

Kardiologie 2026 · 20:46–53
<https://doi.org/10.1007/s12181-025-00778-0>
 Eingegangen: 8. Oktober 2025
 Angenommen: 27. Oktober 2025
 Online publiziert: 16. Januar 2026
 © The Author(s) 2025



Nuklearkardiologie – Aktueller Stand der klinischen Anwendung

Konsensuspapier der DGK und DGN

Oliver Lindner^{1,12} · Christian Goetz² · Frank Bengel³ · Axel Linke^{4,11} · Alexander Maier⁵ · Maria Papatheanasiou⁶ · **Sigmund Silber**⁷ · Christoph Rischpler⁸ · Simon Greulich⁹ für DGK · Jan Bucerius¹⁰ für DGN

¹ Institut für Radiologie, Nuklearmedizin und Molekulare Bildgebung, Herz- und Diabeteszentrum NRW, Bad Oeynhausen, Deutschland; ² Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Freiburg, Freiburg, Deutschland; ³ Klinik für Nuklearmedizin, Medizinische Hochschule Hannover, Hannover, Deutschland; ⁴ Klinik für Innere Medizin und Kardiologie, Herzzentrum Dresden GmbH, Universitätsklinik an der Technischen Universität Dresden, Dresden, Deutschland; ⁵ Klinik für Kardiologie und Angiologie, Universitäts-Herzzentrum Freiburg-Bad, Krozingen, Universitätsklinikum Freiburg, Freiburg im Breisgau, Deutschland; ⁶ Medizinische Klinik 3, Kardiologie, Angiologie, Universitäres Herz- und Gefäßzentrum, Universitätsmedizin Frankfurt, Frankfurt am Main, Deutschland; ⁷ **Kardiologische Gemeinschaftspraxis, München, Deutschland**; ⁸ Klinik für Nuklearmedizin, Klinikum Stuttgart, Stuttgart, Deutschland; ⁹ Abteilung für Kardiologie und Angiologie, Deutsches Herzkompetenz Zentrum, Universitätsklinikum Tübingen, Tübingen, Deutschland; ¹⁰ Klinische Abteilung für Nuklearmedizin, Universitätsklinik für Radiologie, Medizinische Universität Graz, Graz, Österreich; ¹¹ Kommission für Klinische Kardiologische Medizin, Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland; ¹² Herz- und Diabeteszentrum NRW, Institut für Molekulare Biophysik, Radiopharmazie und Nuklearmedizin, Bad Oeynhausen, Deutschland

Zusammenfassung

Das Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN) und der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (DGK) aktualisiert die gemeinsame Stellungnahme aus dem Jahr 2018. Es gibt einen Überblick über die Einsatzbereiche und den aktuellen Stellenwert der nuklearkardiologischen Bildgebung. Behandelt werden die Themenfelder chronisches Koronarsyndrom einschließlich der Vitalitätsdiagnostik und der besonderen Bedeutung der PET, Kardiomyopathien, kardiale Sarkoidose, Amyloidose, infektiöse Endokarditis und Entzündung kardialer Implantate.

Schlüsselwörter

Nuklearmedizin · SPECT · PET · Chronisches Koronarsyndrom · Endokardkrankungen



Dieses Konsensuspapier wird parallel in den Zeitschriften *Die Kardiologie* (Open access) und *Nuklearmedizin* publiziert.

Der Verlag veröffentlicht die Beiträge in der von den Autorinnen und Autoren gewählten Genderform. Bei der Verwendung des generischen Maskulinums als geschlechtsneutrale Form sind alle Geschlechter impliziert.

Die Autoren S. Greulich und J. Bucerius haben zu gleichen Teilen zum Manuskript beigetragen.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Präambel

Dieses Positionspapier der Arbeitsgemeinschaft „Kardiovaskuläre Nuklearmedizin“ der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN) und der Arbeitsgruppe 20 „Nuklearkardiologische Diagnostik“ der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung (DGK) aktualisiert die gemeinsame Stellungnahme aus dem Jahr 2018 [1]. Es fasst den gegenwärtigen praxisnahen Erkenntnisstand zur nuklearkardiologischen Diagnostik zusammen und soll Ärztinnen und Ärzten sowie Patientinnen und Patienten die Entscheidungsfindung erleichtern. Das

Positionspapier ersetzt weder die ärztliche Evaluation im Einzelfall noch die Anpassung der Diagnostik und Therapie an deren spezifische Situation oder eine Leitlinie.

