



# Kompetenz und Innovation in der kardiovaskulären MRT: Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung

Andreas Schuster<sup>1,2</sup> · Holger Thiele<sup>3,4</sup> · Hugo Katus<sup>5</sup> · Karl Werdan<sup>6</sup> · Ingo Eitel<sup>7</sup> · Andreas M. Zeiher<sup>8</sup> · Stephan Baldus<sup>9</sup> · Andreas Rolf<sup>10</sup> · Sebastian Kelle<sup>11,12,13</sup>

<sup>1</sup>Herzzentrum, Klinik für Kardiologie und Pneumologie, Universitätsmedizin Göttingen, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Deutschland; <sup>2</sup>Partner Site Göttingen, Deutsches Zentrum für Herz-Kreislauf-Forschung, Göttingen, Deutschland; <sup>3</sup>Herzzentrum Leipzig, Klinik für Innere Medizin und Kardiologie, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland; <sup>4</sup>Leipzig Heart Science gGmbH, Leipzig, Deutschland; <sup>5</sup>Medizinische Klinik III, Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg, Deutschland; <sup>6</sup>Klinik und Poliklinik für Innere Medizin III, Universitätsklinikum Halle (Saale), Halle (Saale), Deutschland; <sup>7</sup>Medizinische Klinik II – Universitäres Herzzentrum Lübeck, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Lübeck, Deutschland; <sup>8</sup>Klinik für Kardiologie, Universitätsklinikum Frankfurt, Frankfurt, Deutschland; <sup>9</sup>Medizinische Klinik III – Abteilung für Kardiologie, Pneumologie, Angiologie und Intensivmedizin, Universität Köln, Köln, Deutschland; <sup>10</sup>Klinik für Kardiologie, Herz-, Lungen-, Gefäß- und Rheumazentrum, Kerckhoff-Klinik, Bad Nauheim, Deutschland; <sup>11</sup>Deutsches Herzzentrum Berlin, Berlin, Deutschland; <sup>12</sup>Klinik für Innere Medizin und Kardiologie, Charité Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Deutschland; <sup>13</sup>Partner Site Berlin, Deutsches Zentrum für Herz-Kreislauf-Forschung, Berlin, Deutschland

## Zusammenfassung

Diese Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (DGK) beschäftigt sich mit der Bedeutung kardiologischer Kompetenz im Gebiet der kardiovaskulären Magnetresonanztomographie (CMR) und deren Aus- und Wechselwirkungen auf klinisches Management im Bereich der Diagnostik, Therapieplanung und Therapie von kardiologischen Patienten. Zahlreiche Innovationen sowohl im technischen als auch klinischen Bereich der CMR basieren auf Publikationen deutscher und europäischer Kardiologen und haben Einzug in die nationalen, europäischen und auch US-amerikanischen Leitlinien gefunden. Hier sollen Empfehlungen zur sicheren, qualitativ hochwertigen und kompetenten Durchführung von CMR-Untersuchungen gegeben werden, im Sinne einer optimalen Nutzung dieser Technik mit unmittelbarer klinischer Einordnung des Untersuchungsergebnisses für die Planung einer Therapiestrategie des kardiovaskulär erkrankten Patienten.

## Schlüsselwörter

Magnetresonanztomographie · Innovation · Sicherheit · Kardiovaskulär · Weiterbildung

Die Autoren A. Schuster, H. Thiele, A. Rolf und S. Kelle haben zu gleichen Teilen zum Manuskript beigetragen.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit der Texte wird in Springer-Publikationen in der Regel das generische Maskulinum als geschlechtsneutrale Form verwendet. Diese Form impliziert immer alle Geschlechter.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

## Präambel

Die Kardiologie forciert die zunehmende Spezialisierung des Faches mit dem Ziel einer qualitativ optimalen Versorgung der Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen. In diesem Zusammenhang haben sich auch die Rolle und klinische Relevanz der kardiovaskulären Bildgebung deutlich verändert. Es geht nicht mehr ausschließlich darum, nur eine Diagnose zu stellen, son-

dern vielmehr, anatomische, funktionelle und prognostische Informationen zu gewinnen, welche den Patienten dem geeigneten therapeutischen Verfahren und somit der optimalen Therapie zuführen. Ein Spezialist für kardiovaskuläre Bildgebung muss dem folgend ebenfalls umfangreiche Kenntnisse besitzen, die weit über die Anwendung des diagnostischen Verfahrens allein hinausgehen. Nur ein Arzt, der sowohl über die klinische Erfahrung

mit den typischen Symptomen und klinischen Zeichen eines Krankheitsbildes, der Physiologie und Pathophysiologie des Herzens in Ruhe und unter Stress als auch über die Kenntnis der differenzierten therapeutischen Möglichkeiten verfügt, ist in der Lage, den richtigen Test zur Diagnose auszuwählen und diejenigen Parameter abzuleiten, die Voraussetzung sind, um die individuelle Therapie des Patienten festzulegen.

Die kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie (CMR) ist ein solches Verfahren, welches das Spektrum der kardiovaskulären Diagnostik, ausgehend von vormals nur echokardiographischen Methoden, erheblich erweitert hat. Die Möglichkeit der umfassenden Gewebecharakterisierung ist derzeit ein Alleinstellungsmerkmal der CMR und beeinflusst zahlreiche Therapieentscheidungen einschließlich der Vitalitäts- und Ischämiediagnostik bei koronarer Herzerkrankung (KHK), der Indikationsstellung für einen implantierbaren Kardioverter-Defibrillator (ICD), der Kardiomyopathiediagnostik und der Planung von Interventionen bei strukturellen Herzerkrankungen als auch großen Gefäßen.

Um den wachsenden Anforderungen an den Weiterbildungskandidaten gerecht zu werden, bietet die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie (DGK) auf der einen Seite ein Zertifizierungskonzept für Kardiologen in CMR an und begrüßt auf der anderen Seite die erfolgte Aufnahme der CMR in die Weiterbildungskataloge der Landesärztekammern, in denen die CMR sowohl für Fachärzte für Innere Medizin/Kardiologie als auch als eigenständige Zusatzweiterbildung „Kardiale Magnetresonanztomographie“ bereits seit Längerem aufgenommen wurde.

Viele der Innovationen, die die CMR während der letzten fast 3 Jahrzehnte vorangetrieben haben, haben ihren Ursprung in der Kardiologie und sind maßgeblich auch durch dieses Fach in der klinischen Routine etabliert worden.

Hier sollen die Anforderungen für den Nachweis einer Kompetenz in der CMR im Kontext der klinischen Versorgung kardiovaskulär erkrankter Patienten beschrieben werden. Zudem sollen der heutige Stellenwert des Verfahrens für Fachärzte für Innere Medizin und Kardiologie und

die Bedeutung expliziten kardiologischen Fachwissens, das weit über den üblichen Status eines Radiologen hinausgeht, formuliert werden mit dem Ziel, den für den Patienten besten Einsatz des Verfahrens zu ermöglichen.

