVK Station		stationär	
26			männlich		110	188	gesetzlich	Kardiologe		ambulant	
27			weiblich		59	164	gesetzlich	HELIOS Klinikun		ambulant	
28			männlich		70	176	gesetzlich	FVK Station		stationär	
29			männlich		83	180	unbekannt	unbekannt		ambulant	
30			männlich		110	190	gesetzlich	FVK Poliklinik		ambulant	
31			männlich		78	175	gesetzlich	Kardiologe		ambulant	
32			weiblich		74	175	gesetzlich	HELIOS Klinikun		ambulant	
33			weiblich		96	159	unbekannt	Hausarzt		ambulant	
34			männlich		111	178	gesetzlich	Anderes KH		stationär	
35			männlich		73	170	gesetzlich	FVK Poliklinik		ambulant	
36			männlich		112	176	gesetzlich	FVK Station		stationär	
38			männlich		85	172	gesetzlich	Anderes KH		ambulant	
39			weiblich		50	167	gesetzlich	Anderer Fachar.		ambulant	
40			männlich		80	180	gesetzlich	FVK Poliklinik		ambulant	
41			männlich		88	168	gesetzlich	Kardiologe		ambulant	
42			weiblich		58	163	gesetzlich	HELIOS Klinikun		ambulant	
43			männlich		72	172	gesetzlich	FVK Station		stationär	
44			weiblich		60	153	gesetzlich	FVK Station		ambulant	
45			männlich		137	188	gesetzlich	FVK Poliklinik		ambulant	
46			weiblich		45	160	gesetzlich	FVK Station		stationär	
47			weiblich		82	160	gesetzlich	FVK Poliklinik		ambulant	

Abbildung 2: Tabellenausschnitt aus der Datentabelle

#### **4.2.2 Erfassung demographischer Informationen**

Jede Untersuchung erhält eine Fallnummer, auch wenn es sich um dieselbe Person handelt, die bereits eine CMR-Untersuchung im Zeitraum der Datenrekrutierung erhalten hat.

Auf der ersten Seite (Abb. 1) werden Angaben bezüglich des Geschlechtes, Gewichtes und der Größe sowie Angaben zur medizinischen Versorgung eingetragen. Vorerkrankungen wie KHK oder Niereninsuffizienz sowie Angaben zum Herzrhythmus konnte man in den meisten Fällen den Arztbriefen bzw. dem Krankenhausinformationssystem entnehmen und in die entsprechenden Felder eintragen. Der Grund für die angeforderte MRT-Untersuchung war bei Patienten, die sich nicht in stationärer Behandlung befanden, aus den Überweisungsscheinen zu entnehmen. Im Einzelnen beinhaltet die erste Seite mit der Bezeichnung „Basics“ folgende für die Arbeit relevante Informationen:

Tab.1: Eingabefelder mit der Bezeichnung „Basics“. In der linken Spalte befinden sich die einzelnen Parameter, in der rechten Spalte befinden sich die Eigenschaften

Parameter	Eigenschaften
Geschlecht	Männlich Weiblich
Gewicht	Manuelle Eingabe in kg
Größe	Manuelle Eingabe in cm
Versicherungs- status	Gesetzlich Privat Sonstiges Unbekannt
Überweisung durch	FVK Poliklinik FVK Station Helios Klinikum Buch Hausarzt Kardiologe Anderes Krankenhaus Anderer Facharzt Sonstiges
Name und Telefon des Überweisers	Manueller Eintrag
Medizinische Versorgung	Stationär Ambulant Unbekannt
Allergie	Ja Nein Unbekannt Nicht erfasst

Parameter	Eigenschaften
KHK	Ja Nein Unbekannt
Herzrhythmus	SR* Tachykardie VHF** SVES*** VES**** Sonstige Arrhythmie Sonstiges Unbekannt
Nieren- insuffizienz	Nein Ja Unbekannt
Beschwerden/ Grund für MRT 1	Angina pectoris Dyspnoe Leistungsschwäche Herzrhythmusstörung EKG-*****Auffälligkeit Kinetikstörung im Echo Re-Evaluierung Echo Re-Evaluierung SPECT Work-up KHK Work-up unklare Pumpfunktionsstörung Work-up Perikarderguss Familienscreening Studie Empfohlene Kontrolle Sonstiges

\*SR = Sinusrhythmus

\*\*VHF = Vorhofflimmern

\*\*\*SVES = Supraventrikuläre Extrasystolen

\*\*\*\*VES = Ventrikuläre Extrasystolen

\*\*\*\*\*EKG = Elektrokardiogramm

## 4.2.3 Erfassung der Diagnostik vor der CMR-Untersuchung

### Karteikarte 2 – „Diagnostik vor MRT“

MRT FVK Register: Formular

Nummer: 12 Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: 01.01.1900

Basics Diagnostik vor MRT MRT Impact Diagnostik nach MRT

**Diagnostik in den letzten 3 Monaten vor dem MRT:**

Ergometrie:	Fragestellung Ergometrie:	Warum MRT nach Ergometrie?:
TTE:	Fragestellung TTE:	Warum MRT nach TTE?:
TEE:	Fragestellung TEE:	Warum MRT nach TEE?:
Stress-Echo:	Fragestellung Stress-Echo:	Warum MRT nach Stress-Echo?:
SPECT:	Fragestellung SPECT:	Warum MRT nach SPECT?:
Kardio-CT:	Fragestellung Kardio-CT:	Warum MRT nach Kardio-CT?:
Kardio-MRT:	Fragestellung Kardio-MRT:	Warum erneut Kardio-MRT?:
Herzkatheter:	Fragestellung Herzkatheter:	Warum MRT nach Herzkatheter?:
EPU:	Fragestellung EPU:	Warum MRT nach EPU?:

Kommentar Diagnostik: \_\_\_\_\_

Interessanter Fall: \_\_\_\_\_ Status des Datensatz: Datensatz abgeschlossen

Neue Untersuchung [Icon] [Icon] Exit

Abfragen  
Spezielle Diagnosen

Abbildung 3: „Diagnostik vor MRT“

Auf der zweiten Seite “Diagnostik vor MRT“ (Abb. 3) kann in der ersten Spalte die innerhalb von drei Monaten vor der CMR-Untersuchung stattgehabte kardiale Diagnostik eingetragen werden. Zu jeder Untersuchungsmethode, die vor der CMR-Untersuchung stattfand wird ermittelt, ob es sich bei der Fragestellung um die gleiche, eine überlappende oder eine andere Frage als die der CMR handelt und in die entsprechende zweite Spalte eingetragen. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, in einer dritten Spalte den Grund der nachfolgenden CMR-Untersuchung einzutragen. Auch hier findet sich zu jedem Parameter ein Feld für die Eingabe der jeweiligen Eigenschaft, wobei es wiederum verschiedene Optionen zur Auswahl gibt. Sowohl durch ein Dropdown-Menü als auch durch eine manuelle Eingabe kann das Feld ausgefüllt werden. Die Eingabemöglichkeiten im Einzelnen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tab. 2: Eingabefelder mit der Bezeichnung „Diagnostik vor MRT“.

Parameter	Eigenschaften	Parameter	Eigenschaften	Parameter	Eigenschaften
Ergometrie	Ja Nein Unbekannt	Fragestellung Ergometrie	Gleich wie MRT Überlappend mit MRT Anders als MRT	Warum MRT nach Ergometrie	Andere Frage als Ergo Ergo nicht diagnostisch Re-Evaluierung der Ergo Ergo ergibt neue Diagnose als Indikation für MRT
TTE	Ja Nein Unbekannt	Fragestellung TTE	Gleich wie MRT Überlappend mit MRT Anders als MRT	Warum MRT nach TTE	Andere Frage als TTE TTE nicht diagnostisch Re-Evaluierung des TTE TTE ergibt neue Diagnose als Indikation für MRT
*TEE	Ja Nein Unbekannt	Fragestellung TEE	Gleich wie MRT Überlappend mit MRT Anders als MRT	Warum MRT nach TEE	Andere Frage als TEE TEE nicht diagnostisch Re-Evaluierung des TEE TEE ergibt neue Diagnose als Indikation für MRT
Stress- Echo	Ja Nein Unbekannt	Fragestellung Stress-Echo	Gleich wie MRT Überlappend mit MRT Anders als MRT	Warum MRT nach Stress- Echo	Andere Frage als Stress-Echo TTE nicht diagnostisch Re-Evaluierung des TTE TTE ergibt neue Diagnose als Indikation für MRT
SPECT	Ja Nein Unbekannt	Fragestellung SPECT	Gleich wie MRT Überlappend mit MRT Anders als MRT	Warum MRT nach SPECT	Andere Frage als SPECT SPECT nicht diagnostisch Re-Evaluierung des SPECT SPECT ergibt neue Diagnose als Indikation für MRT

Parameter	Eigenschaften	Parameter	Eigenschaften	Parameter	Eigenschaften
Kardio-CT	Ja Nein Unbekannt	Fragestellung Kardio-CT	Gleich wie MRT Überlappend mit MRT Anders als MRT	Warum MRT nach Kardio- CT	Andere Frage als Kardio-CT Kardio-CT nicht diagnostisch Re-Evaluierung des Kardio-CT Kardio-CT ergibt neue Diagnose als Indikation für MRT
Kardio-MRT	Ja Nein Unbekannt	Fragestellung Kardio- MRT	Gleich wie MRT Überlappend mit MRT Anders als MRT	Warum MRT nach Kardio- MRT	Re-Evaluierung des MRT Erweiterung des MR- Protokolls Geplante Verlaufskontrolle MRT ergibt neue Diagnose als Indikation für MRT
Herzkatheter	Ja Nein Unbekannt	Fragestellung Herzkatheter	Gleich wie MRT Überlappend mit MRT Anders als MRT	Warum MRT nach Herzkatheter	Andere Frage als HK HK nicht diagnostisch Re-Evaluierung des HK HK ergibt neue Diagnose als Indikation für MRT

\* TEE = Transesophageal echocardiography, Transösophageale Echokardiographie

## 4.2.4 Erfassung der prozeduralen Information der CMR-Untersuchung

### Karteikarte 3 - MRT

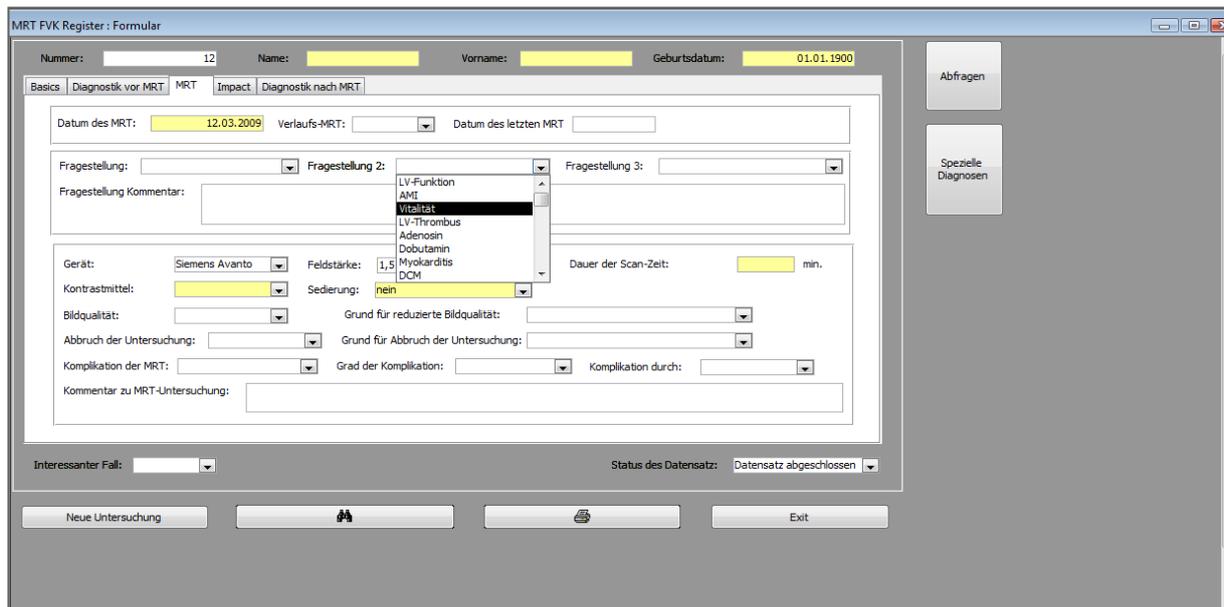


Abbildung 4: „MRT“

Die dritte Seite mit der Überschrift „MRT“ (Abb. 4) umfasst hauptsächlich die prozeduralen Informationen der Untersuchung. Das Datum der Untersuchung sowie - soweit stattgehabt - das Datum der Voruntersuchung wird in die entsprechenden Felder manuell eingetragen. Außerdem besteht die Möglichkeit, bis zu drei Fragestellungen aus dem Dropdown-Menü auszuwählen. Neben Angabe des Gerätenamens und der Feldstärke des Gerätes wird die Untersuchungsdauer, Information zum KM, zur Sedierung und zur Bildqualität angegeben. Auftreten von Komplikationen und bei Abbruch der Untersuchung (jeweils mit Begründung) können ebenfalls in die entsprechenden Felder eingetragen werden.

Einige Variablen erforderten eine detaillierte Definition:

#### Dauer Scan- Zeit:

Die Dauer der Scan-Zeit umfasst die Zeit vom Auflegen des Patienten auf den MRT-Tisch bis zum Verlassen des Raumes nach der Untersuchung.

#### Grad der Komplikation:

Die Komplikationen wurden in drei Grade eingeteilt, in „schwer“, „mittel“ und „gering“. Als schwer wurde eine Komplikation im Falle eines Todes, einer Reanimation oder einer Überwachungspflichtigkeit des Patienten während der Untersuchungen bzw. 24

Stunden danach graduiert. Eine mittelschwere Komplikation ist, wenn die Untersuchungen abgebrochen werden muss, eine sofortige medikamentöse Therapie notwendig wurde oder eine kurzzeitige Überwachung des Patienten erforderlich ist. Unter gering ist eine milde Komplikation zu verstehen, die weder unter der Kategorie „schwer“ noch „mittel“ fällt.

*Bildqualität:*

Die Bildqualität wurde ebenso in drei Grade eingeteilt, in „gut“, „eingeschränkt“ und „nicht diagnostisch“. Die Beurteilung erfolgte hier vom untersuchenden Arzt. Eine gute Bildqualität erzielt man bei klarer Blut-Gewebe-Grenze. „Eingeschränkte Bildqualität“ bedeutet, dass eine Beurteilung der Untersuchung zwar möglich ist, aber durch Artefakte die Bildqualität eingeschränkt ist. Wird die Bildqualität als „Nicht diagnostisch“ gewertet, dann ist eine Bildinterpretation nicht möglich.