Einleitung

Das vorliegende Positionspapier basiert auf den geltenden nationalen und internationalen Leitlinien und wissenschaftlichen Publikationen [2–6]. Die nuklearkardiologischen Grundlagen und Methoden sind in aktuellen deutschen und europäischen Leitlinien publiziert und nicht Gegenstand dieses Papiers [5, 7].

Infobox 1

Positionspapiere

„Positionspapier Nuklearkardiologie – Update 2018“. Das Positionspapier wurde 2018 in der Zeitschrift *Der Kardiologe* [36] publiziert.

Zur besseren Lesbarkeit wird für die Myokard-Perfusions-SPECT (SPECT – „single photon emission computed tomography“) der Terminus Myokard-SPECT verwendet.

Neben diesem Verfahren existiert sowohl für die SPECT als auch für die Positronenemissionstomographie (PET) ein breites Portfolio teils etablierter, teils neuerer, nuklearkardiologischer Untersuchungen mit unterschiedlichen Radiopharmaka [8]. Im Folgenden werden die Haupteinsatzgebiete dieser Untersuchungen dargestellt.

Diagnostik chronisches Koronarsyndrom (CCS)

Die Myokard-SPECT zur Darstellung der myokardialen Perfusion stellt insbesondere auf der ambulanten fachärztlichen Versorgungsebene das am häufigsten angewandte nuklearkardiologische Verfahren im Rahmen der Ischämiediagnostik dar [9]. Etwa 70 % aller Untersuchungen werden durch die Kardiologie veranlasst, wie die Umfrageresultate der vergangenen Jahre zeigen [9]. Von 2018 bis 2024 ist eine Zunahme der Untersuchungszahlen um 36 % zu verzeichnen (Mitteilung der KBV über den Bundesverband deutscher Nuklearmediziner e.V.; Publikation in Vorbereitung, Stand 8/2025).

Zum Standard der Myokard-SPECT gehören:

- a) die Auswahl des individuell geeigneten Belastungsverfahrens (ergometrisch oder pharmakologisch, Letzteres mit den Vasodilatoren Adenosin oder vorzugsweise Regadenoson), um eine optimale myokardiale Perfusionssteigerung zu erzielen,
- b) eine EKG-getriggerte Akquisition zur Bestimmung der linksventrikulären Ejektionsfraktion (LVEF),
- c) die Ermittlung semiquantitativer Scores oder prozentualer Anteile zur Abschätzung von Ischämiebelastung und Ruheperfusionsdefekten hinsichtlich Ausdehnung und Ausprägung.

Detaillierte Protokolle einschließlich der mit der Untersuchung verbundenen Vor- und Nachteile sowie der spezifischen Indikationen und Kontraindikationen finden sich in der aktuellen nationalen S1-Leitlinie zur Myokard-SPECT [5].

Verdacht auf chronisches Koronarsyndrom inklusive ANOCA/INOCA

Formal ergibt sich die Entscheidung zur Durchführung einer nichtinvasiven bildgebenden Diagnostik bei Verdacht auf eine (epikardial) obstruktive stabile KHK als Ursache thorakaler Symptome einschließlich Belastungsdyspnoe bei Vortestwahrscheinlichkeiten (VTW) von 15–85 % [2, 6]. Allgemein haben Testverfahren mit Sensitivitäten und Spezifitäten von 70–80 % in diesem Bereich den besten diagnostischen Zugewinn.

Die individuelle VTW für eine stenosierende KHK kann anhand von Tabellen, welche Symptomatik, Alter, Geschlecht, Risikofaktoren und pathologische Zusatzbefunde (z. B. EKG-Auffälligkeiten, eingeschränkte LVEF, ventrikuläre Arrhythmien, pAVK) berücksichtigen, bestimmt werden [2, 6].