### Einleitung

Aufgrund des enormen Fortschritts in der CMR hat das Verfahren Einzug in die meisten Leitlinien der internationalen Fachgesellschaften für Kardiologie als auch das Curriculum Kardiologie der DGK gefunden [1–3]. Dies zeigt auch das breite und ständig wachsende Spektrum klinischer Indikationen der CMR, die die kardiologischen Fachgesellschaften hervorgebracht haben. Dem folgend, ist die CMR sowohl elementarer Bestandteil der Weiterbildungsordnung (WBO) zum Facharzt für Innere Medizin und Kardiologie als auch eine eigenständige Zusatzweiterbildung Kardiale Magnetresonanztomographie der (Muster-)Weiterbildungsordnung der Bundesärztekammer geworden. Darüber hinaus hat die DGK ein dreistufiges Qualifikationskonzept CMR entwickelt, das die WBO um spezielle Inhalte erweitert [4]. Dieses CMR-Curriculum der DGK ist in seinem Umfang mit internationalen Curricula der Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) oder der European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) der European Society of Cardiology (ESC) vergleichbar und muss für erweiterte Level II und III mit einer Prüfung abgeschlossen werden, die sowohl klinische als auch physikalische Inhalte des Curriculums testiert [5].

Der verantwortungsvolle Einsatz eines bildgebenden Verfahrens setzt voraus, dass die technischen Grundlagen beherrscht werden, die Indikation richtig gestellt, die Untersuchung in angemessenem Umfang durchgeführt und ein Befund erstellt wird, der nicht nur eine deskriptive Alliteration pathologischer Signalveränderungen enthält, sondern den bildgebenden Befund im klinischen Kontext würdigt, um direkte Handlungsempfehlungen ableiten zu können. Um diesem komplexen Anspruch gerecht zu werden, hat die DGK 3 Kompetenzebenen definiert, die es dem Programmkandida-

ten ermöglichen, diese Qualifikation in konsekutiven Schritten zu erwerben [4].

Der Rolle der CMR in der kardiovaskulären Diagnostik entsprechend, wird das Verfahren seit Jahren von zahlreichen Kardiologen im klinischen Alltag durchgeführt. Die Bundesärztekammer hat dem Rechnung getragen und die Zusatzweiterbildung „Kardiale Magnetresonanztomographie“ in die (Muster-)Weiterbildungsordnung aufgenommen. Diese Vorlage wurde von den meisten Landesärztekammern in die gängige Praxis übernommen [6].

Die CMR wurde durch die Kardiologie maßgeblich technisch, klinisch und wissenschaftlich entwickelt und hat durch den gezielten klinischen Einsatz die Diagnostik und Therapie vieler kardiovaskulärer Krankheitsbilder maßgebend beeinflusst. Ein wichtiger Schritt in der Etablierung der CMR in der Medizin spielte die internationale Fachgesellschaft SCMR. Seit ihrer Gründung im Jahr 1994 vertritt die Gesellschaft gleichermaßen die Interessen von Wissenschaftlern, technischem Personal und Ärzten einschließlich Kinderkardiologen, Kardiologen und Radiologen mit kardiovaskulärem Schwerpunkt. Die SCMR bietet interdisziplinär erarbeitete Leitlinien zur Durchführung [7, 8] und Befundung [9] der CMR und erlaubt der internationalen Gemeinschaft fachübergreifend eine klare Orientierung zum klinischen Einsatz der CMR in der Kardiologie. Der SCMR standen bisher 4 Kardiologen aus Deutschland als Präsidenten vor. Mit dem Kardiologen Professor Sven Plein wird im Jahr 2022 der fünfte Deutsche die Präsidentschaft der SCMR übernehmen, was die Rolle der Kardiologie im Bereich der CMR unterstreicht und Innovation in diesem Bereich befördert hat.

In dieser Stellungnahme werden die Voraussetzungen für das sichere Durchführen der Untersuchungen und die notwendigen Kompetenzlevel aus Sicht der DGK dargestellt. Weiterhin werden die Innovationen im Bereich der CMR, die im Wesentlichen dazu beigetragen haben, dass die CMR in der Mehrheit der kardiologischen Leitlinien ihren Platz gefunden hat, erläutert.

## Kompetenzstufen im CMR-Curriculum der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie

### Allgemeines

Voraussetzung für die Aufnahme in das Programm sind mindestens 12 Monate Erfahrung mit anderen bildgebenden Verfahren, in der Regel der Echokardiographie. Die Ausbildung kann vor Erlangung des Facharztstatus begonnen werden, die Ausstellung der Zusatzqualifikation ist aber Fachärzten für Innere Medizin/Kardiologie vorbehalten. Dies sichert eine breite klinische Qualifikation der Kardiologen, die CMR selbstständig und eigenverantwortlich durchführen.

Hier sehen wir ein wichtiges Qualitätsmerkmal der Kardiologen, welche auf diese Weise profund ausgebildet sind, die Befunde der CMR nicht nur zu erkennen, sondern auch im Kontext der Grunderkrankung und möglicher Therapien einzuordnen – ein Alleinstellungsmerkmal der klinisch den Patienten direkt betreuenden Disziplin. In der Weiterbildungsordnung der Radiologie ist eine klinische Ausbildung nur noch fakultativ gegeben, sodass die meisten radiologischen Kollegen keinerlei klinische Erfahrung mit Herzerkrankungen haben, was in der Vielzahl der Fälle dazu führt, dass rein deskriptive Befunde ohne klinischen Bezug produziert werden. Darin liegen 2 wesentliche Gefahren, zum einen können harmlose Befunde zu einer Überinterpretation der klinischen Relevanz führen, zum anderen liegt darin die Gefahr unnötiger Folgeuntersuchungen mit der Folge potenzieller Risiken für den Patienten und insbesondere erhöhter Kosten. Dies gilt gleichermaßen für kardiologische Befunde wie auch zufällige Nebenbefunde [10].

Die Zertifizierung der DGK setzt den Facharztstatus voraus. Das bedeutet, dass ein Kardiologe, der die Zusatzqualifikation erhält, bereits breite Erfahrung auch mit alternativen Untersuchungsverfahren (Echokardiographie, invasive Diagnostik [Herzkatheter], kardiovaskuläre Computertomographie) hat. Insbesondere die Ausbildung in der Echokardiographie hilft, die CMR zu verstehen und zu stratifizieren. Ein Mismatch computergenerierter Funktionsanalysen und der visuellen Funktion wird sofort offenkundig. Auch aktuell

propagierte AI-gestützte Auswertungen bildgebender Verfahren werden die Befundung sicher erleichtern, jedoch nicht die Erfahrungswerte und Beurteilung für den Patienten ersetzen können [11]. So ist die Ausbildung im Herzkatheterlabor eine wichtige Voraussetzung, um Perfusionsstudien zu beurteilen und in der Vitalitätsdiagnostik auch zu erkennen, welche Myokardsegmente welchem Versorgungsgebiet zuzuordnen sind. So kann ein Kardiologe z. B. über die Aussage „Vitalität“ in der inferioren Wand hinausgehen und erkennen, ob eine Revaskularisierung der rechten Koronararterie (RCA) Sinn macht oder nicht.

Neben der klinischen Orientierung ist die Erfahrung im Katheterlabor auch in anderer Hinsicht wichtig. Hier hat der Kardiologe gelernt, mit den Risiken ionisierender Strahlung umzugehen und das ALARA („As Low As Reasonably Achievable“) -Prinzip anzuwenden; ein wichtiges und auch qualitätsgesichertes Training, um zwischen Risiken und Nutzen des Verfahrens abzuwägen. Zusätzlich ist eine der Voraussetzungen auch das Vorliegen einer Sach- und Fachkunde im Bereich Röntgen, insbesondere im Katheterlabor oder Hybrid-OP, welche alle klinisch tätigen Kardiologen durch die zuständigen Landesärztekammern nachweisen können.