Tab. 3: Eingabefelder mit der Bezeichnung „MRT“.

Parameter	Eigenschaften
Datum des MRT	Manuelle Eingabe
Verlaufs- MRT	Ja Nein Unbekannt
Datum des letzten MRT	Manuelle Eingabe
Fragestellung 1	Linksventrikuläre Funktion Akuter Myokardinfarkt Vitalität LV-Thrombus Adenosin Dobutamin Myokarditis DCM HCM ARVC Rechtsherzbelastung Unklare Kardiomyopathie Tako-Tsubo Aortenstenose Aorteninsuffizienz Mitralinsuffizienz Aortenaneurysma Aortendissektion Nierenarterienstenose Pulmonalvenen (PV)-Angio Koronarien Kongenitales Vitium Raumforderung Amyloidose Sarkoidose Systemerkrankungen Eisenspeicherung Kardiotoxizität Perikarderkrankungen Aortenklappenersatz Mitralstenose Mitralklappenersatz Sonstiges

Parameter	Eigenschaften
Gerät	Siemens Avanto
Feldstärke	1,5 Tesla
Bildqualität	Gut Eingeschränkt Nicht diagnostisch
Dauer der Scan-Zeit	Manuelle Eingabe
Grund für reduzierte Bildqualität	Arrhythmie EKG- Signal Patientencompliance Metallisches Implantat
Kontrastmittel	Nein Magnevist Gadovist Multihance Prohance Sonstige
Abbruch der Untersuchung	Ja Nein Unbekannt
Komplikation der MRT	Keine Paravasat Tachykardie HRST* Bradykardie HRST Angina Pectoris Dyspnoe Hämodynamische Instabilität Bronchospasmus Allergie Unerwartetes Metallimplantat Platzangst
Grund für Abbruch der Untersuchung	Bildqualität Platzangst Kritischer Allgemeinzustand Patientencompliance Gerätedefekt Komplikation siehe Liste
Grad der Komplikation	Gering Mittel Schwer
Komplikation durch	Venöse Kanülierung Kontrastmittel Stressmedikation
Sedierung	Ja Nein Unbekannt

Zwei weitere Datenfelder mit der Bezeichnung „Fragestellung 2“ und „Fragestellung 3“, ermöglichen die Eingabe weiterer Fragestellungen mit den gleichen Optionen wie „Fragestellung 1“.

#### 4.2.5 Erfassung der klinischen Bedeutung der CMR-Untersuchung

##### Karteikarte 4 – „Impact“

The screenshot shows a software interface for recording MRI results. At the top, there are input fields for patient information: 'Nummer: 12', 'Name: [redacted]', 'Vorname: [redacted]', and 'Geburtsdatum: 01.01.1900'. Below this is a tabbed interface with 'Impact' selected. The 'Impact' tab contains several dropdown menus and a text area. The dropdowns are: 'Ergebnis hinsichtlich Fragestellung' (set to 'Übervollständige Beantwortung'), 'Ergebnis hinsichtlich Diagnose 1' (set to 'Ausschluss einer Verdachtsdiagnose'), 'Ergebnis hinsichtlich Diagnose 2' (empty), 'Einfluss des MRT auf Therapie' (empty), 'Weitere Untersuchungen notwendig nach MRT?' (empty), and 'Stationärer Krankenhausaufenthalt HELIOS infolge des MRT' (empty). Below these is a large text area for 'Kommentar Impact'. At the bottom left, there is a dropdown for 'Interessanter Fall'. At the bottom right, there is a dropdown for 'Status des Datensatz' (set to 'Datensatz abgeschlossen'). At the very bottom, there are four buttons: 'Neue Untersuchung', a button with a person icon, a button with a document icon, and 'Exit'. On the right side of the window, there are two buttons: 'Abfragen' and 'Spezielle Diagnosen'.

Abbildung 5: Karteikarte „Impact“

Die vierte Seite mit der Bezeichnung „Impact“ (Abb. 5) beinhaltet Informationen zu den Ergebnissen hinsichtlich der Fragestellungen und der Diagnosen. „Therapierelevante Informationen“ liefert die CMR, wenn aufgrund des Befundes die Therapie beibehalten, verändert oder abgesetzt wird. Ob die CMR Einfluss auf die Therapie hat oder einen eventuellen stationären Krankenhausaufenthalt bewirkt, kann in die entsprechenden Felder eingetragen werden.

Die für unsere Arbeit relevanten Eingabemöglichkeiten sind im Einzelnen der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tab. 4: Eingabefelder mit der Bezeichnung „Impact“.

Parameter	Eigenschaften
Ergebnis hinsichtlich Fragestellung	Vollständige Beantwortung der Frage Teilweise Beantwortung der Frage Fehlende Beantwortung der Frage
Ergebnis hinsichtlich Diagnose 1	Bestätigung einer bekannten Diagnose Bestätigung einer Verdachtsdiagnose Ausschluss einer Verdachtsdiagnose Neue Diagnose Keine Diagnose
Ergebnis hinsichtlich Diagnose 2	Bestätigung einer bekannten Diagnose. Bestätigung einer Verdachtsdiagnose Ausschluss einer Verdachtsdiagnose Neue Diagnose Keine Diagnose
Einfluss des MRT auf Therapie	Ja Nein Unbekannt
Stationärer Krankenhausaufenthalt HELIOS infolge MRT?	Ja Nein Unbekannt

## 4.2.6 Erfassung detaillierter Information bei koronarer Herzkrankheit

### Karteikarte 5 – Spezielle Diagnosen - KHK

Abbildung 6: Spezielle Diagnostik, KHK

Auf der Seite mit der Bezeichnung „KHK“ (Abb. 6) besteht die Möglichkeit, weitere Daten hinsichtlich des aktuellen Ischämie-Tests und, wenn stattgefunden, des vorausgegangenen Ischämie-Tests und der Vitalitätsdiagnostik einzutragen. Außerdem besteht die Möglichkeit, binnen drei Monate nach der CMR nachfolgende Diagnostik oder Therapie, wie zum Beispiel eine nachfolgende Herzkatheter-Untersuchung oder Revaskularisierung einzutragen. Ob eine KHK vorliegt bzw. ein früherer Myokardinfarkt stattgefunden hat wird ebenso notiert. Die einzelnen Eingabemöglichkeiten zeigt folgende Tabelle:

Tab. 5: Eingabefelder der Karteikarte 6 mit der Bezeichnung „KHK“

Parameter	Eigenschaften	Parameter	Eigenschaften
Art Stresstest	Dobutamin Adenosin Unbekannt	Positiver Ischämienachweis	Ja Nein Unbestimmt
KHK bekannt	Keine KHK bekannt 1-KHK 2-KHK 3-KHK	Weitere Bildgebung nach Stress- MRT	Nein TTE Stress- Echo Fahrrad Stress- Echo Dobutamin SPECT Kardio- CT Kardio- MRT Sonstiges Unbekannt
Früherer Myokardinfarkt	Ja Nein Unbekannt	Grund für weitere Bildgebung	MRT ohne Ausbelastung MRT- Qualität nicht diagnostisch Sonstiges Unbekannt
Vorausgegangener Ischämietest	Ja Nein Unbekannt	Coro nach MRT	Ja Nein Unbekannt
Maximale Stressdosierung	5 10 15 20 25 30 35 40 40+Atropin Unbekannt	Revaskularisation nach MRT	Nein PCI* ACB** Unbekannt

\*PCI = Percutaneous coronary Intervention, Perkutane Koronarintervention

\*\*ACB = Aortocoronarer Bypass

## 4.2.7 Erfassung detaillierter Information bei Myokarditis

### Karteikarte 6 - Spezielle Diagnosen „Myokarditis“

Nummer: 12 Name: [redacted]

Myokarditis KHK Vitien

Diagnosestellung Myokarditis:	[dropdown]	
LV-EF normal:	[dropdown]	
STIR positiv?:	[dropdown]	<=1,8
Relatives Enhancement positiv?:	[dropdown]	<=5,0
Late Enhancement positiv?:	[dropdown]	
Perikarderguss?:	[dropdown]	
Pleuraerguss?:	[dropdown]	
Ausschluss KHK?:	[dropdown]	
Myokardläsionsmarker erhöht?:	[dropdown]	
EKG pathologisch?:	[dropdown]	
TTE pathologisch?:	[dropdown]	
Weitere Bildgebung nach itis- MRT?:	[dropdown]	

Zurück [printer icon] [save icon]

Abbildung 7:Spezielle Diagnosen, Myokarditis

Auf der Seite mit der Bezeichnung „Myokarditis“ (Abb. 7) werden neben Informationen zu der Diagnosestellung einer Myokarditis, MRT-spezifische Parameter, welche zur Diagnosefindung beitragen, abgefragt. Die Lake Louis Kriterien (6) spielen bei der Diagnosefindung einer Myokarditis mittels der MRT eine wichtige Rolle. Zu den charakteristischen MRT-Merkmalen zählt die globale Signalanhebung in der T2-Sequenz als Zeichen eines Ödems sowie die Signalanhebung in den frühen und späten kontrastmittelverstärkten Messungen. Außerdem können Informationen zu vorausgegangenen Untersuchungen bezüglich der Myokarditis-Diagnostik angegeben werden. In der folgenden Tabelle finden sich die einzelnen Eingabemöglichkeiten:

Tab. 6: „Myokarditis“

Parameter	Eigenschaften
Diagnosestellung Myokarditis	Ja Nein Unbekannt
LV-EF* normal	Ja Nein Unbekannt
STIR positiv	Ja Nein Unbekannt
Relatives Enhancement positiv	Ja Nein Unbekannt
Late Enhancement positiv	Ja Nein Unbekannt
Perikarderguss	Ja Nein Unbekannt

Parameter	Eigenschaften
Pleuraerguss	Ja Nein Unbekannt
Ausschluss KHK	Ja Nein Unbekannt
Myokardläsionsmarker erhöht	Ja Nein Unbekannt
EKG pathologisch	Ja Nein Unbekannt
TTE pathologisch	Ja Nein Unbekannt
Weitere Bildgebung nach -itis- MRT	Nein TTE Stress-TTE SPECT Kardio-CT Kardio-MRT Sonstiges Unbekannt

\*LV-EF = Linksventrikuläre Ejektionsfraktion

### 4.3 Beurteilung der Bedeutung der CMR durch einen externen Gutachter

Um zu beurteilen, ob die CMR-Untersuchung Einfluss auf das Patientenmanagement hatte, wurde eine Untergruppe aller CMR-Untersuchungen durch einen externen Gutachter beurteilt. Diese Person war kein Mitglied der Arbeitsgruppe und nicht aus den Einrichtungen, mit denen die AG affiliert ist. Bei diesem Gutachter handelt es sich um einen Facharzt für Kardiologie, der sowohl mit der invasiven als auch mit der nicht-invasiven kardiovaskulären Diagnostik vertraut ist. Zuerst wurde eine repräsentative Untergruppe aus 250 Fällen aus den gesamten Untersuchungen ausgewählt. Alle Fälle wurden in zufälliger Reihenfolge sortiert. Die Auswahl der Fälle wurde so getroffen, dass die Verteilung der Indikationen der Verteilung in dem Gesamtkollektiv entspricht.

Im nächsten Schritt beurteilt der externe Gutachter die ausgesuchten Untersuchungen nach einem standardisierten Verfahren:

Der externe Gutachter erhält für die Patientenanamnese die pseudonymisierte Patientenakte. Anhand der Anamnese entscheidet der Gutachter, welche kardiovaskuläre Diagnostik dieser empfehlen würde – unter der Annahme, dass alle diagnostischen und therapeutischen Methoden verfügbar sind. Hierfür muss der Gutachter einen Fragebogen (Abb. 8 und 9) ausfüllen.

**Welche diagnostischen Verfahren würden Sie als nächstes anordnen?  
(jeweils 1 auswählen)**

<b>Als Erstes:</b>	<b>Als Zweites</b>
<input type="checkbox"/> Ergometrie	<input type="checkbox"/> Ergometrie
<input type="checkbox"/> TTE	<input type="checkbox"/> TTE
<input type="checkbox"/> Stress-TTE	<input type="checkbox"/> Stress-TTE
<input type="checkbox"/> TEE	<input type="checkbox"/> TEE
<input type="checkbox"/> Myokard-Szintigraphie	<input type="checkbox"/> Myokard-Szintigraphie
<input type="checkbox"/> Koronar-CT	<input type="checkbox"/> Koronar-CT
<input type="checkbox"/> Kardio-MRT	<input type="checkbox"/> Kardio-MRT
<input type="checkbox"/> Koronarangiographie	<input type="checkbox"/> Koronarangiographie
<input type="checkbox"/> Sonstiges:	<input type="checkbox"/> Sonstiges:

**Würden Sie den Patienten stationär aufnehmen lassen?**

ja  
 nein  
 unbestimmt

Abbildung 8: Fragebogen 1

**Hat der MRT-Befund Ihre Frage beantwortet?**

**Übervollständige Beantwortung der Frage**  
Welcher Befund trug zur „überevullständigen Beantwortung“ bei? \_\_\_\_\_

**Vollständige Beantwortung der Frage**

**Teilweise Beantwortung der Frage**

**Fehlende Beantwortung der Frage**

**Inwiefern hat der MRT-Befund zur Diagnosefindung beigetragen?  
(2 Antworten möglich)**

**Ausschluss einer Verdachtsdiagnose**

**Bestätigung einer Verdachtsdiagnose**

**Bestätigung einer bekannten Diagnose**

**Stellen einer neuen Diagnose**  
Welche neue Diagnose konnten Sie stellen? \_\_\_\_\_

**Benötigen Sie nach der MRT noch weitere diagnostische Methoden?**

ja     nein     unbestimmt

**Wenn ja, welche?**

<input type="checkbox"/> Ergometrie	<input type="checkbox"/> Koronar-CT
<input type="checkbox"/> TTE	<input type="checkbox"/> Kardio-MRT (Begründung: _____ )
<input type="checkbox"/> Stress-TTE	<input type="checkbox"/> Koronarangiographie
<input type="checkbox"/> TEE	<input type="checkbox"/> Sonstiges:
<input type="checkbox"/> Myokard-Szintigraphie	

**Würden Sie den Patienten infolge des MRT-Befundes stationär aufnehmen lassen?**

ja

nein

unbestimmt

Abbildung 9: Fragebogen 2

Neben der Frage nach einer eventuellen weiteren Diagnostik soll sich der externe Gutachter entscheiden, ob eine stationäre Aufnahme des Patienten erforderlich ist. Anschließend erhält der begutachtende Kardiologe den Original-Befund der CMR-Untersuchung. Anhand dieses Befundes beurteilt dieser, ob die CMR nützliche Informationen liefert, welche die klinische Fragestellung zu beantworten und zur Diagnosefindung beigetragen hat. Nach Kenntnis des CMR-Befundes entscheidet der externe Gutachter erneut, ob eine weitere Diagnostik notwendig ist und ob eine stationäre Aufnahme erforderlich ist.