Im VTW-Bereich von 15–50 % wird die Durchführung der CT-Koronarangiographie bevorzugt empfohlen. Sie wurde zum 01.01.2025 in den EBM-Leistungskatalog aufgenommen. Im Leistungstext zum EBM wird explizit eine VTW von 15–50 % für die Durchführung der CT-Koronarangiographie gefordert. Alternativ können in diesem Bereich aber auch funktionelle Verfahren wie die Stressechokardiographie, die kardiale MRT oder die Myokard-SPECT eingesetzt werden [2].

Der Algorithmus der ESC-Leitlinie sieht den sequenziellen Einsatz von CT-Koronarangiographie und funktionellen Verfahren und umgekehrt vor. Dies ist bei nicht-eindeutigen Ergebnissen, die beispielsweise eine klinische Symptomatik nicht hinreichend erklären, der Fall.

Auf makrovaskulärer Ebene können nicht nur hochgradige, flusslimitierende Stenosen, sondern auch diffuse atherosklerotische Veränderungen ohne erkennbare Stenosen oder strukturelle Anomalien (Muskelbrücken, Koronaranomalien oder Vasospasmen) ursächlich für in der Myo-

kard-SPECT nachgewiesene Ischämien sein.

Auf peripherer Gefäßebene spielt die koronare Mikrozirkulationsstörung eine wichtige Rolle. Funktionelle und strukturelle Störungen der Mikrozirkulation können Angina pectoris und Ischämien ohne signifikante Stenosen der epikardialen Koronararterien hervorrufen: ANOCA (Angina ohne obstruktive Koronargefäßerkrankung) oder INOCA (Ischämie ohne obstruktive Koronargefäßerkrankung) [6].

Bei solchen Konstellationen ist die Kombination von morphologischer und funktioneller Bildgebung sinnvoll und diagnostisch hilfreich. Allein die INOCA betrifft ca. 50–70 % der Frauen und ca. 30–50 % der Männer [10].

Metaanalysen zeigen, dass die diagnostische Genauigkeit der funktionellen bildgebenden Verfahren untereinander auf einem vergleichbaren Niveau liegt und vor diesem Hintergrund keines dieser bildgebenden Verfahren primär zu bevorzugen ist [2]. Als Kriterien für oder gegen eine bestimmte nichtinvasive bildgebende Modalität kommen Situation und Eignung des Patienten sowie lokale Verfügbarkeit und Expertise in Betracht [2]. Die Stressechokardiographie und Myokard-SPECT sind derzeit (Stand 8/2025) die einzigen bildgebenden Ischämietests, die in der GKV verankert sind und vergütet werden.

Die Ausdehnung und die Ausprägung von Ischämien (Ischämiebelastung) und Ruheperfusionsdefekten lassen sich in der Myokard-SPECT mit Scores (Summed Stress Score, Summed Rest Score und Summed Difference Score) absolut oder prozentual erfassen ([5]; ■ Abb. 1). Ab einem Summed Difference Score > 8 bzw. einem Ischämieanteil $\geq 10\%$ des linksventrikulären Myokards profitieren Patienten im Allgemeinen in Bezug auf die Prognoseverbesserung mehr von einer Revaskularisation als von einer alleinigen, optimierten medikamentösen Therapie [11]. Die zugrunde liegenden Daten basieren auf dem langjährigen standardisierten Einsatz der Myokard-SPECT in großen Kohorten [12]. Der Ischämieanteil von $\geq 10\%$ ist orientierend zu sehen. Das Vorgehen ist in jedem Fall individuell zwischen behandelnden Ärztinnen/Ärzten und Patienten abzustimmen.