Die Deutsche Röntgengesellschaft (DRG) weist in einem aktuellen Positionspapier auf den richtigen Umgang mit aktiven und passiven Implantaten hin [12]. Gerade das ist eine Kernkompetenz des Facharztes für Innere Medizin und Kardiologie, der nicht nur die Notwendigkeit einer speziellen Programmierung von Schrittmacher- und Defibrillatoraggregaten erkennt, sondern diese auch selbst durchführen kann. Unter Federführung der DGK sind zu dieser komplexen Thematik 2 Publikationen entstanden, die dem Kliniker einen Leitfaden an die Hand geben [13, 14].

Eine mindestens 6-monatige Ausbildung in Intensivmedizin ist integraler Bestandteil der kardiologischen Facharztbildung. Ein Kardiologe ist daher mit möglichen pharmakologischen Nebenwirkungen der applizierten Gadoliniumchelate oder Vasodilatoren im Rahmen der CMR-Untersuchung vertraut und kann betroffene Patienten umgehend versorgen.

Die Versorgung der von der DRG richtig benannten Komplikationen wie Anaphylaxien, bradykarde Herzrhythmusstörungen und akute respiratorische Zwischenfälle sind eine Kernkompetenz des Kardiologen und erhöhen die Sicherheit des Patienten, wenn die Untersuchung von einem qualifizierten Kardiologen durchgeführt wird [12].

Ein Kardiologe ist immer auch Facharzt für Innere Medizin. Sogenannte Zufallsbefunde oder Inzidentalome in der CMR sind für den Kardiologen also nicht nur Rundherde auf einem DICOM-Bild, sondern Krankheitsbilder, die selbstverständlicher Teil der Facharztausbildung gewesen sind und entsprechend den Leitlinien interdisziplinär weiterführend diagnostiziert und therapiert werden. Das Erkennen und Einordnen von Inzidentalomen als auch die Indikationsstellung für eine mögliche weitere Diagnostik gehören ebenfalls zur Ausbildung des Kardiologen in der Befundung von CMR-Untersuchungen.

In Umfang und Inhalt entspricht die Qualifikation der DGK hier den internationalen Standards von SCMR und EACVI der ESC (s. ■ Tab. 1).

### Stufe I

Die Qualifikation auf Stufe I soll dem Kardiologen vor allen Dingen helfen, die richtige Indikation zu stellen. Inhalt der strukturierten, curricularen Weiterbildung sind Sicherheitsaspekte und ein Überblick über die verschiedenen Indikationen und die MRT-Sequenzen, die erforderlich sind, um die richtigen Antworten auf eine entsprechende kardiovaskuläre Fragestellung zu geben. Das theoretische Wissen, das sowohl in der Weiterbildungsstätte als auch in Kursen erworben werden muss, wird durch die praktische Schulung an 50 Fällen des gesamten Indikationsspektrums unterstützt.

### Stufe II

Die Stufe II soll den Kardiologen befähigen, die Untersuchung selbstständig zu planen, durchzuführen und zu befunden. Mindestens 50 der geforderten Untersuchungen müssen als sog. „primärer Untersucher“ absolviert werden, d. h. der Programmkandidat muss die Untersuchung

**Tab. 1** Übersicht über die Anforderungen der unterschiedlichen Fachgesellschaften zur Zertifizierung in der kardiovaskulären MRT (CMR)

**Zertifizierungsanforderungen der Fachgesellschaften (Übersicht)**

|  | DGK aktuell <sup>a</sup> | DGK 2014 | EACVI | SCMR | DRG  |
|--|--------------------------|----------|-------|------|------|
| <i>Anzahl Fälle</i>                            |                          |          |       |      |      |
| Stufe I  | 50                       | 50       | k.A.  | 50   | 30   |
| Stufe II                                       | 200                      | 150      | 150   | 150  | 250  |
| Stufe III                                      | 500                      | 300      | 300   | 300  | 400  |
| <i>Dauer der Ausbildung (in Monaten)</i>       |                          |          |       |      |      |
| Stufe I  | 1                        | 1        | k.A.  | 1    | k.A. |
| Stufe II                                       | 3                        | 3        | 3     | 3    | k.A. |
| Stufe III                                      | 12                       | 12       | 12    | 12   | k.A. |
| <i>Kurse (in CME-Punkten)</i>                  |                          |          |       |      |      |
| Stufe I  | 8                        | 7        | k.A.  | k.A. | 8    |
| Stufe II                                       | 8                        | 17       | k.A.  | k.A. | 8    |
| Stufe III                                      | 16                       | 17       | k.A.  | k.A. | k.A. |
| <i>Minimaler Präsenzanteil (in Wochen)</i>     |                          |          |       |      |      |
| Stufe I  | 0                        | 4        | 0     | 0,3  | k.A. |
| Stufe II                                       | 4                        | 12       | 12    | 6    | k.A. |
| Stufe III                                      | 12                       | 52       | 52    | 52   | k.A. |
| Stufe III (bei High-volume-Zentrum)            | 8                        | k.A.     | k.A.  | k.A. | k.A. |
| <i>Maximal möglicher Zeitraum (in Monaten)</i> |                          |          |       |      |      |
| Stufe I  | 6                        | k.A.     | k.A.  | k.A. | k.A. |
| Stufe II                                       | 24                       | 60       | 24    | k.A. | k.A. |
| Stufe III                                      | 36                       | 60       | 24    | 36   | k.A. |
| <i>Kleinste Untereinheit (in Wochen)</i>       |                          |          |       |      |      |
| Stufe I  | 0                        | k.A.     | 0     | k.A. | k.A. |
| Stufe II                                       | 1                        | 4        | 1     | k.A. | k.A. |
| Stufe III                                      | 1                        | 4        | 1     | k.A. | k.A. |
| <i>CME-Punkte insgesamt</i>                    |                          |          |       |      |      |
| Stufe I  | 8                        | 20       | k.A.  | k.A. | k.A. |
| Stufe II                                       | 16                       | 50       | 25    | 50   | 24   |
| Stufe III                                      | 50                       | 50       | 50    | 50   | 38   |
| <i>Abschlussprüfung</i>                        |                          |          |       |      |      |
| Stufe I  | 0                        | 0        | 0     | 0    | 0    |
| Stufe II                                       | 1                        | 1        | 1     | 0    | 1    |
| Stufe III                                      | (1)                      | 1        | 1     | 0    | 0    |

DGK Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, EACVI European Association of Cardiovascular Imaging, SCMR Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, DRG Deutsche Röntgengesellschaft, k.A. Keine Angabe

<sup>a</sup> „DGK aktuell“ beschreibt die aktuellen Anforderungen der DGK für die Zertifizierung, die in 2021 in *Der Kardiologie* veröffentlicht werden

direkt am Scanner trainieren. So soll sichergestellt werden, dass auch das physikalische Verständnis vertieft wird und der Kandidat lernt, Artefakte zu erkennen und zu vermeiden, um eine hohe Qualität der akquirierten Bilder zu gewährleisten. Es werden alle klinischen Inhalte vermittelt, um einen validen Befund zu erstellen, der den Patienten auf den richtigen Behandlungspfad leitet.

### Stufe III

Die dritte Stufe ist das höchste Niveau der Zusatzqualifikation CMR und soll dem Kardiologen ermöglichen, den Funktionsbereich CMR auch selbstständig eigenverantwortlich zu leiten. Sowohl zur Erlangung der Stufe II als auch der Stufe III ist das Bestehen einer Klausur erforderlich, die Prüfung physikalischer Grundlagen, klini-

scher Anwendungen sowie von Artefakten und Nebenbefunden enthält.