## **4.4 Statistik**

Für statistische Analysen wurden die relevanten Parameter aus der Datenbank unter Anwendung von zielgerichtet programmierten Abfrage-Skripten extrahiert. Die Ergebnistabellen wurden in weiterführende Programme exportiert. Für statistische Analysen wurde Statistica (StatSoft Inc., Tulsa, USA), MS Excel (Microsoft Office, Redmond, USA) und Numbers (Apple, Cupertino, USA) verwendet. Grafiken wurden mittels MS Excel und Numbers erstellt. Die Ergebnisse wurden als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung, als Häufigkeit in absoluten Zahlen sowie in Prozent angegeben. Aufbau der Datenbank sowie die statistischen Analysen erfolgten unter Beratung eines externen Statistikers (scossis, Berlin).

## **5 Ergebnisse**

Ein großer Teil der Ergebnisse dieser Studie wurde 2013 im European Heart Journal – Cardiovascular Imaging mit dem Titel „Single-center survey of the application of cardiovascular magnetic resonance in clinical routine“ veröffentlicht (58).

### **5.1 Charakteristika des Studienkollektivs**

Innerhalb eines Jahres wurden insgesamt 2868 Patienten in dem oben genannten Institut untersucht. 270 der gesamten Patienten wurden im Rahmen einer Studie untersucht und wurden ausgeschlossen. Es verblieben 2598 Untersuchungen, welche in unsere Arbeit einbezogen wurden. In Tabelle 7 sind die Charakteristika des Studienkollektivs dargestellt.

Tab. 7: Charakteristika des Studienkollektivs

Parameter	Ergebnis
Gesamte Anzahl der MRT-Untersuchungen im Jahr 2009	2868
MRT-Untersuchungen, welche im Rahmen der Studie analysiert wurden	2598
<b>Geschlecht:</b>	
Männlich	1520/2598 (58,5 %)
Weiblich	1078/2598 (41,5 %)
<b>Alter</b>	
Mittleres Alter $\pm$ SD* (min-max)	56 $\pm$ 17 Jahre (4-91 Jahre)
<b>Altersverteilung:</b>	
Alter <30 Jahre	244/2598 (9,4 %)
Alter 30-49 Jahre	703/2598 (27,1 %)
Alter 50-69 Jahre	1075/2598 (41,4 %)
Alter $\geq$ 70 Jahre	576/2598 (22,2 %)
<b>Körpermaße (Mittel <math>\pm</math> SD*; min-max):</b>	
Größe	172 $\pm$ 10 cm (102-204 cm)
Gewicht	80 $\pm$ 17 kg (14-150 kg)
Body mass index (BMI)	27 $\pm$ 5 kg/m <sup>2</sup> (13-53 kg/m <sup>2</sup> )
<b>Herzrhythmus:</b>	
Sinusrhythmus	2046/2598 (78,8 %)
Vorhofflimmern	396/2598 (15,2 %)
Extrasystolen	118/2598 (4,5 %)
Sonstige	38/2598 (1,5 %)
<b>Patientenstatus:</b>	
Stationär	885/2598 (34,1 %)
Ambulant	1713/2598 (65,9 %)
<b>Überweisende Ärzte:</b>	
Hausarzt	449/2598 (17,3 %)
Kardiologe	1687/2598 (64,9 %)
Facharzt anderer Disziplin als Kardiologie	462/2598 (17,8 %)

\*SD = standard deviation, Standardabweichung (58).

## 5.2 Indikationen für die CMR

Von den 2598 durchgeführten Untersuchungen ergaben sich 2766 Fragestellungen. Die drei Hauptindikationen für eine CMR waren die inflammatorischen Herzerkrankungen, die ischämischen Herzerkrankungen sowie die Untersuchung der kardialen Funktion. In der Abb. 10 ist die Häufigkeit der in Gruppen zusammengefassten Hauptindikationen für die CMR dargestellt. Die Frage nach einer inflammatorischen Herzerkrankung beinhaltet die Myokarditis mit 650/2598 (25%), die Kardiotoxizität bei Chemotherapie mit 34/2598 (1,3%), die Sarkoidose mit 71/2598 (2,7%) sowie die kardiale Beteiligung bei Systemerkrankungen mit 59/2598 (2,3%). Die zweithäufigste Indikation umfasst die ischämische Herzerkrankung mit insgesamt 531/2598 (20,4%) Stress-Test-Untersuchungen, wobei 451/2598 (17,4%) Untersuchungen mit Adenosin und 80/2598 (3,1%) Untersuchungen mit Dobutamin durchgeführt wurden. Die einzelnen Indikationen sind der Abb. 11 zu entnehmen. In 509/531 (95,9%) der Untersuchungen wurden die diagnostischen Kriterien erfüllt. An dritter Stelle folgt die Beurteilung einer eingeschränkten kardialen Funktion mit 378/2598 (14,6%).

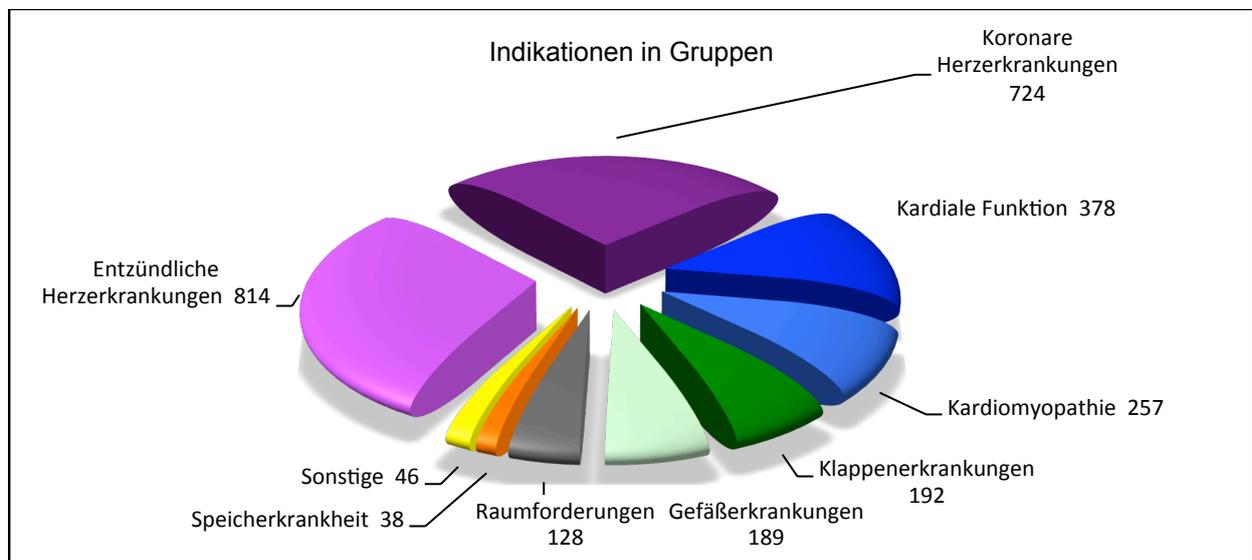


Abbildung 10: Indikationen in Gruppen

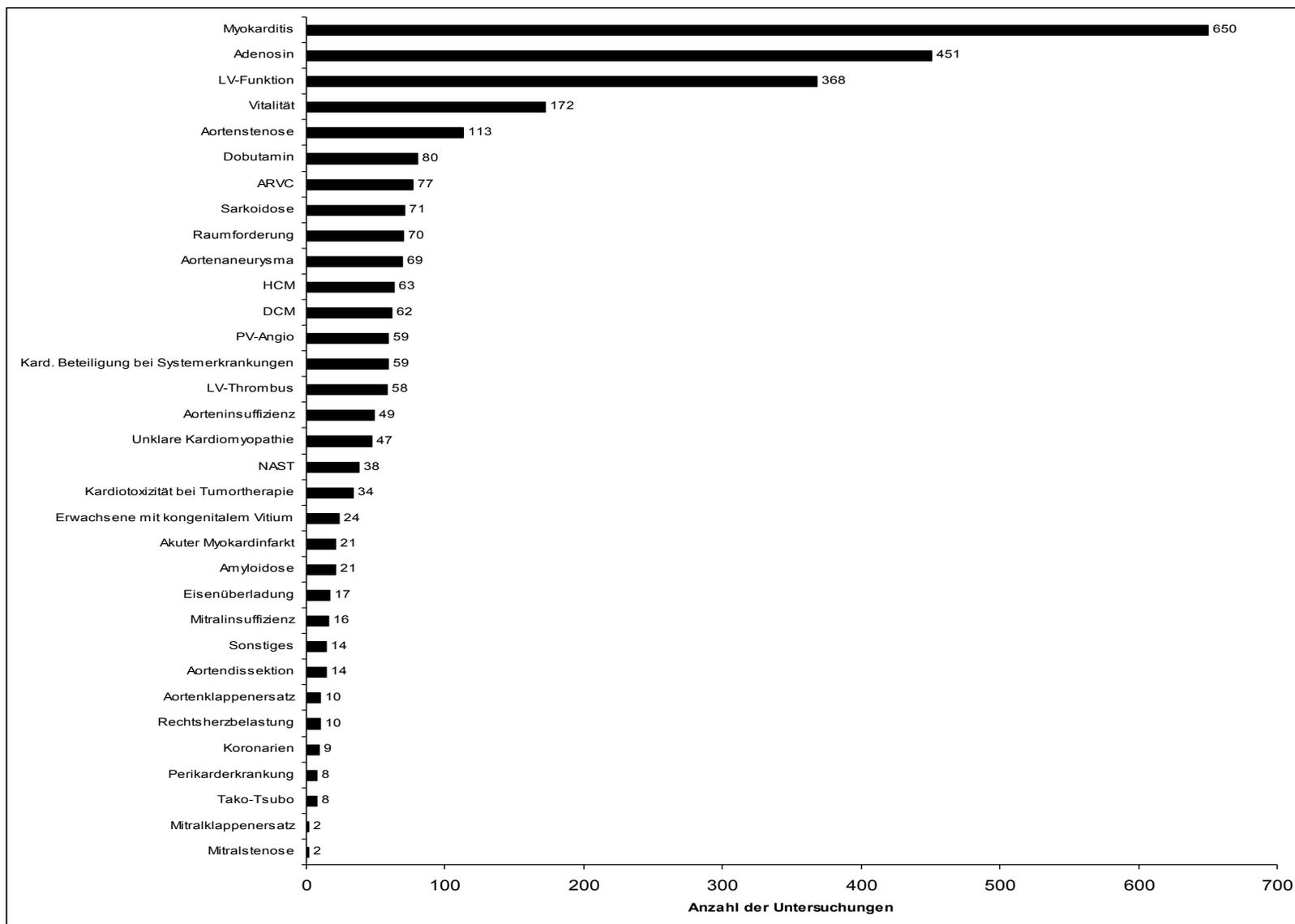


Abbildung 11: Indikationen für eine CMR

### 5.3 Fragestellungen der Verlaufs-CMR

216/2598 (8,3%) Untersuchungen waren Verlaufskontrollen. Bei mehr als die Hälfte der gesamten Verlaufsuntersuchungen mit 119/216 (55,1%) wurde der Verlauf einer Myokarditis untersucht. Am zweithäufigsten ergab sich die Frage nach der kardialen Funktion mit 17/216 (7,8%). Die dritthäufigste Verlaufsuntersuchung wurde zur Beurteilung eines Aortenaneurysmas durchgeführt mit 14/216 (6,5%).

### 5.4 Prozedurale Ergebnisse

#### 5.4.1 Kontrastmittel

Die Mehrzahl der Untersuchungen mit 1973/2598 (75,9%) erfolgte mit KM. Wie der folgenden Tabelle (Tab. 8) zu entnehmen ist, kamen bei den meisten KM-verstärkten Untersuchungen Gadopentetat-Dimeglumin und Gadoteridol zum Einsatz.

Tab. 8: Kontrastmittel

Kontrastmittel	Anzahl
Gadopentetat-Dimeglumin	1397/1973 (70,8%)
Gadoteridol	516/1973 (26,2%)
Gadobutrol	55/1973 (2,8%)
Gadobenat-Dimeglumin	5/1973 (0,3%)

Ohne KM erfolgten 625/2598 (24,1%) Untersuchungen. Die kontrastmittelfreien Untersuchungen erfolgten überwiegend zur Beurteilung der kardialen Funktion in Ruhe und unter Dobutamin-Stress (n=448) sowie zur Beurteilung der Herzklappen (n=99).

### 5.4.2 Sedierung

2500/2598 (96,2%) Untersuchungen wurden ohne Sedierung durchgeführt. In 98/2598 (3,8%) der Fälle war eine anxiolytische Sedierung zur Behandlung bzw. Prophylaxe der Klaustrophobie notwendig. In allen Fällen erfolgte die Applikation des Medikaments Midazolam intravenös.