### Die Kardiale MRT in der Musterweiterbildungsordnung

Schon in der Weiterbildung zum Facharzt für Innere Medizin und Kardiologie ist die CMR fest verankert, indem ein angehender Facharzt mindestens 50 CMR vorweisen muss, bevor er zur Facharztprüfung zugelassen werden kann (s. [Tab. 2](#)). Hier gilt ebenfalls, dass 10 davon als primärer Untersucher absolviert werden müssen. Schon vor der Spezialisierung sind also Grundkenntnisse der CMR gefordert, dies vor allen Dingen vor dem Hintergrund, die richtige Indikation zur Durchführung der CMR zu stellen auch und gerade in der Abgrenzung zur Echokardiographie, invasiven Koronardiagnostik und kardiovaskulären Computertomographie. Damit hat die CMR einen selbstverständlichen Stellenwert in der kardiologischen Weiterbildung erreicht. Diese CMR-Weiterbildungsinhalte sind nach konstruktiver Diskussion mit der DGK in die Weiterbildungsinhalte der Bundesärztekammer eingeflossen, sodass die Weiterbildungsinhalte mit dem Curriculum Kardiologie der DGK [3] konform sind.

Darüber hinausgehend ist in der Musterweiterbildungsordnung eine Zusatzweiterbildung „Kardiale Magnetresonanztomographie“ verankert, die Kardiologen offen steht und eine 12-monatige Weiterbildungszeit sowie den Nachweis von 500 CMR erfordert (s. [Tab. 2](#)). Während in der Weiterbildungsordnung zum Facharzt für Radiologie zwar insgesamt 3000 MRTs verlangt werden, die sich auf einen Kanon mehrerer Organregionen verteilen, wird *keine* Mindestzahl an Untersuchungen für ein Organsystem gefordert. Zusätzlich ist es auch nicht erforderlich, Untersuchungen an allen Organsystemen nachzuweisen. Somit ist laut Weiterbildungsordnung Radiologie der Erwerb des radiologischen Facharztes möglich ohne Exposition im Bereich der CMR. Die Weiterbildungsordnung der Landesärztekammern für die kardiologische Zusatz-Weiterbildung „Kardiale Magnetresonanztomographie“ verlangt hingegen die Befundung von 500 CMR in einem Jahr im Rahmen der Weiterbildung an

**Tab. 2** Übersicht über die Anforderungen der Landesärztekammern im Bereich der kardiovaskulären Magnetresonanztomographie (CMR)

|   | Kardiologie<br>Facharzt <sup>a</sup>         | Kardiologie<br>Zusatzweiterbildung<br>„Kardiale Magnet-<br>resonanztomographie“ | Radiologie<br>Facharzt <sup>b</sup>          |
|---|--|---|--|
| Mindestanzahl CMR Untersuchungen          | 50   | 500   | 0  |
| Primärer Untersucher                      | 10   | 500   | 0  |
| Spezifische Weiterbildungszeit in CMR     | Nicht erforderlich                           | 12 Monate Vollzeit  | Nicht erforderlich                           |
| Anforderungen an die Weiterbildungsstätte | Keine  | >10 CMR pro Woche   | Keine  |
| Spezifische mündliche Prüfung in CMR      | Nein (Prüfung im Rahmen der Facharztprüfung) | Ja  | Nein (Prüfung im Rahmen der Facharztprüfung) |

<sup>a</sup>Facharzt/Fachärztin für Innere Medizin und Kardiologie  
<sup>b</sup>Facharzt/Fachärztin für Radiologie

einem Zentrum, das mindestens 10 CMR pro Woche durchführt, während im Ausbildungscurriculum der Radiologie ein weitaus größerer Zeitraum zur Erlangung der MRT-Zahlen, welche nicht zwangsläufig CMR beinhalten müssen, zur Verfügung steht (s. **Tab. 2**).

Die DRG bietet zwar unabhängig vom radiologischen Facharzt eine gesonderte Weiterbildung „Zusatzqualifizierung Kardiovaskuläre Radiologie“ an und definiert hier Qualifizierungsstufen (Q1–Q3), allerdings wird hier keinerlei klinische Expertise oder kardiologisches Fachwissen, welches über die Generierung und Beurteilung der Bilder hinausgeht, gefordert (s. **Tab. 1**). Zusätzlich wird nicht explizit gefordert, dass die zur Anerkennung nachzuweisenden Untersuchungen unter Aufsicht eines in der CMR selbst erfahrenen Kollegen erbracht wurden. Hier reicht allein der allgemeine Facharzt für Radiologie aus, um diese Zahlen zu bescheinigen. Dies eröffnet die Möglichkeit, CMR-Untersuchungen durchzuführen ohne kompetente Anleitung und ohne erfahrenen CMR-Befunder sowie ohne nachfolgende Bescheinigung dieser Untersuchungen. Das Qualifizierungssystem der Radiologen lässt auf Stufe Q3 insgesamt 5 Jahre Zeit, um die Untersuchungen zu erwerben, 100 Untersuchungen müssen innerhalb der letzten 24 Monate nachgewiesen werden. Es reicht dementsprechend 1 CMR pro Woche aus, um als „Experte“ qualifiziert zu werden. Auch für die Anerkennung als Zentrum ist eine

Mindestanzahl von 50 CMR per anno ausreichend. Insgesamt ist also davon auszugehen, dass ein Kardiologe, der die Weiterbildungskriterien erfüllt hat, eine sehr viel intensivere Weiterbildung auf dem Gebiet genossen hat. Die Inhalte des Weiterbildungskatalogs für Fachärzte Innere Medizin/Kardiologie decken das gesamte CMR-Spektrum ab, welches auch von der DRG gefordert wird [12]. Die Etablierung der Qualifizierungsstufen der DRG (Q1–Q3) macht nur deutlich, dass sehr wohl auch aufseiten der radiologischen Kollegen erkannt wurde, dass die Facharzt Ausbildung allein nicht in der Lage ist, das notwendige Wissen für Indikationsstellung/Durchführung und Auswertung von CMR-Untersuchungen ausreichend abzubilden. Laut der offiziellen Zahlen haben sich bisher von den radiologischen Kollegen jedoch erst ca. 10% zusätzlich qualifiziert [15]. Dies spiegelt ggf. auch die Unsicherheit/fehlende Weiter-/Fortbildung hinsichtlich der im Vergleich zu MRT-Untersuchungen von Extremitäten deutlich komplexeren Befundung wider. Daher findet sich auch in vielen Empfehlungen der DRG zur Durchführung/Befundung von CMR-Untersuchungen der Hinweis auf die enge Kooperation und Abstimmung mit kardiologischen oder kinder-kardiologischen Kollegen [16, 17]. Zusätzlich haben die Komplexität der Krankheitsbilder und deren Therapiemöglichkeiten innerhalb der Kardiologie in den letzten Jahren erheblich zugenommen, sodass am Beispiel der strukturellen Herz-

erkrankungen und damit einhergehender Diagnostik, Planung der Prozeduren sowie diagnostischer Therapiekontrolle exemplarisch dargestellt werden kann, welche Expertise vorhanden sein muss, damit kardiologische Patienten optimal und entsprechend den heutigen Möglichkeiten/Kenntnisstand versorgt werden können [18].