### 5.4.3 Dauer der Untersuchungen

Die mittlere Untersuchungsdauer betrug  $37 \pm 16$  min. (0 bis 120 min). Die Mehrzahl der Untersuchungen 2126/2598 (81,8%) dauerte nicht länger als 45 Minuten und 2534/2598 (97,5%) Untersuchungen waren innerhalb von 60 Minuten beendet. Nur 64/2598 (2,5%) der Untersuchungen benötigten länger als 60 Minuten (Abb. 12)

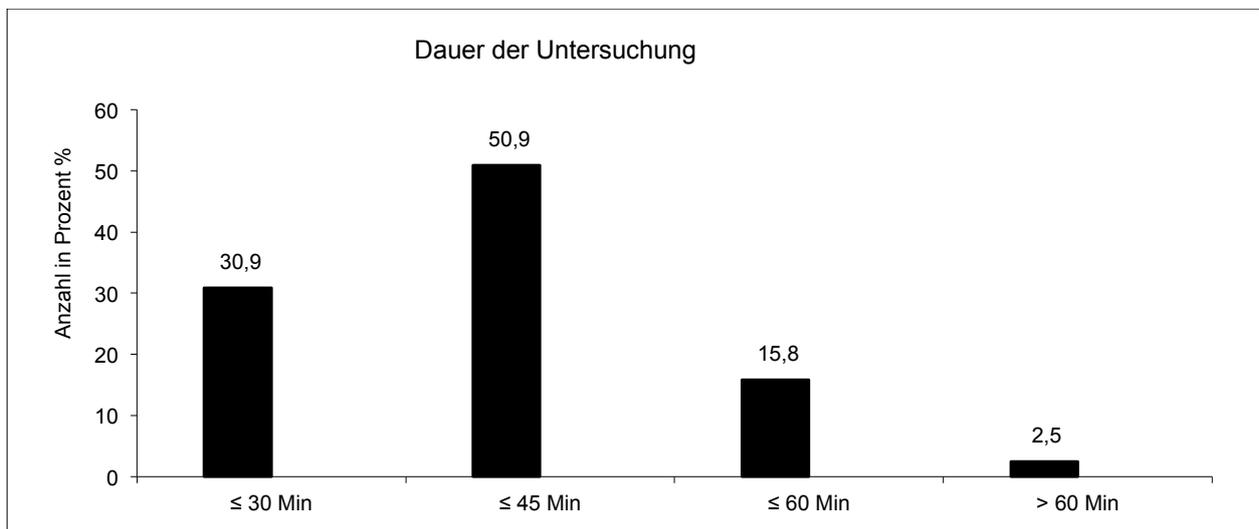


Abbildung 12: Dauer der Untersuchungen

#### 5.4.4 Bildqualität

Tab. 9: Bildqualität

Bildqualität	Anzahl
Diagnostisch	2588/2598 (99,6%)
Gut	2406/2598 (92,6%)
Moderat	182/2598 (7%)
Nicht diagnostisch	10/2598 (0,4%)

Wie man der Tab. 9 entnehmen kann, lieferten 99,6% der Untersuchungen eine diagnostische Bildqualität. Für die Fälle, in denen keine diagnostische Bildqualität akquiriert werden konnte, waren unterschiedliche Ursachen verantwortlich, welche in Tab. 10 aufgelistet sind:

Tab 10 : Gründe für die nicht-diagnostische Bildqualität

Grund für nicht-diagnostische Bildqualität	Anzahl
Ausgeprägte Arrhythmie	3/10 (30%)
Platzangst	3/10 (30%)
Unerwartetes Metallimplantat	2/10 (20%)
Kritischer Allgemeinzustand	1/10 (1%)
Adipositas per magna	1/10 (1%)

#### 5.4.5 Frühzeitiger Abbruch der Untersuchung

2547/2598 (98,0%) der CMR-Untersuchungen konnten regelrecht abgeschlossen werden. 51/2598 (2%) der untersuchten Fälle mussten frühzeitig abgebrochen werden. Die Hauptgründe für die Unterbrechung der Untersuchungen sind in Tab. 11 aufgelistet.

Tab. 11: Gründe für frühzeitigen Abbruch der Untersuchung

Grund für frühzeitigen Abbruch der Untersuchung	Anzahl
Ungenügende Patientcompliance	18/51 (35,3%)
Platzangst	12/51 (23,5%)
Kritischer Allgemeinzustand	7/51 (13,7%)
Keinerlei diagnostische Bildqualität	4/51 (7,8%)
Sonstiges	10/51 (19,6%)

### 5.4.6 Komplikationen

Während der Untersuchungen traten insgesamt 29/2598 (1,1%) Komplikationen auf, wobei keine von diesen als schwere Komplikation einzustufen war. 12 /2598 (0,5%) der gesamten Komplikationen wurden als moderat und 17/2598 (0,7%) als mild eingestuft. Als milde Komplikationen traten Platzangst (n=12) und Paravasat (n=5) auf.

9 der 12 moderaten Komplikationen traten im Rahmen der Stress-Tests auf (n=8 in Verbindung mit Dobutamin, n=1 in Verbindung mit Adenosin), welches eine Komplikationsrate von 1,7% aller 531 Stress- Untersuchungen ergibt.

Die übrigen 3 der 12 moderaten Komplikationen traten nach KM- Gabe auf, welche eine Komplikationsrate von 3/1973 (0,15%) aller mittels KM untersuchten Fälle ergibt. Die Art der Komplikationen ist der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tab 12: Komplikationen. Links: Komplikationen, die im Rahmen einer Stress-Untersuchung auftraten. Rechts: Komplikationen, die nach KM-Gabe auftraten

Moderate Komplikation	Anzahl
Spontan reversible Asystolie von 7 Sekunden Dauer	1
Angina pectoris bzw. Dyspnoe	5
Hämodynamische Instabilität	3

Moderate Komplikation	Anzahl
Asthmaanfall	1
Ausgeprägte Hautrötung	1
Schleimhautschwellung im Bereich der Nase	1

## 5.5 Klinische Bedeutung der Erkenntnisse der CMR-Untersuchung

### 5.5.1 Bedeutung der CMR-Untersuchung hinsichtlich der Fragestellung

Die meisten Fragestellungen 2474/2598 (95,2%) wurden mittels der CMR beantwortet (siehe Abb. 13). Die Ursachen für die fehlende Beantwortung der Fragestellung sind in Tab. 13 zusammengefasst.

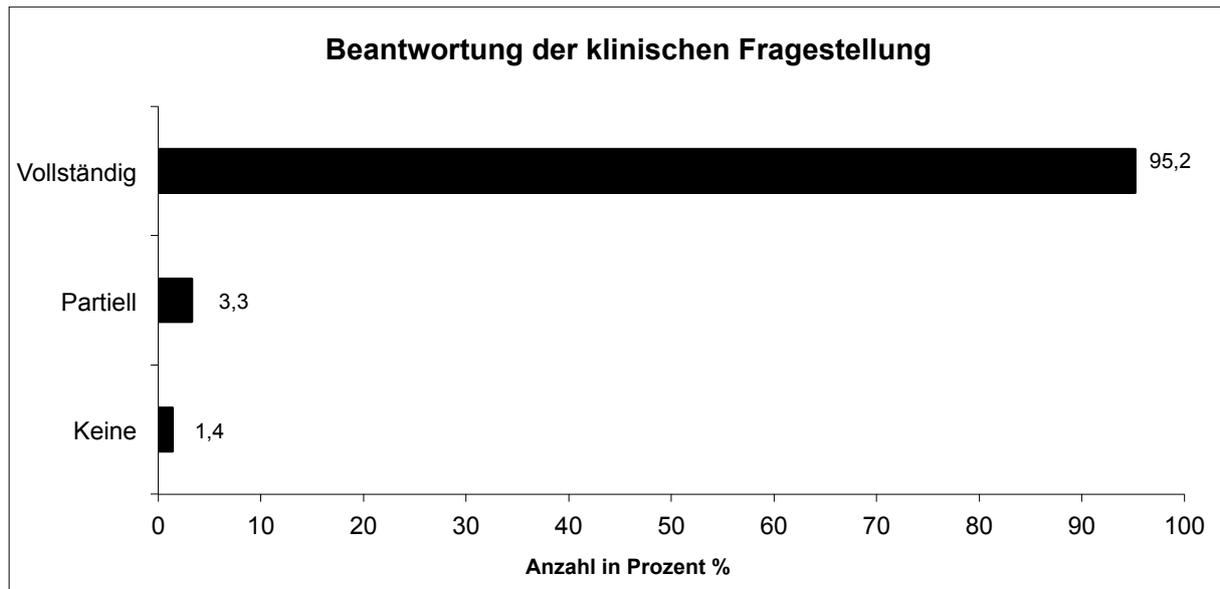


Abbildung 13: Beantwortung der klinischen Fragestellung

Tab 13: Ursachen für die fehlende Beantwortung der Fragestellung

Grund	Anzahl
Abbruch der Untersuchung	23/37 (62,2%)
Keine Ausbelastung unter Dobutamin	6/37 (16,2%)
Reduzierte Bildqualität bei Arrhythmie	3/37 (8,1%)
Sonstige	5/37 (13,5%)

### 5.5.2 Bedeutung der CMR-Untersuchung hinsichtlich der Diagnosestellung

In den meisten Fällen konnte eine Verdachtsdiagnose ausgeschlossen werden. 21,4% der Diagnosen waren vorher nicht bekannt. Die folgende Abb. 14 zeigt die Verteilung im Einzelnen. Die wichtigsten Ursachen für die fehlende Diagnosestellung sind in Tab. 14 aufgelistet.

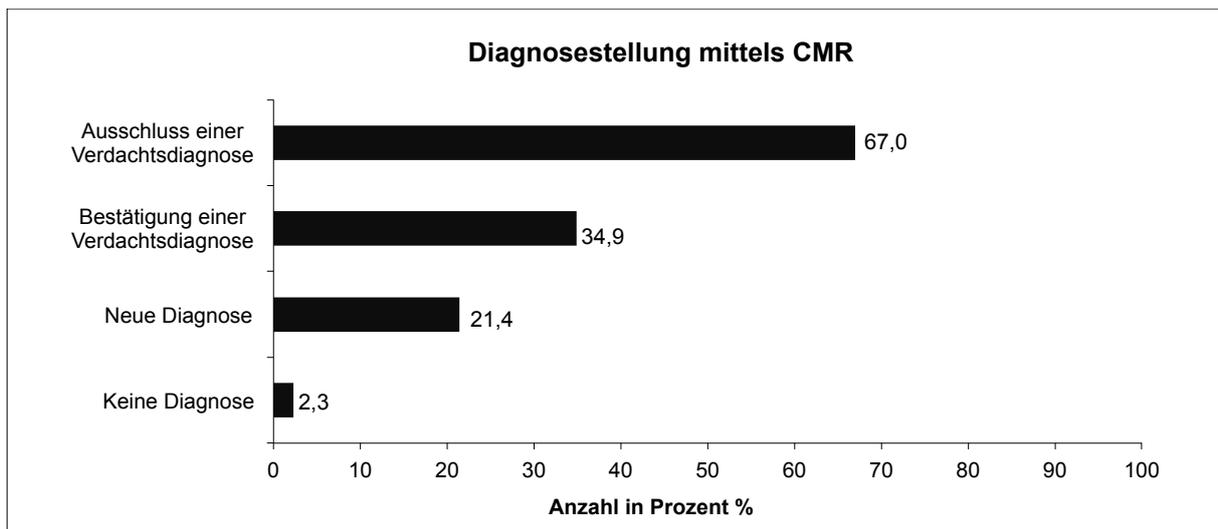


Abbildung 14: Diagnosestellung mittels CMR

Tab. 14: Ursachen für die fehlende Diagnosestellung

Ursache	Anzahl
Abbruch der Untersuchung	34/2598 (1,3%)
Keine Ausbelastung unter Dobutamin	6/2598 (0,23%)
Kein Kontrastmittel bei Myokarditis-Protokoll (Allergierisiko, auf Wunsch des Patienten)	3/2598 (0,12%)
Sonstige	12/2598 (0,5%)

### 5.5.3 Bedeutung der CMR-Untersuchung hinsichtlich des Patientenmanagements

In 2556/2598 (98,3%) der Fälle lieferte die CMR therapierrelevante Informationen. In der Gruppe „teilweise Beantwortung der Frage“ (n=87) konnten bei 75/87 (86,2%) Untersuchungen therapierrelevante Informationen entnommen werden. In der Gruppe

„fehlende Beantwortung der Frage“ (n=37) konnten bei 10/37 (27%) Untersuchungen therapierelevante Informationen entnommen werden. Bei 115/2598 (4,4%) der Patienten führte der MRT-Befund zu einem stationären Krankenhausaufenthalt im Helios Klinikum Buch.

## 5.6 Diagnostik vor der MRT

Bei 2089/2598 (80,4%) Untersuchungen ging innerhalb von drei Monaten der CMR-Untersuchung eine Untersuchung mittels mindestens eines alternativen Verfahrens bzw. mittels einer MRT-Untersuchung voraus. Hiervon erfolgte bei 1860/2089 (89%) eine Untersuchung mit einer nicht-invasiven Methode, bei 229/2089 (11%) erfolgte eine invasive Herzkatheter-Untersuchung. Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl der vorausgegangenen Untersuchungen.

Tab. 15: Diagnostik vor der CMR

Untersuchung	Anzahl
TTE	1118
Ergometrie	350
MRT	258
Herzkatheter	229
TEE	52
SPECT	46
Stress-Echo	31
CT	5

## 5.7 Myokarditis – Detaillierte Analysen

Zu den Myokarditis-Untersuchungen wurden detaillierte Analysen durchgeführt. In Tab. 16 werden die Charakteristika des Kollektivs gezeigt, die zur Myokarditis-Abklärung eine CMR-Untersuchung erhielten.

Tab. 16: Charakteristika des Kollektivs mit Verdacht auf Myokarditis.

Parameter	Ergebnis
Anzahl der CMR-Untersuchungen mit der Frage nach Myokarditis	650/2598 (25%)
CMR-Verlaufsuntersuchung	117/650 (18%)
<b>Geschlecht:</b>	
Männlich	329 (50,6 %)
Weiblich	321 (49,4 %)
<b>Alter:</b>	
Mittleres Alter $\pm$ SD* (min-max)	44,6 $\pm$ 14,9 Jahre (15,5-81,5 Jahre)
Mittleres Alter mit positivem Befund $\pm$ SD* (min-max)	40,5 $\pm$ 14,0 Jahre (18,4-76,8 Jahre)
CMR-Untersuchung pro Monat im Zeitraum Juli bis Oktober $\pm$ SD*	17,7 $\pm$ 1,7
CMR-Untersuchung pro Monat im Zeitraum November bis Juni $\pm$ SD*	29,9 $\pm$ 5,3

Wie oben erwähnt, stellt die Myokarditis die Hauptindikation mit 650/2598 (25%) Untersuchungen dar, wobei 117/650 (18,0%) Verlaufskontrollen und 533/650 (82,0%) Index-Untersuchungen waren.

Die Überweisung dieser Patienten zum Ausschluss bzw. Bestätigung einer Myokarditis erfolgte aus verschiedenen Gründen, diese sind in Tab. 17 aufgelistet.