Ein Abschnitt der Muster-Weiterbildungsordnung „kardiale Magnetresonanztomographie“ widmet sich ausdrücklich dem strahlenbiologischen Schutz bei Anwendung nicht ionisierender Strahlung inklusive der Vermittlung von technischen Möglichkeiten, die sog. spezifische Absorptionsrate zu vermindern. In diesem Zusammenhang wird ausdrücklich auch auf das Prüfen alternativer diagnostischer Verfahren hingewiesen, gerade hier liegt eine der Stärken der Kardiologen, die selbst im Rahmen der Facharztausbildung in alternativen Techniken ausgebildet wurden, beispielsweise der Stressechokardiographie zur Frage der Ischämiediagnostik.

Der zweite Abschnitt der Zusatz-Weiterbildung „Kardiale Magnetresonanztomographie“ fokussiert auf alle Aspekte der MR-Technik. Dies soll sicherstellen, dass Kardiologen auch in der Planung und Durchführung der Untersuchung geübt sind. Hier sei noch mal auf die Vermeidung von Artefakten hingewiesen sowie die Sicherheitsmaßnahmen im Scannerraum und in der Auswahl der Scanparameter.

Der dritte Abschnitt der Zusatz-Weiterbildung „Kardiale Magnetresonanztomographie“ nimmt Bezug auf die Sicherheit und die möglichen Komplikationen in Zusammenhang mit Gadolinium und Pharmaka zur Perfusions- und Ischämiediagnostik, beides aufgrund der notfall- und intensivmedizinischen Erfahrung ohnehin Kernkompetenz der Kardiologen.

Erst der vierte Abschnitt definiert die Anforderungen an die Befundung und beinhaltet auch das Wissen um inzidentelle Befunde.

### Sichere Durchführung der kardiovaskulären MRT

Im klinischen Alltag ist für die Abschätzung des individuell am besten geeigneten Tests das Wissen um die Vortestwahrscheinlichkeit einer Erkrankung wichtig. Dies erfolgt

im Idealfall basierend auf der klinisch kardiologischen Anamnese sowie vorherigen Untersuchungsergebnissen des Patienten. Um eine größtmögliche Sicherheit für den kardiovaskulären Patienten zu gewährleisten, gehören dazu auch die Wertung der Laborwerte, vorheriger Tests sowie die Einschätzung des Erfolgs bisheriger kardiologischer Therapien. Dies ist – auch im Hinblick auf die sich schnell ändernden internationalen Empfehlungen und auch auf das Angebot der konservativen als auch interventionellen Therapie – fundiert nur mit dem entsprechenden Fachwissen möglich. Insbesondere die Einschätzung früherer Interventionen sowie der zu erwartende Nutzen für den Patienten durch eine CMR sind hier von Relevanz. Neben der klinischen Evaluation des Patienten, dem kritischen Review der aktuellen Literatur sowie der Leitlinien ist auch das Ziel einer CMR, die Optimierung/Änderung der Therapie und/oder Verbesserung der Prognose als auch der Lebensqualität des Patienten zu erreichen. Um dies zu gewährleisten, ist ein fundiertes kardiologisches Fachwissen zusammen mit einer curricularen Weiterbildung im Bereich CMR im Sinne der optimalen Patientenversorgung essenziell. International steht daher nicht primär der initiale Facharzt im Fokus, sondern die ausgewiesene/zertifizierte Expertise zur Durchführung einer CMR. Ist z. B. bei einer gegebenen klinischen Indikation die Wahl der Untersuchungsmodalität zu hinterfragen, kann dies innerhalb von kardiologisch versierten Fachärzten diskutiert und im Sinne des Patienten die passende Modalität gewählt werden.

Für die Diagnostik ist für die CMR nicht nur die Qualität des EKG wichtig zur Akquise aussagekräftiger Bilddaten, sondern auch die Erkennung von Herzrhythmusstörungen vor der CMR-Untersuchung und insbesondere auch während der Durchführung von Stress-MRT-Untersuchungen. Beides ist essenzieller Bestandteil einer kardiologischen Weiterbildung inklusive der Programmierung von Schrittmacher und ICD/CRT-Devices, die mittlerweile schon seit vielen Jahren auch unter den entsprechenden Bedingungen [13, 14] keine absolute Kontraindikation mehr für eine CMR-Untersuchung darstellen. Die Gabe von gadoliniumhaltigen Kontrastmitteln wird derzeit in Studien [19]

untersucht und zum Wohle des Patienten der Gebrauch auch deutlich reduziert, bzw. es werden neue Verfahren erprobt, evtl. ganz auf Kontrastmittel sowie ggf. auch auf Stress-induzierende Medikamente zu verzichten [20]. Dies setzt eine sehr gute Kenntnis der Pathophysiologie kardiologischer Erkrankungen voraus. Der Schutz der Patienten setzt jedoch schon bei der Wahl des angemessenen Untersuchungsverfahrens ein. In der aktuellen (Muster-)Weiterbildungsordnung für den Facharzt für Innere Medizin und Kardiologie und ebenso im Curriculum Kardiologie der DGK ist daher die CMR fester Bestandteil der Weiterbildung, um auch gegenüber den anderen bildgebenden Verfahren in der Kardiologie den optimalen Test festzulegen; auch um für den Patienten unnötige Untersuchungen zu vermeiden und um damit Ressourcen zu schonen.

Zudem wird in der Kardiologie besonderer Wert auf eine zeitnahe Befundung gelegt. In der Kardiologie ist es guter Standard, Echokardiographie-, Herzkatheter-, Computertomographie- und auch CMR-Befunde unmittelbar nach der Beendigung der Untersuchung anzufertigen, was eine rasche Therapieplanung in der Kardiologie garantiert und damit Ressourcen im Gesundheitswesen schont.

Darüber hinaus haben sich im Gegensatz zu anderen Fachgebieten in der Kardiologie in den letzten Jahren mehr als 10% aller Fachärzte zusätzlich zu ihrer Weiterbildung entsprechend der (Muster-)Weiterbildungsordnung durch eine curriculare Weiterbildung der DGK zertifizieren lassen. Im Bereich der CMR stehen zudem in Deutschland 53 zertifizierte Stätten zur Verfügung, in denen die CMR Untersuchungen nach den Standards der DGK durchgeführt werden und Kardiologen gemäß dem DGK Curriculum „Kardiale Magnetresonanztomographie (CMR)“ ausgebildet werden [4, 21].

### MRT-Innovationen in der Kardiologie

Im Folgenden sollen wesentliche Innovationen der letzten Jahre im Bereich der MRT in der Kardiologie kurz dargestellt werden. Exemplarisch soll der wissenschaftliche Beitrag der Kardiologie in den Bereichen Ischämiediagnostik, Gewebe-

charakterisierung, Wandbewegungsanalyse, Echtzeit Belastungs-MRT, myokardiale Energetik, Plaque-Imaging, 4-D-Fluss und interventionelle MRT Berücksichtigung finden.