Tab 17: Häufigkeit der verschiedenen Gründe der Überweisung der Patienten zum Ausschluss bzw. Bestätigung einer Myokarditis

Gründe	Anzahl
Leistungsschwäche	229/650 (35,2%)
Empfohlene Nachuntersuchung	117/650 (18%)
Herzrhythmusstörungen	101/650 (15,5%)
Belastungsdyspnoe	95/650 (14,6%)
Wandbewegungsstörungen im Echo	39/650 (6%)
Auffälliges EKG	31/650 (4,8%)
Angina pectoris / Brustschmerz	27/650 (4,2%)
Unbekannte Gründe	11/650 (1,7%)

In 638/650 (98,2%) der Fälle, in denen eine Myokarditis beurteilt werden sollte, konnten die Lake Louis Kriterien angewandt (6) werden. Entsprechend diesen ergaben sich bei 108/650 (16,6%) positive Einzel-Befunde und bei 70/650 (10,8%) Untersuchungen die endgültige Diagnose einer Myokarditis. Von den übrigen 580/650 (89,2%) Fällen ohne Nachweis einer Myokarditis wurde bei 109/580 (18,8%) ein anderer, vorher nicht bekannter Befund (mit variierend klinischer Relevanz) gestellt. Diese Befunde sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Tab. 18: Anzahl der neuen, vorher nicht bekannten Befunde.

Neue Diagnose	Anzahl
Kardiomyopathie	26/109 (23,9%)
Extrakardiale Befunde , wie z.B. Leberzysten	21/109 (19,3%)
Pleuraerguss	13/109 (11,9%)
Ischämiebedingte Narben	11/109 (10,1%)
Herzklappenerkrankung	11/109 (10,1%)
Eingeschränkte Herzfunktion	11/109 (10,1%)
Aortenaneurysma	5/109 (4,6%)
Sonstige	26/109 (23,9%)

Betrachtet man die Diagnostik vor der CMR-Untersuchung für die Frage nach Myokarditis allein, so lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

Bei 567/650 (87,2%) ging mindestens eine alternative bzw. ebenfalls eine CMR-Untersuchung innerhalb von drei Monaten voraus. Das häufigste diagnostische Verfahren, das vor einer CMR-Untersuchung stattfand, war mit 290/650 (51,1%) die TTE.

Tab. 19: Diagnostik vor CMR bei Verdacht auf Myokarditis

Diagnostik vor MRT	Anzahl
TTE	290/650 (51,1%)
Ergometrie	78/650 (13,8%)
Herzkatheter	56/650 (9,9%)
Sonstige	21/650 (3,2%)

## 5.8 Stress- Tests – Detaillierte Analysen

Zu den Stress-Untersuchungen wurden detaillierte Analysen durchgeführt. In Tab. 20 werden die Charakteristika des Kollektivs, welches eine Stress-Untersuchung erhielt, dargestellt.

Tab. 20: Charakteristika des Kollektivs mit Verdacht auf KHK.

Parameter	Ergebnis
Anzahl der Stress-Untersuchungen	531/2598 (20,4%)
Stress-Test mittels Adenosin	451/531 (84,9%)
Stress-Test mittels Dobutamin	80/531 (15,1%)
<b>Geschlecht:</b>	
Männlich	331 (62,3%)
Weiblich	200 (37,7%)
<b>Alter:</b>	
Mittleres Alter $\pm$ SD* (min-max)	62,3 $\pm$ 11,6 (24-89 Jahre)

Bekannte KHK	187/531 (35,2%)
Ein-Gefäß-Erkrankung	65/187 (34,8%)
Zwei-Gefäß-Erkrankung	38/187 (20,3%)
Drei-Gefäß-Erkrankung	84/187 (44,9%)
Keine bekannte KHK	322/531 (60,6%)

Den 531 Stress-Untersuchungen gingen 507 alternative diagnostische Tests voraus (95,5%). Welche Diagnostik vor der CMR stattfand, zeigt Tab. 21.

Tab. 21: Diagnostik vor CMR bei Verdacht auf KHK

Diagnostik vor MRT	Anzahl
Ergometrie	211/507 (41,6%)
TTE	178/507 (35,1%)
Herzkatheter	45/507 (8,9%)
SPECT	25/507 (4,9%)
CMR	23/507 (4,5%)
Stress-Echo	21/507 (4,1%)
CT	1/507 (0,2%)

In 433/509 (85,1%) dieser Fälle konnte mittels der kardiovaskulären MRT eine Ischämie ausgeschlossen werden. In 76/509 (14,9%) der Fälle wurde der Verdacht auf eine ischämische Erkrankung geäußert. Hiervon erhielten 71/76 (93%) im Anschluss eine Herzkatheter-Untersuchung. Im Gegensatz dazu erhielten 10/433 (2,3%) der negativ befundenen Untersuchungen eine Herzkatheter-Untersuchung. 47/71 (66,2%) der mittels Herzkatheter untersuchten Patienten, bei denen sich zuvor mittels der CMR-Untersuchung ein positiver Befund ergab, erhielten eine Revaskularisation. Im Gegensatz dazu wurde bei keinem der 10/433 (2,3%) mittels Herzkatheter untersuchten Patienten, bei denen zuvor mittels CMR eine Ischämie ausgeschlossen wurde, eine Revaskularisation durchgeführt.

## 5.9 Beurteilung der klinischen Bedeutung der CMR durch einen externen Gutachter

### 5.9.1 Empfohlene Diagnostik vor und nach Einsicht des CMR-Befundes

Der Gutachter sollte zweimal eine Empfehlung abgeben, welche Diagnostik für den jeweiligen Patienten notwendig ist. Einmal unter Kenntnis der Anamnese, danach unter Kenntnis der Anamnese und zusätzlich des CMR-Befundes. Die initialen Empfehlungen wurden anschließend mit den Empfehlungen nach Kenntnis des CMR-Befundes verglichen und in Abb. 15 graphisch dargestellt. Diese zeigt die Anzahl der empfohlenen Untersuchungen vor (blau) und nach (rot) dem Lesen des CMR-Befundes und stellt außerdem die Bilanz (grün) zwischen diesen dar. Vor dem Lesen des CMR-Befundes waren 124 empfohlene TTE-Untersuchungen zu verzeichnen, welche sich nach dem Lesen des CMR-Befundes auf 4 reduzierten, somit nahm die Anzahl der empfohlenen TTE- Untersuchungen um 120 ab.

Die Anzahl folgender Untersuchungen nahm nach Kenntnis des CMR-Befundes zu: EKG (+5) Spiroergometrie (+14). Die Anzahl der empfohlenen Herzkatheter-Untersuchungen mit +1 und die Anzahl der empfohlenen Stress TTE mit -2 blieb nahezu konstant.

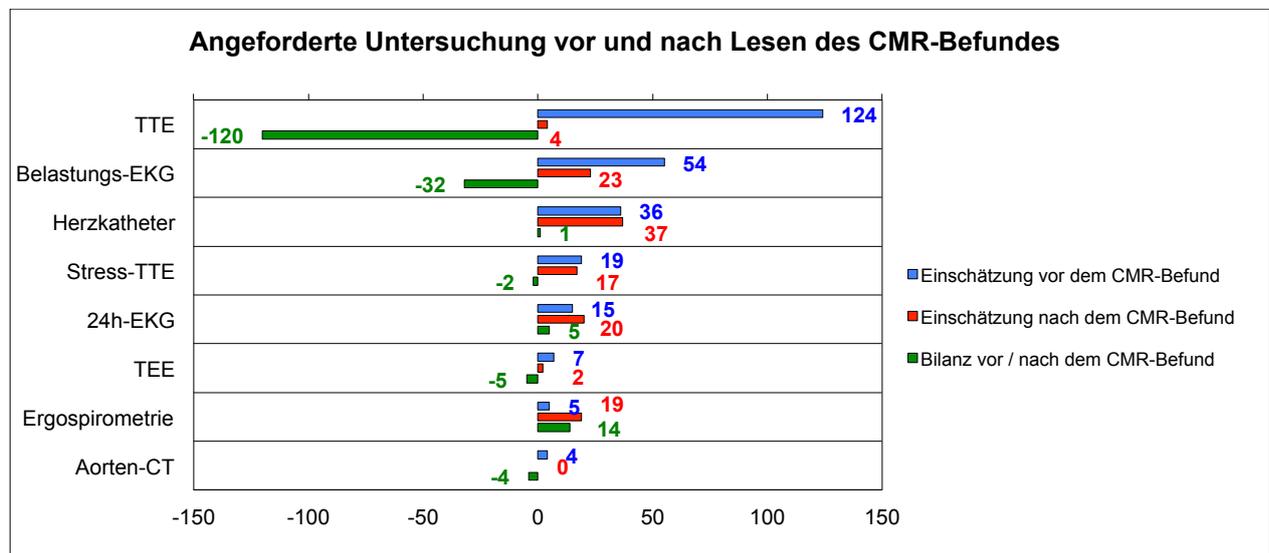


Abbildung 15: Einfluss des CMR-Befundes auf die Anzahl der angeforderten Diagnostik

Auch wenn die Anzahl verschiedener Untersuchungen zum Teil konstant blieb, wie z.B. die Herzkatheter-Untersuchungen, gab es dennoch Unterschiede auf der individuellen Patientenebene: In 11 von 36 Fällen (30,6%) verzichtete der Gutachter auf eine vor

Bekanntgabe des CMR-Befundes empfohlene Herzkatheter-Untersuchung. Andererseits wurde bei 12/214 (5,6%) der Fälle erst nach Lesen des CMR-Befundes die Indikation für eine Herzkatheter-Untersuchung gestellt. Ebenso wurde nach Bekanntgabe des CMR-Befundes die Indikation für ein Belastungs-EKG in 39/54 (72,2%) der Fälle sowie die Indikation für eine Stress-TTE-Untersuchung in 13/19 (68,4%) der Fälle gestrichen, welche zuvor gestellt war. Andererseits wurde in 8/196 (4,1%) der Fälle, basierend auf dem CMR-Befund die Indikation für ein Belastungs-EKG, bzw. in 11/231 (4,8%) der Fälle die Indikation für eine Stress-TTE-Untersuchung gestellt. Welche Untersuchungen nach Bekanntgabe des CMR-Befundes eingespart bzw. hinzugekommen sind, zeigt Abb. 16.

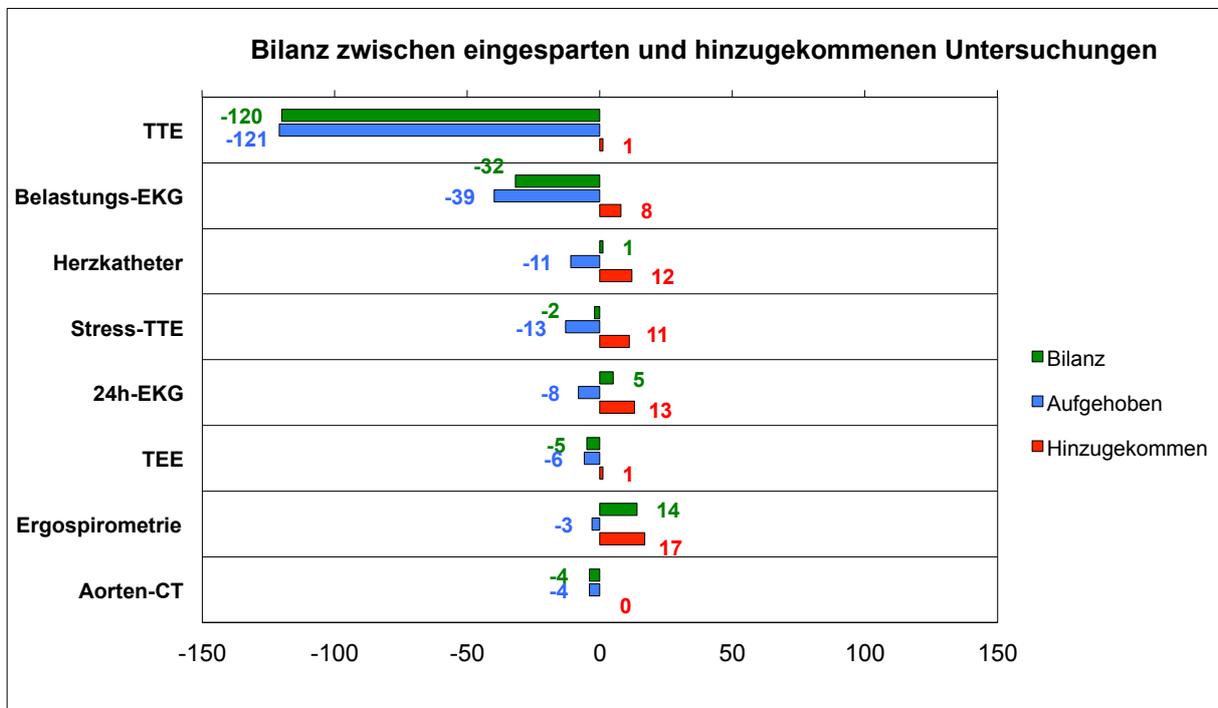


Abbildung 16: Bilanz zwischen den eingesparten und den hinzugekommenen Untersuchungen nach dem Lesen des CMR-Befundes.

### 5.9.2 Beantwortung der klinischen Fragestellung

Aus der Sicht des Gutachters wurde die klinische Fragestellung mittels des CMR-Befundes in 221/250 (88,4%) der Fälle vollständig und in 28/250 (11,2%) der Fälle, teilweise beantwortet (Abb. 17).