Neben der Dobutamin-Stress-MRT zur Diagnostik der Vitalität [22] und Ischämie [23] hat sich v. a. die Adenosin-Stress-MRT zur Ischämiediagnostik durchgesetzt [24]. In diesem Bereich haben neben der Feststellung der exzellenten diagnostischen Genauigkeit [25] die prospektiven randomisierten Studien zum Vergleich mit der Myokardszintigraphie [26–28] und kürzlich mit der invasiven FFR [29] die Einordnung dieses Verfahrens als Klasse-I-Indikation in den europäischen Leitlinien erlaubt [30]. Wesentliche Weiterentwicklung in diesem Gebiet stellt die Entwicklung der quantitativen Verfahren dar, die es erlauben, die Myokardperfusion in ml/min/Gramm Myokard zu beschreiben und nicht mehr als (visuell) qualitativ geringere perfundierte Bereiche [31]. Darüber hinaus gelingt durch künstliche Intelligenz verstärkten Analyseverfahren eine sehr genaue Abschätzung der Prognose, basierend auf den quantitativen Messwerten [32].

Ein wesentlicher Teil der Innovation im Bereich der CMR ist der Übergang der qualitativen Beurteilung von Änderungen der Gewebebeschaffenheit hin zur vollen quantitativen Messung und Detektion bereits kleiner Veränderungen [33]. Diese Techniken basieren auf den absoluten T1- und T2-Zeiten und erlauben eine sehr genaue Beurteilung von Herzmuskelentzündungen [34] und Kardiomyopathien [35–38]. Die SCMR gibt auch hier klare Empfehlungen zur Durchführung, Interpretation und Befundung [39]. Darüber hinaus erlaubt die CMR ebenfalls eine sehr genaue Abschätzung der Funktion, des Gewebes Schadens und der Prognose nach akutem Myokardinfarkt [40]. Mittels T1- und T2-gewichteter Sequenzen gelingt die Quantifizierung der „area at risk“ und des „myocardial salvage“ des durch Intervention geretteten Myokards [41]. Zusätzlich erlaubt die CMR eine genaue Einordnung von ischämischen Kardiomyopathien und erleichtert das klinische Management hinsichtlich Therapiesteuerung und Intervention [42, 43].

Die CMR ist der Referenzstandard für die Bestimmung der myokardialen Volumina und der daraus abgeleiteten systolischen Funktion [44]. Neben der Bestimmung der Volumina-basierten Funktion erlauben Sequenz- und SSFP-basierte Verfahren eine sehr genaue Quantifizierung mittels Deformationsanalyse [45]. Bei den sequenzbasierten Verfahren hat sich v. a. das sog. Fast-SENC-Verfahren [46] und bei den SSFP-basierten das sog. „feature“ oder „tissue tracking“ durchgesetzt [47]. Vorteil ist hier die Möglichkeit neben der Quantifizierung der Ventrikelfunktion die Erruierung der Vorhoffunktion, die z. B. nach akutem Myokardinfarkt einen zusätzlichen diagnostischen und prognostischen Nutzen gezeigt hat [48–50].

Eine weitere innovative Anwendung der CMR ist die Untersuchung in Echtzeit unter physiologischer Belastung. Ursprünglich für kinderardiologische Indikationen entwickelt [51], stellt die Echtzeit-Belastungs-MRT v. a. für Patienten mit diastolischer Herzinsuffizienz und erhaltener systolischer Funktion ein neues attraktives nichtinvasives Untersuchungsverfahren mit hoher diagnostischer Genauigkeit dar [52].

MRT-basierte Untersuchungen des Energiestoffwechsels und der biologischen Aktivität stellen eine wesentliche Erweiterung der Indikationen der CMR dar. Die Spektroskopie zur Diagnostik der myokardialen Energetik erlaubt dezidierte Beurteilung der Metabolik bei der Herzinsuffizienz und anderen kardiovaskulären Erkrankungen [53, 54]. Darüber hinaus ermöglichen unterschiedliche MRT-Techniken neben der Visualisierung der Koronar Anatomie [55] die Darstellung intrakoronarer Thromben [56] oder vulnerabler koronarer Plaques [57].

Auch mittels 4-D-Flussmessungen können myokardiale Energetik, Shunt-Vitien und Herzklappenfehler beurteilt werden [58].

Ein weiterer Bereich der MRT-Innovation ist die interventionelle MRT, welche eine strahlenfreie Alternative zur Herzkatheteruntersuchung darstellt [59], MRT-gesteuerte gezielte Myokardbiopsien erlaubt [60] und in der MRT-basierten elektrophysiologischen Ablation ihre Anwendung findet [61].

Abschließend haben diese maßgeblich durch die Kardiologie beförderten Innovationen ihre sinnvolle Anwendung im Bereich der myokardialen Mitbeteiligung im Rahmen der SARS-CoV-2-Infektion gefunden und viel zum Verständnis der Pathomechanismen der globalen Pandemie beigetragen [62–65].

## Ausblick

Aus Sicht der DGK ist es essenziell, Kompetenzlevel zu definieren, die das sichere Durchführen der Untersuchung inklusive der Versorgung von Komplikationen und eine Einbettung der gewonnenen Informationen in das klinische Management erlauben. Das Gebiet der CMR involviert unterschiedliche Fachrichtungen einschließlich Kinderkardiologie, Radiologie und Kardiologie. Die Expertise des kardiovaskulären Bildgebers steht aus Sicht der DGK im Vordergrund, und hier müssen dringend fachübergreifende Mindestanforderungen definiert werden, um eine bestmögliche, ressourcenschonende und für den Patienten maximal sichere CMR-Untersuchung zu gewährleisten. Ein Beispiel, wie dieses sinnvoll gelebt werden kann, stellt aus unserer Sicht die Weiterbildung im Bereich der kardiovaskulären Computertomographie (CT) der Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT) dar. In dieser wird explizit für die auszubildenden Radiologen und Kardiologen eine individuelle Weiterbildung definiert. Damit wird sichergestellt, dass der kardiovaskuläre Bildgeber gleichermaßen über technische und klinische Kompetenzen verfügt [66].

Aus Sicht der DGK ergeben sich folgende Anforderungen an den kardiovaskulären Bildgeber, die exemplarisch für das Gebiet der CMR dargestellt sind:

- Grundlage für das Erlangen von Kompetenz in der kardiovaskulären Bildgebung sollte ein Curriculum mit definierten Inhalten, selbst erbrachten Untersuchungszahlen und am Ende einer Prüfung sein.
- Der kardiovaskuläre Bildgeber aus dem Bereich Kinderkardiologie und Kardiologie sollte eine Zusatzqualifikation im Bereich CMR haben, z. B. durch entsprechende Zertifikate der Fachgesellschaften, die vorbereitend und auch erweiternd sein können für

eine spezifische Zusatzweiterbildung der Landesärztekammern.

- Eine große Zahl an Weiterbildungern für die CMR sollte etabliert werden.
- Da in der Facharztausbildung der Radiologen weder Zeiten noch Untersuchungszahlen von CMR verankert sind, sollte für den kardiovaskulären Bildgeber aus der Radiologie eine Zusatzweiterbildung im Gebiet CMR etabliert werden, wie dies z. B. bei den Kardiologen im Bereich der Intensivmedizin üblich ist und aus Qualitätsgründen auch gefordert wird.
- Bei definiertem Curriculum und Nachweis der Kompetenz in CMR sollte eine Zertifizierung fächerübergreifend durch die Landesärztekammern ermöglicht werden.