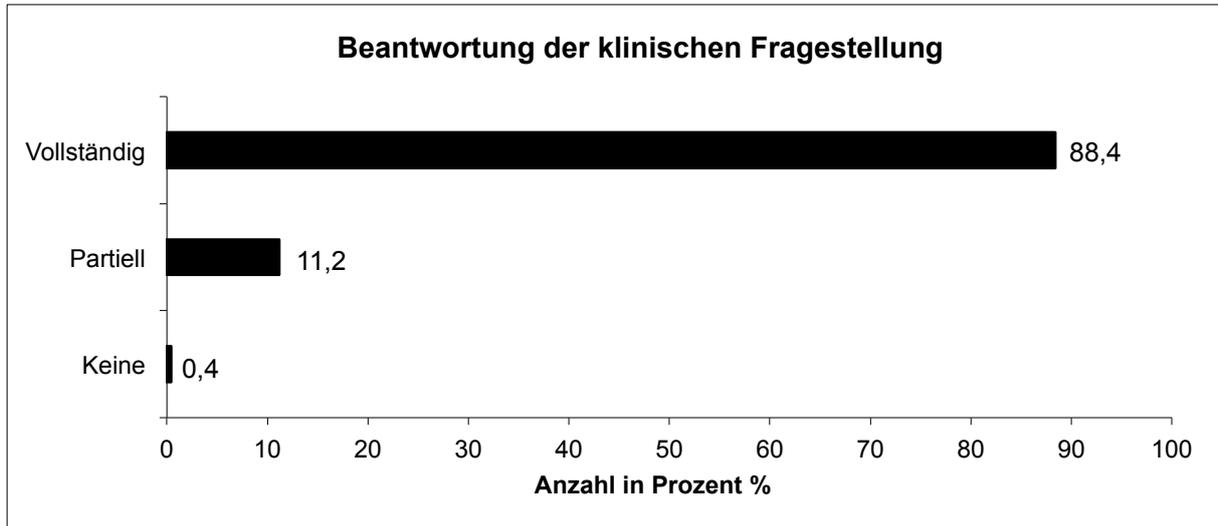


Abbildung 17: Beantwortung der klinischen Fragestellung mittels CMR

### 5.9.3 Diagnosefindung mittels CMR

Mit Hilfe der CMR-Befunde wurden 166/250 (66,4%) Verdachtsdiagnosen ausgeschlossen. In 19/250 (7,6%) der Fälle erhielt der Gutachter durch die CMR-Untersuchung neue, unerwartete Informationen (Abb. 18)

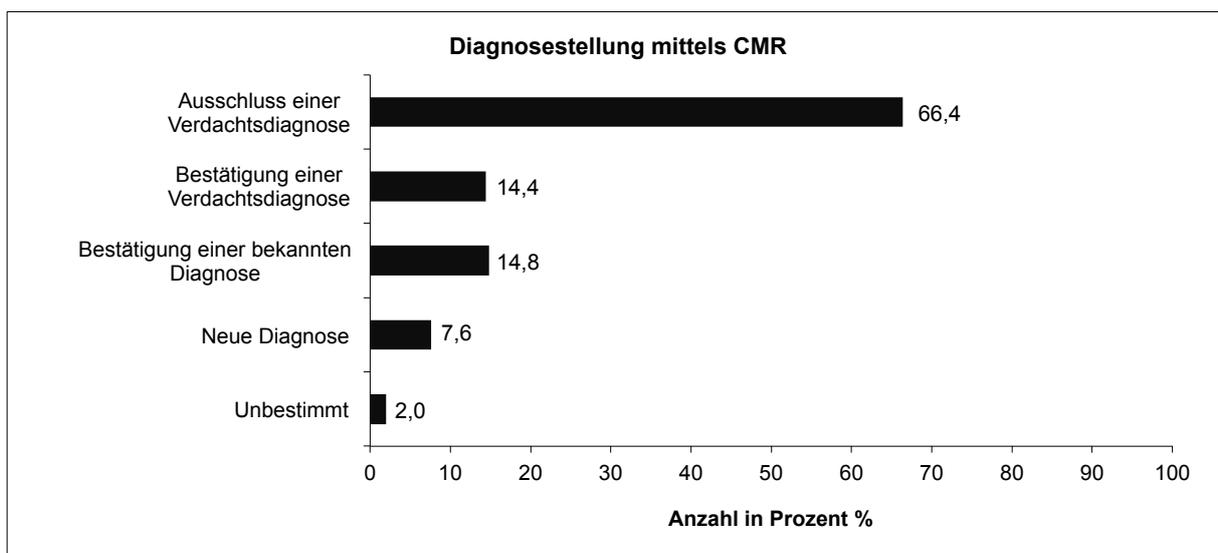


Abbildung 18: Diagnosefindung mittels CMR

Die vorher nicht bekannten Diagnosen, die der Gutachter durch die CMR-Untersuchung erhielt, werden in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Tab. 22: Neue, unerwartete Diagnosen

Diagnose	Anzahl
Kardiomyopathie unklaren Typs	5
Aortenstenose	2
Perikarderguss	1
Pleuraerguss	1
DCM	1
Thrombus	1
Aortenaneurysma	1
Splenomegalie	1
Pulmonale Raumforderung rechts	1
Leberzyste	1
Bandscheibenprolaps	1
Sonstige	3

#### 5.9.4 Empfehlung zur stationären Aufnahme vor und nach Kenntnisnahme des CMR-Befundes

Der Gutachter sollte zweimal eine Empfehlung abgeben, ob für den jeweiligen Patienten eine stationäre Aufnahme notwendig ist. Die erste Empfehlung nur unter Kenntnis der Anamnese, danach unter Kenntnis der Anamnese und zusätzlich des CMR-Befundes. Beide Empfehlungen wurden anschließend verglichen und in Abb. 19 graphisch dargestellt. Die 26,8% der empfohlenen Krankenhausaufenthalte gingen nach Lesen des CMR- Befundes auf 12,8% zurück.

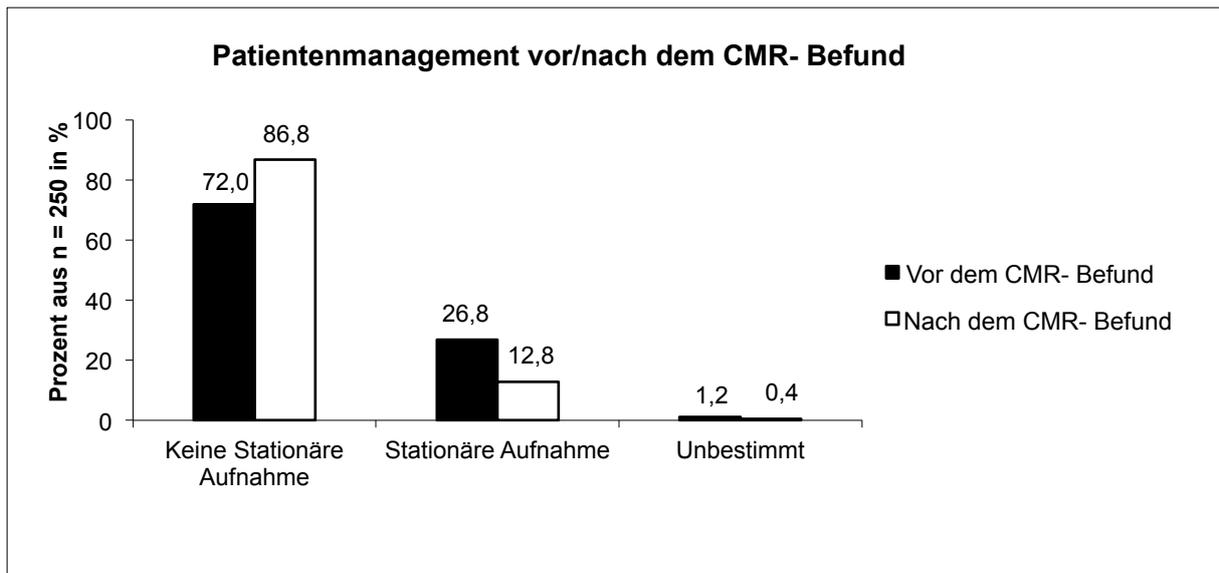


Abbildung 19: Stationäre Aufnahme vor/nach dem CMR-Befund

## **6 Diskussion**

### **6.1 Anwendung der CMR in der klinischen Routine**

#### **6.1.1 Indikation für eine CMR**

Die CMR umfasst eine große Bandbreite an Indikationen. In dieser Arbeit kam die CMR in vielen verschiedenen Fragestellungen zum Einsatz, was die Einsatzflexibilität der CMR unterstreicht. Die Verteilung der Indikationen ähnelt den Ergebnissen der Multicenter Studien der EuroCMR-Register von 2009 (11) und 2013 (14) weitgehend. Die Hauptindikationen in unserer Arbeit umfassen die Fragen nach inflammatorischen Ereignissen mit insgesamt 814 von 2598 Untersuchungen, was 31,3% der gesamten Untersuchungen ausmacht. In den EuroCMR-Studien stellen allerdings die ischämischen Herzerkrankungen die Hauptindikation für eine CMR mit 45,5% in den deutschen Zentren bzw. 48,8% in den europäischen Zentren, gefolgt von den entzündlichen Herzerkrankungen und Kardiomyopathien mit 31,9% bzw. 32,2% an zweithäufigster Stelle (11, 14). Ein möglicher Grund für die höhere Anzahl der entzündlichen Herzerkrankungen gegenüber den ischämischen Herzerkrankungen in unserer Arbeit ist der lokalen Expertise in der Myokarditis-Diagnostik zuzuschreiben. Das führt potenziell dazu, dass die überweisenden Ärzte die Patienten zur Abklärung entzündlicher Herzerkrankungen bevorzugt an unsere Klinik überweisen. Die entzündlichen Herzkrankheiten beinhalten neben der Myokarditis die Sarkoidose sowie die systemischen Herzerkrankungen und betreffen somit andere Disziplinen wie z.B. die Onkologie und die Rheumatologie (59-62). Die Überweisung durch Ärzte anderer Disziplinen (17,3% vom Hausarzt und 17,8% von Fachärzten anderer Disziplin als Kardiologie) mag ein Hinweis darauf sein. Es ist außerdem hervorzuheben, dass 117 CMR-Untersuchungen durchgeführt wurden, um den Verlauf der Myokarditis zu beurteilen. Denn neben der Diagnosesicherung im akuten Fall spielt die CMR eine Rolle bei der Beurteilung des Krankheitsverlaufs (63).

Die Beurteilung ischämischer Herzerkrankungen ist die zweithäufigste Indikation für eine CMR-Untersuchung. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen die Möglichkeit, CMR-Stress-Tests mit guter diagnostischer Bildqualität und niedriger Komplikationsrate in der klinischen Routine durchzuführen, welche mit der EuroCMR Studie (11) und mit anderen Stress-Modalitäten (64) vergleichbar sind.

Es ist hervorzuheben dass nur 14,9% der Patienten, die zur Beurteilung einer Myokardischämie überwiesen wurden, schließlich eine Ischämie zeigten. Das repräsentiert eine Low-Risk-Population für die koronare Herzerkrankungen. Die Prävalenz für induzierbare Ischämien sowie die Rate unerwünschter Nebenwirkungen sind möglicherweise höher bei Patienten mit einer höheren Prätestwahrscheinlichkeit. Ein großer Anteil der CMR-Untersuchungen wurde zur Beurteilung eingeschränkter Herzfunktionen durchgeführt. Die Auswurfraction und die Wandbewegung sind auch mit der TTE beurteilbar. Jedoch weisen 10-15% der Patienten eine mangelhafte Endokardbegrenzung auf, welche zur fehlerhaften Beurteilung regionaler und globaler Linksherzfunktion führen kann (65). Für die Beurteilung des linken Ventrikels ist eine hohe Genauigkeit erforderlich, die die CMR konstant liefern kann (66). Außerdem kann erwogen werden, statt eines TTE direkt eine CMR durchzuführen, wenn das TTE primär wegen der linksventrikulären Funktion gefordert wurde und neben der Herzfunktion z.B. eine Gewebeanalyse hinsichtlich Myokarditis klinisch indiziert ist.

Die hohe Anzahl vieler verschiedener Indikationsstellungen für eine CMR-Untersuchung stellt eine Herausforderung hinsichtlich der Qualitätskontrolle dar. Für die Einhaltung eines einheitlichen Standards und die Gewährleistung einer profunden Ausbildung ist ein großer Aufwand notwendig. Die Gesellschaft für Kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) bietet Empfehlungen für einheitliche Standards für die Durchführung (67) und Befundung von CMR-Untersuchungen (68, 69). Für eine profunde Ausbildung bestehen ebenso Richtlinien (57).

Der größte Anteil der Untersuchungen war innerhalb von 60 Minuten beendet und über 80% aller Untersuchungen dauerte nicht länger als 45 Minuten. Dies zeigt, dass CMR-Untersuchungen innerhalb eines angemessenen Zeitaufwands durchführbar sind.

Die meisten Untersuchungen konnten regelrecht abgeschlossen werden. Die Hauptgründe für einen frühzeitigen Abbruch der Untersuchungen waren hauptsächlich mangelnde Patientencompliance und Klaustrophobie. In unserer Patientenpopulation wurde bei 3,8% der Untersuchungen eine Sedierung benötigt. Die Gabe von Sedierungsmitteln erfolgte sowohl im Vorfeld als Prophylaxe bei bekannter Klaustrophobie als auch während der CMR-Untersuchung bei vorher nicht bekannter Klaustrophobie. Wie oben erwähnt, musste jedoch in nur 12/2598 (0,5%) der Fälle aufgrund einer Klaustrophobie die Untersuchung frühzeitig abgebrochen werden. Diese Werte sind vergleichbar mit der Studie von Sarji et al. (0,54%) (70). In allgemeinen

radiologischen MRT- Untersuchungen tritt Klaustrophobie in 2% der Fälle auf (71). In Rückenlage sowie in der Position, in welcher der Kopf zuerst in das MRT-Gerät eingeführt wird, steige die Klaustrophobie-Rate noch an. Somit ist die geschätzte Inzidenz von Klaustrophobie bei einer CMR-Untersuchung deutlich höher als die Rate in unserer Erhebung (72). Eine frühzeitige Unterbrechung der CMR-Untersuchung aufgrund einer Klaustrophobie kann mittels einer anxiolytischen Sedierung in vielen Fällen verhindert werden (73).

Bei 76% der Untersuchungen wurde KM verabreicht. Der Einsatz von KM ist zur Gewebecharakterisierung erforderlich und erlaubt bei Verdacht auf eine KHK die Beurteilung myokardialer Ischämien (74), die Risikostratifizierung bei Kardiomyopathien (75-77), die Beurteilung von Myokarditiden (39, 40) sowie den Nachweis kleiner, subendokardialer Infarkte (78, 79), einschließlich der Beurteilung der Vitalität (12, 35, 80). Darüber hinaus ermöglicht die CMR die Differenzierung zwischen Kardiomyopathien ischämischer und nicht- ischämischer Genese (81, 82).

In dieser Arbeit wurde prozentual weniger KM verabreicht als in den EuroCMR- Studien mit 88% (11) und 92% (14), welches hauptsächlich der unterschiedlichen Verteilung der Indikationen zuzuschreiben ist. Neben der Beurteilung der kardialen Funktion wurden häufig die Herzklappen untersucht, welche im Allgemeinen ohne Kontrastmittelapplikation erfolgen. Diese beiden Untersuchungen fanden in unserem Institut prozentual häufiger statt als in denen der EuroCMR-Studien (11, 14).

In dieser Studie traten in 0,15% der Fälle moderate und in 0,25% der Fälle milde Komplikationen nach Kontrastmittelgabe auf. Die niedrigen Komplikationsraten stimmen mit denen einer EuroCMR-Studie aus dem Jahr 2011 überein, bei denen in 30 von 17767 Untersuchungen (0,17%) (83) Komplikationen auftraten. Ähnliche Ergebnisse zeigten weitere Studien von Abujudeh et al. (84), bei denen 51/32659 (0,16%), und von Hunt et al. (85), bei denen 64/158439 (0,04%) Komplikationen auftraten.

Unsere Daten zeigen also, dass der Gebrauch gadoliniumhaltiger KM bei einer CMR-Untersuchung bezüglich der Häufigkeit und des Schweregrades der akuten Ereignisse als sicher einzustufen ist.