## Korrespondenzadresse



### Prof. Dr. med. Andreas Schuster

Herzzentrum, Klinik für Kardiologie und Pneumologie, Universitätsmedizin Göttingen, Georg-August-Universität Göttingen  
Robert-Koch-Str. 40, 37099 Göttingen, Deutschland  
andreas.schuster@med.uni-goettingen.de

**Interessenkonflikt.** A. Schuster, H. Thiele, H. Katus, K. Werdan, I. Eitel, A.M. Zeiher, S. Baldus, A. Rolf und S. Kelle geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

1. v Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Pilz G, Schulz-Menger J (2017) Representation of cardiovascular magnetic resonance in the AHA/ACC guidelines. *J Cardiovasc Magn Reson* 19(1):70. <https://doi.org/10.1186/s12968-017-0385-z>. PMID: 28942735; PMCID: PMC5611635
2. v Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Schulz-Menger J (2016) Role of cardiovascular magnetic resonance in the guidelines of the European Society of Cardiology. *J Cardiovasc Magn Reson* 18:6

3. Werdan K, Baldus S, Bauersachs J et al (2020) Curriculum Kardiologie. *Kardiologie* 6:505–536 (2. aktualisierte Auflage)
4. Hombach V, Kelle S, Gebker R et al (2014) Curriculum Kardiale Magnetresonanztomographie (CMR). *Kardiologie* 8:451–461
5. Kim RJ, Simonetti OP, Westwood M et al (2018) Guidelines for training in cardiovascular magnetic resonance (CMR). *J Cardiovasc Magn Reson* 20:57
6. Bundesärztekammer (2018) Ärztetag D. Musterweiterbildungsordnung 2018. In: Bundesärztekammer (Hrsg) MWBO 2018. Bundesärztekammer, 7. Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J et al (2020) Standardized image interpretation and post-processing in cardiovascular magnetic resonance—2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 22:19
8. Kramer CM, Barkhausen J, Bucciarelli-Ducci C, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E (2020) Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 22:17
9. Hundley WG, Bluemke D, Bogaert JG et al (2009) Society for Cardiovascular Magnetic Resonance guidelines for reporting cardiovascular magnetic resonance examinations. *J Cardiovasc Magn Reson* 11:5
10. Berland LL, Silverman SG, Gore RM et al (2010) Managing incidental findings on abdominal CT: white paper of the ACR incidental findings committee. *J Am Coll Radiol* 7:754–773
11. Schuster A, Lange T, Backhaus SJ et al (2020) Fully automated cardiac assessment for diagnostic and prognostic stratification following myocardial infarction. *J Am Heart Assoc* 9:e16612
12. Hunold P, Bucher AM, Sandstede A et al (2021) Statement of the German Roentgen Society, German Society of Neuroradiology, and Society of German-speaking Pediatric Radiologists on Requirements for the Performance and Reporting of MR Imaging Examinations Outside of Radiology. *Rofo Fortschr Gebiet Röntgenstrahlen Bildgeb Verfahr.* <https://doi.org/10.1055/a-1463-3626>
13. v Knobelsdorff F, Bauer WR, Busch S et al (2021) Sicherheit von nicht-aktiven kardiovaskulären Implantaten bei MRT-Untersuchungen – Update 2021. *Kardiologie*. 15:262–271. <https://doi.org/10.1007/s12181-021-00474-9>
14. v Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Bauer WR, Deneke T et al (2019) Empfehlungen zu kardialen MRT-Untersuchungen bei Patienten mit Herzschrittmachern und implantierbaren Kardioverter-Defibrillatoren. *Kardiologie* 13:75–86
15. Homepage DRG Home | AG Herz- und Gefäßdiagnostik (drg.de) sowie Ärztestatistik zum 31. Dezember 2020, Bundesärztekammer mit Anzahl der radiologischen und kard. Fachärzte. Zugegriffen: 17.06.2021
16. Achenbach S, Barkhausen J, Beer M et al (2012) Konsensempfehlungen der DRG/DGK/DGPK zum Einsatz der Herzbildgebung mit Computertomographie und Magnetresonanztomographie. *Kardiologie* 6:105–125
17. Sommer T, Bauer W, Fischbach K et al (2017) MR imaging in patients with cardiac pacemakers and implantable cardioverter defibrillators. *Rofo* 189:204–217
18. Agricola E, Ancona F, Brochet E et al (2021) The structural heart disease interventional imager rationale, skills and training: a position paper of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 22:471–479
19. Arai AE, Schulz-Menger J, Berman D et al (2020) Gadobutrol-enhanced cardiac magnetic resonance imaging for detection of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 76:1536–1547
20. Ochs MM, Kajzar I, Salatzki J et al (2021) Hyperventilation/breath-hold maneuver to detect myocardial ischemia by strain-encoded CMR: diagnostic accuracy of a needle-free stress protocol. *JACC Cardiovasc Imaging*. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.02.022>
21. Rolf A, Eitel I, Schulz-Menger J et al (2017) Addendum zum „Curriculum Kardiale Magnetresonanztomographie (CMR)“. *Kardiologie* 11:219–2020
22. Wellnhofer E, Olariu A, Klein C et al (2004) Magnetic resonance low-dose dobutamine test is superior to SCAR quantification for the prediction of functional recovery. *Circulation* 109:2172–2174
23. Nagel E, Lehmkühl HB, Bocksch W et al (1999) Noninvasive diagnosis of ischemia-induced wall motion abnormalities with the use of high-dose dobutamine stress MRI: comparison with dobutamine stress echocardiography. *Circulation* 99:763–770
24. Al-Saadi N, Nagel E, Gross M et al (2000) Noninvasive detection of myocardial ischemia from perfusion reserve based on cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 101:1379–1383
25. Bettencourt N, Chiribiri A, Schuster A et al (2013) Direct comparison of cardiac magnetic resonance and multidetector computed tomography stress-rest perfusion imaging for detection of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 61:1099–1107
26. Schwitler J, Wacker CM, van Rossum AC et al (2008) MR-IMPACT: comparison of perfusion-cardiac magnetic resonance with single-photon emission computed tomography for the detection of coronary artery disease in a multicentre, multivendor, randomized trial. *Eur Heart J* 29:480–489
27. Schwitler J, Wacker CM, Wilke N et al (2013) MR-IMPACT II: Magnetic Resonance Imaging for Myocardial Perfusion Assessment in Coronary artery disease Trial: perfusion-cardiac magnetic resonance vs. single-photon emission computed tomography for the detection of coronary artery disease: a comparative multicentre, multivendor trial. *Eur Heart J* 34:775–781
28. Greenwood JP, Maredia N, Younger JF et al (2012) Cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography for diagnosis of coronary heart disease (CE-MARC): a prospective trial. *Lancet* 379:453–460
29. Nagel E, Greenwood JP, McCann GP et al (2019) Magnetic resonance perfusion or fractional flow reserve in coronary disease. *N Engl J Med* 380:2418–2428
30. Knuuti J, Wijns W, Saraste A et al (2019) 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes: the Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 41:407–477
31. Morton G, Chiribiri A, Ishida M et al (2012) Quantification of absolute myocardial perfusion in patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 60:1546–1555
32. Knott KD, Seraphim A, Augusto JB et al (2020) The prognostic significance of quantitative myocardial perfusion. *Circulation* 141:1282–1291
33. Messroghli DR, Radjenovic A, Kozerke S, Higgins DM, Sivanathan MU, Ridgway JP (2004) Modified Look-Locker inversion recovery (MOLLI) for high-resolution T1 mapping of the heart. *Magn Reson Med* 52:141–146
34. Ferreira VM, Schulz-Menger J, Holmvang G et al (2018) Cardiovascular magnetic resonance in nonischemic myocardial inflammation: expert recommendations. *J Am Coll Cardiol* 72:3158–3176
35. Martinez-Naharro A, Kotecha T, Norrington K et al (2019) Native T1 and extracellular volume in transthyretin amyloidosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 12:810–819
36. Treibel TA, Kozor R, Menacho K et al (2017) Left ventricular hypertrophy revisited. *Circulation* 136:2519–2521
37. Nordin S, Kozor R, Medina-Menacho K et al (2019) Proposed stages of myocardial phenotype development in Fabry disease. *JACC Cardiovasc Imaging* 12:1673–1683
38. Everett RJ, Treibel TA, Fukui M et al (2020) Extracellular myocardial volume in patients with aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol* 75:304–316
39. Messroghli DR, Moon JC, Ferreira VM et al (2017) Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T1, T2, T2\* and extracellular volume: a consensus statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI). *J Cardiovasc Magn Reson* 19:75
40. Lockie T, Nagel E, Redwood S, Plein S (2009) Use of cardiovascular magnetic resonance imaging in acute coronary syndromes. *Circulation* 119:1671–1681
41. Eitel I, de Waha S, Wöhrle J et al (2014) Comprehensive prognosis assessment by CMR imaging after ST-segment elevation myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 64:1217–1226
42. Schuster A, Morton G, Chiribiri A, Perera D, Vanoverschelde J-L, Nagel E (2012) Imaging in the management of ischemic cardiomyopathy: special focus on magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol* 59:359–370
43. Kelle S, Roes S, Klein C et al (2009) Prognostic value of myocardial infarct size and contractile reserve using magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 54:1770–1777
44. Grothues F, Smith GC, Moon JC et al (2002) Comparison of interstudy reproducibility of cardiovascular magnetic resonance with two-dimensional echocardiography in normal subjects and in patients with heart failure or left ventricular hypertrophy. *Am J Cardiol* 90:29–34
45. Backhaus SJ, Metschies G, Zieschang V et al (2021) Head-to-head comparison of cardiovascular MR feature tracking cine versus acquisition-based deformation strain imaging using myocardial tagging and strain encoding. *Magn Reson Med* 85:357–368
46. Lapinskas T, Zieschang V, Erley J et al (2019) Strain-encoded cardiac magnetic resonance imaging: a new approach for fast estimation of left ventricular function. *BMC Cardiovasc Disord* 19:52
47. Schuster A, Hor KN, Kowallack JT, Beerbaum P, Kutty S (2016) Cardiovascular magnetic resonance myocardial feature tracking: concepts and clinical applications. *Circ Cardiovasc Imaging*. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.115.004077>
48. Eitel I, Stiermaier T, Lange T et al (2018) Cardiac magnetic resonance myocardial feature tracking for optimized prediction of cardiovascular events following myocardial infarction. *JACC Cardiovasc Imaging* 11:1433–1444
49. Schuster A, Backhaus SJ, Stiermaier T et al (2019) Left atrial function with MRI enables prediction of cardiovascular events after myocardial infarction: insights from the AIDA STEMI and TATORT NSTEMI trials. *Radiology* 293:292–302



50. Kowallick JT, Kutty S, Edelmann F et al (2014) Quantification of left atrial strain and strain rate using Cardiovascular Magnetic Resonance myocardial feature tracking: a feasibility study. *J Cardiovasc Magn Reson* 16:60
51. Lurz P, Muthurangu V, Schievano S et al (2009) Feasibility and reproducibility of biventricular volumetric assessment of cardiac function during exercise using real-time radial k-t SENSE magnetic resonance imaging. *J Magn Reson Imaging* 29:1062–1070
52. Backhaus SJ, Lange T, George EF et al (2021) Exercise stress real-time cardiac magnetic resonance imaging for noninvasive characterization of heart failure with preserved ejection fraction. *Circulation* 143:1484–1498
53. Holloway CJ, Ntusi N, Suttie J et al (2013) Comprehensive cardiac magnetic resonance imaging and spectroscopy reveal a high burden of myocardial disease in HIV patients. *Circulation* 128:814–822
54. Neubauer S, Krahe T, Schindler R et al (1992) 31P magnetic resonance spectroscopy in dilated cardiomyopathy and coronary artery disease. Altered cardiac high-energy phosphate metabolism in heart failure. *Circulation* 86:1810–1818
55. Kim WY, Danias PG, Stuber M et al (2001) Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary stenoses. *N Engl J Med* 345:1863–1869
56. Jansen CHP, Perera D, Makowski MR et al (2011) Detection of intracoronary thrombus by magnetic resonance imaging in patients with acute myocardial infarction. *Circulation* 124:416–424
57. Engel L-C, Landmesser U, Gigengack K et al (2019) Novel approach for in vivo detection of vulnerable coronary plaques using molecular 3-T CMR imaging with an albumin-binding probe. *JACC Cardiovasc Imaging* 12:297–306
58. Wiesemann S, Schmitter S, Demir A et al (2021) Impact of sequence type and field strength (1.5, 3, and 7T) on 4D flow MRI hemodynamic aortic parameters in healthy volunteers. *Magn Reson Med* 85:721–733
59. Razavi R, Hill DLG, Keevil SF et al (2003) Cardiac catheterisation guided by MRI in children and adults with congenital heart disease. *Lancet* 362:1877–1882
60. Rogers T, Ratnayaka K, Karmarkar P et al (2016) Real-time magnetic resonance imaging guidance improves the diagnostic yield of endomyocardial biopsy. *JACC Basic Transl Sci* 1:376–383
61. Sommer P, Grothoff M, Eitel C et al (2012) Feasibility of real-time magnetic resonance imaging-guided electrophysiology studies in humans. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/eus230>
62. Kotecha T, Knight DS, Razvi Y et al (2021) Patterns of myocardial injury in recovered troponin-positive COVID-19 patients assessed by cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J* 42(19):1866–1878. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab075>
63. Schuster A, Kelle S (2020) Kardiale Magnetresonanztomografie: Referenz für die myokardiale Beteiligung bei COVID-19. *Dtsch Arztebl Int* 117:16
64. Joy G, Artico J, Kurdi H et al (2021) Prospective case-control study of cardiovascular abnormalities 6 months following mild COVID-19 in healthcare workers. *JACC Cardiovasc Imaging*. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.04.011>
65. Kelle S, Bucciarelli-Ducci C, Judd RM et al (2020) Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) recommended CMR protocols for scanning patients with active or convalescent phase COVID-19 infection. *J Cardiovasc Magn Reson* 22:61

## Competence and innovation in cardiovascular MRI: statement of the German Cardiac Society

This statement of the German Cardiac Society (DGK) focusses on required cardiological competence levels in cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) and their impact on clinical management including diagnostics, procedural planning and treatment of patients in cardiology. There is plenty of both basic technical and clinical innovation based on research by German and European cardiologists with high clinical impact that have been included in national, European and international guidelines. This statement provides guidance on safe and competent performance of CMR examinations including the various applications. It also defines competence levels, which enable a high-quality execution of the examination and utilization of the derived information in the clinical arena.

### Keywords

Magnetic resonance imaging · Innovation · Safety · Cardiovascular · Training

66. Choi AD, Thomas DM, Lee J, Abbara S, Cury RC, Leipsic JA, et al (2021) 2020 SCCT Guideline for Training Cardiology and Radiology Trainees as Independent Practitioners (Level II) and Advanced Practitioners (Level III) in Cardiovascular Computed Tomography: A Statement from the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 15(1):2–15. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2020.08.003>