Bezüglich der Sicherheit im Hinblick auf das Auftreten von NSF wurden keine weiteren Recherchen unternommen. Jedoch weiß man, dass seit der Etablierung von Richtlinien für den Gebrauch von gadoliniumhaltigen KM das Auftreten einer NSF nahezu Null ist (23, 24).

In 99,6% der CMR-Untersuchungen wurde eine diagnostische Bildqualität erzielt, welche mit den EuroCMR-Studien vergleichbar ist (98,2% und 98,3%) (11, 14).

### **6.1.2 Diagnostik vor der CMR-Untersuchung**

Bei 80% der CMR-Untersuchungen ging eine andere Untersuchung voraus. Davon waren mehr als die Hälfte (53,5%) TTE- Untersuchungen. Diese Ergebnisse stimmen mit denen der EuroCMR-Studie überein (64,1%) (11). Dieses Ergebnis zeigt, dass die Echokardiographie in der klinischen Routine eine große Rolle in der Primärdiagnostik spielt, begründet durch die höhere Flexibilität, Verfügbarkeit und geringeren Kosten im Vergleich zu anderen Untersuchungsmethoden.

In der kardiovaskulären Bildgebung besteht ein hohes Potential für den übermäßigen und unnötigen Gebrauch bildgebender Untersuchungen (8). Amerikanische Fachgesellschaften erarbeiteten Angemessenheitskriterien („Appropriateness Criteria“) für die kardiovaskuläre Bildgebung für die Empfehlung geeigneter Untersuchungen bei entsprechender Indikation (86). Dennoch wird geschätzt, dass ein Drittel aller Untersuchungen ein ungünstiges Verhältnis zwischen Kosten, Risiken und Nutzen haben (87).

Das Potential des übermäßigen Gebrauchs an diagnostischen Untersuchungen in der kardiovaskulären Diagnostik ist einerseits durch die Verfügbarkeit an diagnostischen Tests mit überlappenden Einsatzmöglichkeiten (88) begründet. Andererseits besteht die Sorge vor rechtlichen Konsequenzen bei Übersehen eines möglichen kardiovaskulären Befundes durch Auslassen einer Untersuchung.

## **6.2 Einfluss der CMR auf das Patientenmanagement**

Die CMR lieferte bei den meisten Untersuchungen therapierrelevante Informationen. Ein Fünftel der Untersuchungen lieferte neue Diagnosen und zum Teil führte der CMR-Befund zu einem Krankenhaus-Aufenthalt. In der untersuchten Subgruppe hatte die CMR ebenso Auswirkungen auf das Patientenmanagement. Bei einem Teil der untersuchten Patienten konnte eine bislang unbekannte Diagnose gestellt werden. Nach Bekanntgabe des CMR-Befundes reduzierte sich die Anzahl der Empfehlungen einer stationären Aufnahme auf weniger als die Hälfte. In der EuroCMR-Studie (11) kann ebenfalls ein direkter Einfluss der CMR auf das Patientenmanagement gezeigt werden.

In der untersuchten Subgruppe hatten die CMR-Untersuchungen zusätzlich Auswirkungen auf die diagnostischen Untersuchungen: Aus Sicht des Gutachters wurde in den meisten Fällen die klinische Fragestellung beantwortet, womit eine weitere, nachfolgende Untersuchung vermieden werden konnte. Die CMR führte aber auch zum gezielten Einsatz ergänzender Untersuchungen wie zum Beispiel Herzrhythmusuntersuchungen oder Lungenfunktionsuntersuchungen. Unter Berücksichtigung der methodischen Limitationen unterstreichen diese Ergebnisse den klinischen Wert der CMR.

Betrachtet man die Ergebnisse bezüglich der empfohlenen Herzkatheter-Untersuchungen, so zeigen sich Unterschiede auf der individuellen Patientenebene: Bei etwa einem Drittel der Fälle verzichtet der Gutachter auf eine vor Bekanntgabe des CMR-Befundes empfohlene Herzkatheter-Untersuchung. Andererseits wird bei einem geringen Teil der Fälle erst nach der CMR-Untersuchung die Indikation für eine Herzkatheter-Untersuchung gestellt. Ähnliche Ergebnisse findet man in den EuroCMR-Studien (11, 14), bei denen jeweils bei 45% der Patienten nach einer Stress-CMR-Untersuchung eine invasive Angiographie vermieden werden konnte.

In unserer Patientenpopulation konnte bei einer erheblichen Anzahl an Patienten, die eine Stress-Untersuchung erhielten, eine Ischämie ausgeschlossen werden. Von diesen wurde bei den wenigsten eine anschließende Herzkatheter-Untersuchung durchgeführt. Jedoch erhielten über 90% der Patienten mit einem positiven Befund eine anschließende Herzkatheter-Untersuchung. Basierend auf diesen Ergebnissen könnte man annehmen, dass eine vermehrte Anwendung der CMR Einfluss auf die Anzahl der invasiven Untersuchungen, auf die Anzahl der alternativen, nicht-invasiven Diagnostik und auf die entstehenden Kosten hat und insgesamt zu einem gezielteren Einsatz von Diagnostik- und Therapieverfahren führt.

In der Arbeit von Pilz et al. (89) konnte gezeigt werden, dass durch eine CMR-Untersuchung bei Patienten mit einem Verdacht auf eine KHK eine Herzkatheter-Untersuchung in über 62% der Fälle vermieden werden kann. Somit kann mit dem Einsatz der CMR vor einer Herzkatheter-Untersuchung als sogenannten Gatekeeper, eine Kostenreduktion erreicht werden. Wir führten keine Kostenanalyse durch. Jedoch konnte in vielen Fällen mittels der CMR die Fragestellung mit einer einzigen Untersuchung beantwortet werden. Der Verzicht auf weitere Untersuchungen könnte zu einer Kostenreduktion beitragen. Größere Multicenter-Studien, die diese Fakten

bestätigen bzw. zusätzliche detaillierte Informationen zur Kosteneffizienz beinhalten sind sicherlich notwendig.

### **6.3 Limitationen**

Die Limitation dieser Studie ist die Tatsache, dass diese Studie an einem einzelnen Institut durchgeführt wurde. Dadurch unterliegen die Ergebnisse möglicherweise einem Bias im Hinblick auf das von Ärzten überwiesene Patientenkollektiv, die Auswahl der Aufnahmeverfahren sowie der Anwendung differenzierter CMR-Protokolle. Multi-Center-Studien sind notwendig, um eine Mono-Center-Studie wie unsere, die den klinischen Nutzen sowie die Auswirkungen einer CMR-Untersuchung auf das therapeutische Vorgehen und das Patientenmanagement darstellt, zu prüfen.

Durch die Subgruppen-Analyse besteht zwar der Hinweis, dass die CMR Einfluss auf die Anwendung nachfolgender Untersuchungen hat, die Daten ermöglichen jedoch keine Kosten-Analyse. Eine weitere Limitation ist, dass ein einzelner Arzt die CMR-Untersuchungen begutachtet hat. Um mehrere objektive Daten zu erhalten, wären z.B. mehrere Gutachter nötig. Da nur die Fälle, die eine CMR-Untersuchung erhielten, dem Gutachter vorgelegt wurden, ist ein Selektionsbias vorhanden.

### **6.4 Fazit**

Schlussfolgernd zeigt diese Studie, dass die CMR vielseitig zum Einsatz kommt, in einem angemessenen Zeitaufwand durchgeführt und eine stabile Bildqualität in den meisten Fällen erzielt werden kann. Zusätzlich ist die CMR eine sichere Untersuchungsmethode. Die Ergebnisse aus der Subgruppe, in der klinische Entscheidungen anhand der CMR-Befunde getroffen wurden, unterstützen die Hypothese, dass die CMR positiven Einfluss auf das individuelle Patientenmanagement nimmt. Durch den frühzeitigen Einsatz in der diagnostischen Kaskade besteht die Möglichkeit, überlappende, nichtinvasive Diagnostik zu vermeiden und damit möglicherweise Ressourcen einzusparen.

## 7 Abkürzungen

ARVC	Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy
CMR	Kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie
CT	Computertomographie
DCM	Dilatative Kardiomyopathie
DTPA	Diethylentriaminpentaessigsäure
EKG	Elektrokardiogramm
Gd	Gadolinium
GFR	Glomeruläre Filtrationsrate
HCM	Hypertrophe Kardiomyopathie
HK	Herzkatheter
HRST	Herzrhythmusstörungen
Kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
KHK	Koronare Herzkrankheit
KM	Kontrastmittel
LGE	Late Gadolinium Enhancement
LV	Linksventrikulär
MRT	Magnetresonanztomographie
NSF	Nephrogene Systemische Fibrose
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
PV	Pulmonalvenen
RV	Rechtsventrikulär
SR	Sinusrhythmus
SVES	Supraventrikuläre Extrasystolen
TEE	Transösophageale Echokardiographie
TTE	Transthorakale Echokardiographie
VHF	Vorhofflimmern
VES	Ventrikuläre Extrasystolen

## 8 Literaturangaben

1. Takx RA, Blomberg BA, El Aidi H, et al. Diagnostic accuracy of stress myocardial perfusion imaging compared to invasive coronary angiography with fractional flow reserve meta-analysis. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2015;8(1).
2. de Jong MC, Genders TS, van Geuns RJ, Moelker A, Hunink MG. Diagnostic performance of stress myocardial perfusion imaging for coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol*, 2012;22(9):1881-95.
3. Greenwood JP, Motwani M, Maredia N, et al. Comparison of cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography in women with suspected coronary artery disease from the Clinical Evaluation of Magnetic Resonance Imaging in Coronary Heart Disease (CE-MARC) Trial. *Circulation*, 2014;129(10):1129-38.
4. Achenbach S, Barkhausen J, Beer M, et al. [Consensus recommendations of the German Radiology Society (DRG), the German Cardiac Society (DGK) and the German Society for Pediatric Cardiology (DGPK) on the use of cardiac imaging with computed tomography and magnetic resonance imaging]. *Rofo*, 2012;184(4):345-68.
5. Nagel E, Bauer, W., U. Sechtem et al. Klinische Indikationen für die kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie (CMR). *Clin Res Cardiol Suppl*, 2007;2:77 - 96.
6. Friedrich MG, Sechtem U, Schulz-Menger J, et al. Cardiovascular magnetic resonance in myocarditis: A JACC White Paper. *J Am Coll Cardiol*, 2009;53(17):1475-87.
7. Hamon M, Fau G, Nee G, Ehtisham J, Morello R, Hamon M. Meta-analysis of the diagnostic performance of stress perfusion cardiovascular magnetic resonance for detection of coronary artery disease. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2010;12:29.
8. Bonow RO. 2009 ASNC keynote lecture: measuring cost, cost-effectiveness, and quality in cardiovascular imaging. *J Nucl Cardiol*, 2010;17(3):362-9.
9. Boldt J, Leber AW, Bonaventura K, et al. Cost-effectiveness of cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography for diagnosis of coronary artery disease in Germany. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2013;15:30.

10. Plein S, Schulz-Menger J, Almeida A, et al. Training and accreditation in cardiovascular magnetic resonance in Europe: a position statement of the working group on cardiovascular magnetic resonance of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*, 2011;32(7):793-8.
11. Bruder O, Schneider S, Nothnagel D, et al. EuroCMR (European Cardiovascular Magnetic Resonance) registry: results of the German pilot phase. *J Am Coll Cardiol*, 2009;54(15):1457-66.
12. Kwong RY, Korlakunta H. Diagnostic and prognostic value of cardiac magnetic resonance imaging in assessing myocardial viability. *Top Magn Reson Imaging*, 2008;19(1):15-24.
13. Werdan K, Flachskampf F, Griebenow R, et al. Curriculum Kardiologie. *Kardiologie*, 2013;7:435-456.
14. Bruder O, Wagner A, Lombardi M, et al. European Cardiovascular Magnetic Resonance (EuroCMR) registry--multi national results from 57 centers in 15 countries. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2013;15:9.
15. Francone M, Di Cesare E, Cademartiri F, et al. Italian registry of cardiac magnetic resonance. *Eur J Radiol*, 2014;83(1):e15-22.
16. Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B. *Wie funktioniert MRI? - Eine Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanzbildgebung*. 7.Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2014: 1-27.
17. Bornstedt A. Einführung in die Bewegungsunterdrückung bzw. -korrektur. In: Nagel E, van Rossum AC, Fleck E. *Kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie*. Darmstadt, Steinkopff Verlag, 2002: 31-35.
18. Nelson KL, Runge VM. Basic principles of MR contrast. *Top Magn Reson Imaging*, 1995;7(3):124-36.
19. Fröhlich J. MR-Kontrastmittel. In: Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B. *Wie funktioniert MRI? - Eine Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanzbildgebung*. Berlin Heidelberg, Springer Verlag, 2014: 121-123.
20. Biglands JD, Radjenovic A, Ridgway JP. Cardiovascular magnetic resonance physics for clinicians: Part II. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2012;14:66.
21. Shellock FG, Kanal E. Safety of magnetic resonance imaging contrast agents. *J Magn Reson Imaging*, 1999;10(3):477-84.

22. Grobner T. Gadolinium--a specific trigger for the development of nephrogenic fibrosing dermopathy and nephrogenic systemic fibrosis? *Nephrol Dial Transplant*, 2006;21(4):1104-8.
23. Heverhagen JT, Krombach GA, Gizewski E. Application of extracellular gadolinium-based MRI contrast agents and the risk of nephrogenic systemic fibrosis. *Rofo*, 2014;186(7):661-9.
24. Wang Y, Alkasab TK, Narin O, et al. Incidence of nephrogenic systemic fibrosis after adoption of restrictive gadolinium-based contrast agent guidelines. *Radiology*, 2011;260(1):105-11.
25. Reiter T, Ritter O, Prince MR, et al. Minimizing risk of nephrogenic systemic fibrosis in cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2012;14:31.
26. Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP, et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *Circulation*, 2010;121(22):2462-508.
27. Kelle S, Hamdan A, Schnackenburg B, et al. Dobutamine stress cardiovascular magnetic resonance at 3 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2008;10:44.
28. Jahnke C, Nagel E, Gebker R, et al. Prognostic value of cardiac magnetic resonance stress tests: adenosine stress perfusion and dobutamine stress wall motion imaging. *Circulation*, 2007;115(13):1769-76.
29. Klem I, Heitner JF, Shah DJ, et al. Improved detection of coronary artery disease by stress perfusion cardiovascular magnetic resonance with the use of delayed enhancement infarction imaging. *J Am Coll Cardiol*, 2006;47(8):1630-8.
30. Giang TH, Nanz D, Coulden R, et al. Detection of coronary artery disease by magnetic resonance myocardial perfusion imaging with various contrast medium doses: first European multi-centre experience. *Eur Heart J*, 2004;25(18):1657-65.
31. Jaarsma C, Leiner T, Bekkers SC, et al. Diagnostic performance of noninvasive myocardial perfusion imaging using single-photon emission computed tomography, cardiac magnetic resonance, and positron emission tomography imaging for the detection of obstructive coronary artery disease: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*, 2012;59(19):1719-28.

32. Abdel-Aty H, Zagrosek A, Schulz-Menger J, et al. Delayed enhancement and T2-weighted cardiovascular magnetic resonance imaging differentiate acute from chronic myocardial infarction. *Circulation*, 2004;109(20):2411-6.
33. Kim HW, Farzaneh-Far A, Kim RJ. Cardiovascular magnetic resonance in patients with myocardial infarction: current and emerging applications. *J Am Coll Cardiol*, 2009;55(1):1-16.
34. Rajiah P, Desai MY, Kwon D, Flamm SD. MR imaging of myocardial infarction. *Radiographics*, 2013;33(5):1383-412.
35. Kim RJ, Wu E, Rafael A, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med*, 2000;343(20):1445-53.
36. Klein C, Nekolla SG, Bengel FM, et al. Assessment of myocardial viability with contrast-enhanced magnetic resonance imaging: comparison with positron emission tomography. *Circulation*, 2002;105(2):162-7.
37. Caforio AL, Pankuweit S, Arbustini E, et al. Current state of knowledge on aetiology, diagnosis, management, and therapy of myocarditis: a position statement of the European Society of Cardiology Working Group on Myocardial and Pericardial Diseases. *Eur Heart J*, 2013;34(33):2636-48, 2648a-2648d.
38. Gutberlet M, Lucke C, Kriehoff C, et al. [MRI for myocarditis]. *Radiologe*, 2013;53(1):30-7.
39. Abdel-Aty H, Boye P, Zagrosek A, et al. Diagnostic performance of cardiovascular magnetic resonance in patients with suspected acute myocarditis: comparison of different approaches. *J Am Coll Cardiol*, 2005;45(11):1815-22.
40. Mahrholdt H, Goedecke C, Wagner A, et al. Cardiovascular magnetic resonance assessment of human myocarditis: a comparison to histology and molecular pathology. *Circulation*, 2004;109(10):1250-8.
41. Zagrosek A, Abdel-Aty H, Boye P, et al. Cardiac magnetic resonance monitors reversible and irreversible myocardial injury in myocarditis. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2009;2(2):131-8.
42. Maron BJ, Towbin JA, Thiene G, et al. Contemporary definitions and classification of the cardiomyopathies: an American Heart Association Scientific Statement from the Council on Clinical Cardiology, Heart Failure and Transplantation Committee; Quality of Care and Outcomes Research and Functional Genomics and Translational Biology Interdisciplinary Working Groups;

- and Council on Epidemiology and Prevention. *Circulation*, 2006;113(14):1807-16.
43. Mewton N, Liu CY, Croisille P, Bluemke D, Lima JA. Assessment of myocardial fibrosis with cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol*, 2011;57(8):891-903.
  44. Hombach V, Merkle N, Bernhard P, Rasche V, Rottbauer W. Prognostic significance of cardiac magnetic resonance imaging: Update 2010. *Cardiol J*, 2010;17(6):549-57.
  45. McCrohon JA, Moon JC, Prasad SK, et al. Differentiation of heart failure related to dilated cardiomyopathy and coronary artery disease using gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance. *Circulation*, 2003;108(1):54-9.
  46. Bohl S, Wassmuth R, Abdel-Aty H, et al. Delayed enhancement cardiac magnetic resonance imaging reveals typical patterns of myocardial injury in patients with various forms of non-ischemic heart disease. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2008;24(6):597-607.
  47. Gersh BJ, Maron BJ, Bonow RO, et al. 2011 ACCF/AHA guideline for the diagnosis and treatment of hypertrophic cardiomyopathy: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*, 2011;124(24):e783-831.
  48. Moon JC, Fisher NG, McKenna WJ, Pennell DJ. Detection of apical hypertrophic cardiomyopathy by cardiovascular magnetic resonance in patients with non-diagnostic echocardiography. *Heart*, 2004;90(6):645-9.
  49. Maron MS. Clinical utility of cardiovascular magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2012;14:13.
  50. te Riele AS, Tandri H, Bluemke DA. Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC): cardiovascular magnetic resonance update. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2014;16:50.
  51. Marcus FI, McKenna WJ, Sherrill D, et al. Diagnosis of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia: proposed modification of the Task Force Criteria. *Eur Heart J*, 2010;31(7):806-14.
  52. Friedrich MG, Schulz-Menger J, Poetsch T, Pilz B, Uhlich F, Dietz R. Quantification of valvular aortic stenosis by magnetic resonance imaging. *Am Heart J*, 2002;144(2):329-34.

53. Cawley PJ, Hamilton-Craig C, Owens DS, et al. Prospective comparison of valve regurgitation quantitation by cardiac magnetic resonance imaging and transthoracic echocardiography. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2013;6(1):48-57.
54. Esposito A, De Cobelli F, Ironi G, et al. CMR in the assessment of cardiac masses: primary malignant tumors. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2014;7(10):1057-61.
55. Esposito A, De Cobelli F, Ironi G, et al. CMR in assessment of cardiac masses: primary benign tumors. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2014;7(7):733-6.
56. Dawson D, Mohiaddin R. Assessment of pericardial diseases and cardiac masses with cardiovascular magnetic resonance. *Prog Cardiovasc Dis*, 2011;54(3):305-19.
57. Kim RJ, de Roos A, Fleck E, et al. Guidelines for training in Cardiovascular Magnetic Resonance (CMR). *J Cardiovasc Magn Reson*, 2007;9(1):3-4.
58. von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Bublak A, El-Mahmoud S, Wassmuth R, Opitz C, Schulz-Menger J. Single-centre survey of the application of cardiovascular magnetic resonance in clinical routine. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2013;14(1):62-8.
59. Wassmuth R, Lentzsch S, Erdbruegger U, et al. Subclinical cardiotoxic effects of anthracyclines as assessed by magnetic resonance imaging-a pilot study. *Am Heart J*, 2001;141(6):1007-13.
60. Abdel-Aty H, Siegle N, Natusch A, et al. Myocardial tissue characterization in systemic lupus erythematosus: value of a comprehensive cardiovascular magnetic resonance approach. *Lupus*, 2008;17(6):561-7.
61. Cain MA, Metzl MD, Patel AR, et al. Cardiac sarcoidosis detected by late gadolinium enhancement and prevalence of atrial arrhythmias. *Am J Cardiol*, 2014;113(9):1556-60.
62. Greulich S, Ferreira VM, Dall'Armellina E, Mahrholdt H. Myocardial Inflammation- Are We There Yet? *Curr Cardiovasc Imaging Rep*, 2015;8(3):6.
63. Roller FC, Harth S, Schneider C, Krombach GA. T1, T2 Mapping and Extracellular Volume Fraction (ECV): Application, Value and Further Perspectives in Myocardial Inflammation and Cardiomyopathies. *Rofo*, 2015;187(9):760-770.

64. Varga A, Garcia MA, Picano E. Safety of stress echocardiography (from the International Stress Echo Complication Registry). *Am J Cardiol*, 2006;98(4):541-3.
65. Senior R, Dwivedi G, Hayat S, Lim TK. Clinical benefits of contrast-enhanced echocardiography during rest and stress examinations. *Eur J Echocardiogr*, 2005;6 Suppl 2:S6-13.
66. Suinesiaputra A, Bluemke DA, Cowan BR, et al. Quantification of LV function and mass by cardiovascular magnetic resonance: multi-center variability and consensus contours. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2015;17(1):63.
67. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2013;15:91.
68. Hundley WG, Bluemke D, Bogaert JG, et al. Society for Cardiovascular Magnetic Resonance guidelines for reporting cardiovascular magnetic resonance examinations. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2009;11:5.
69. Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J, et al. Standardized image interpretation and post processing in cardiovascular magnetic resonance: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) board of trustees task force on standardized post processing. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2013;15:35.
70. Sarji SA, Abdullah BJ, Kumar G, Tan AH, Narayanan P. Failed magnetic resonance imaging examinations due to claustrophobia. *Australas Radiol*, 1998;42(4):293-5.
71. Eshed I, Althoff CE, Hamm B, Hermann KG. Claustrophobia and premature termination of magnetic resonance imaging examinations. *J Magn Reson Imaging*, 2007;26(2):401-4.
72. Dewey M, Schink T, Dewey CF. Claustrophobia during magnetic resonance imaging: cohort study in over 55,000 patients. *J Magn Reson Imaging*, 2007;26(5):1322-7.
73. Francis JM, Pennell DJ. Treatment of claustrophobia for cardiovascular magnetic resonance: use and effectiveness of mild sedation. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2000;2(2):139-41.
74. Klein C, Gebker R, Kokocinski T, et al. Combined magnetic resonance coronary artery imaging, myocardial perfusion and late gadolinium enhancement in

- patients with suspected coronary artery disease. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2008;10:45.
75. Moon JC, McKenna WJ, McCrohon JA, Elliott PM, Smith GC, Pennell DJ. Toward clinical risk assessment in hypertrophic cardiomyopathy with gadolinium cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol*, 2003;41(9):1561-7.
  76. Ismail TF, Jabbour A, Gulati A, et al. Role of late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance in the risk stratification of hypertrophic cardiomyopathy. *Heart*, 2014;100(23):1851-8.
  77. Kuruvilla S, Adenaw N, Katwal AB, Lipinski MJ, Kramer CM, Salerno M. Late gadolinium enhancement on cardiac magnetic resonance predicts adverse cardiovascular outcomes in nonischemic cardiomyopathy: a systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2014;7(2):250-8.
  78. Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA, et al. Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *Lancet*, 2003;361(9355):374-9.
  79. Bandettini WP, Kellman P, Mancini C, et al. MultiContrast Delayed Enhancement (MCOE) improves detection of subendocardial myocardial infarction by late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance: a clinical validation study. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2012;14:83.
  80. Schwitter J, Arai AE. Assessment of cardiac ischaemia and viability: role of cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J*, 2011;32(7):799-809.
  81. Mahrholdt H, Wagner A, Judd RM, Sechtem U, Kim RJ. Delayed enhancement cardiovascular magnetic resonance assessment of non-ischaemic cardiomyopathies. *Eur Heart J*, 2005;26(15):1461-74.
  82. Jackson E, Bellenger N, Seddon M, Harden S, Peebles C. Ischaemic and non-ischaemic cardiomyopathies--cardiac MRI appearances with delayed enhancement. *Clin Radiol*, 2007;62(5):395-403.
  83. Bruder O, Schneider S, Nothnagel D, et al. Acute adverse reactions to gadolinium-based contrast agents in CMR: multicenter experience with 17,767 patients from the EuroCMR Registry. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2011;4(11):1171-6.

84. Abujudeh HH, Kosaraju VK, Kaewlai R. Acute adverse reactions to gadopentetate dimeglumine and gadobenate dimeglumine: experience with 32,659 injections. *AJR Am J Roentgenol*, 2010;194(2):430-4.
85. Hunt CH, Hartman RP, Hesley GK. Frequency and severity of adverse effects of iodinated and gadolinium contrast materials: retrospective review of 456,930 doses. *AJR Am J Roentgenol*, 2009;193(4):1124-7.
86. Wolk MJ, Bailey SR, Doherty JU, et al. ACCF/AHA/ASE/ASNC/HFSA/HRS/SCAI/SCCT/SCMR/STS 2013 multimodality appropriate use criteria for the detection and risk assessment of stable ischemic heart disease: a report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, American Heart Association, American Society of Echocardiography, American Society of Nuclear Cardiology, Heart Failure Society of America, Heart Rhythm Society, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol*, 2014;63(4):380-406.
87. van der Wall EE, Siebelink HM, Bax JJ, Schalij MJ. Cardiac magnetic resonance imaging; gatekeeper in suspected CAD? *Int J Cardiovasc Imaging*, 2011;27(1):123-6.
88. Fihn SD, Gardin JM, Abrams J, et al. 2012 ACCF/AHA/ACP/AATS/PCNA/SCAI/STS guideline for the diagnosis and management of patients with stable ischemic heart disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association task force on practice guidelines, and the American College of Physicians, American Association for Thoracic Surgery, Preventive Cardiovascular Nurses Association, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *Circulation*, 2012;126(25):e354-471.
89. Pilz G, Patel PA, Fell U, et al. Adenosine-stress cardiac magnetic resonance imaging in suspected coronary artery disease: a net cost analysis and reimbursement implications. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2011;27(1):113-21.

## **9 Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## **10 Publikation**

von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Bublak A, El-Mahmoud S, Wassmuth R, Opitz C, Schulz-Menger J. Single-centre survey of the application of cardiovascular magnetic resonance in clinical routine. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2013;14(1):62-8.

## 11 Eidesstattliche Versicherung/Anteilserklärung

„Ich, Sana El-Mahmoud, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Evaluierung des Stellenwerts der kardialen Magnetresonanztomographie in der klinischen Kardiologie“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

### Anteilserklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Sana El-Mahmoud hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Bublak A, El-Mahmoud S, Wassmuth R, Opitz C, Schulz-Menger J. Single-centre survey of the application of cardiovascular magnetic resonance in clinical routine. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2013.

Beitrag im Einzelnen:

Frau Sana El-Mahmoud hat wesentlich zur Erstellung des Manuskriptes beigetragen, insbesondere hinsichtlich des Studiendesigns, der Datenerhebung, Analyse und Interpretation sowie bei der kritischen Beurteilung des Manuskriptes.

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers/der betreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

## 12 Danksagung

Als erstes möchte ich mich gerne bei all denjenigen bedanken, die sowohl fachlich als auch zwischenmenschlich zum Fertigbringen dieser Arbeit beigetragen haben.

Frau Prof. Jeanette Schulz- Menger möchte ich danken für die Möglichkeit in ihrer Arbeitsgruppe meine Promotionsarbeit anfertigen zu dürfen und für die interessante Themenstellung.

Herzlichster Dank geht an Priv.-Doz. Dr. med. Florian von Knobelsdorff-Brenkenhoff für die hervorragende, jahrelange Betreuung.

Von ganzem Herzen danke ich meinen Eltern, die mich stets unterstützte und an mich glaubten.

Nicht zuletzt danke ich meinem Mann für seine Geduld und Zuversicht.