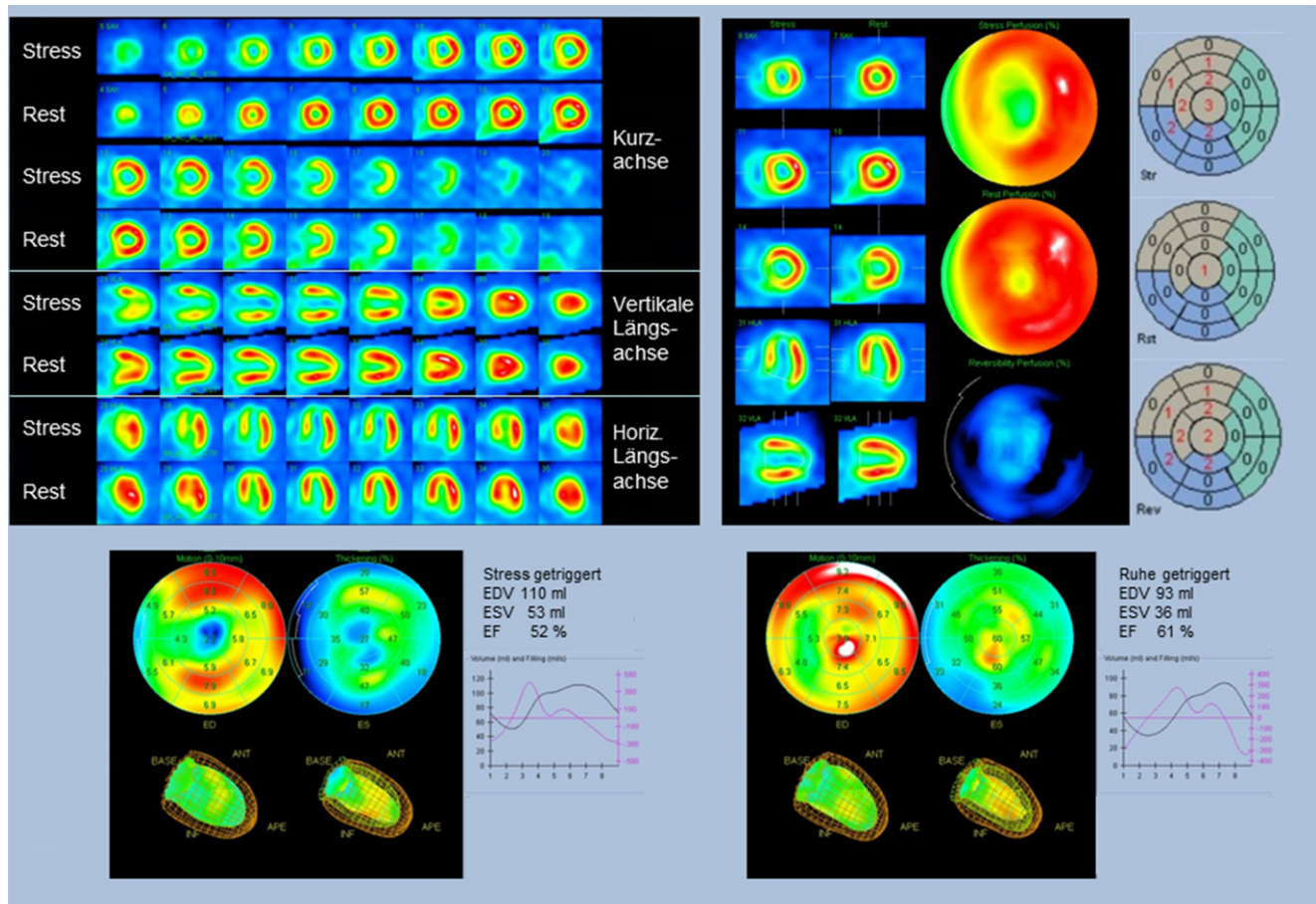


Abb. 1 ▲ Pathologische Myokard-SPECT mit Quantifizierung der Ischämiebelast. Oben: Stress- und Ruheperfusion. Belastungs-induzierte Ischämie der medialen Vorderwand bis inferoapikal und im apikalen Septum. Hoher Summed Stress Score (SSS = 13), niedriger Summed Rest Score (SRS = 1) und hoher Summed Difference Score (SDS = 12), entsprechend einem Ischämie-anteil von > 10 % des linksventrikulären Myokards. Unten: Die Auswertung der getriggerten Studie zeigt eine normale LVEF in der Ruheaufnahme und, als Ausdruck einer passageren ischämiegetriggerten Dysfunktion, eine signifikant niedrigere LVEF in der Belastungsaufnahme mit verminderter Wandbewegung apikal, supraapikal und septal. (Mit freundl. Genehmigung © 2025 Institut für Radiologie, Nuklearmedizin und molekulare Bildgebung, HDZ-NRW)

Bekannte KHK

Zum Einsatz bildgebender Verfahren (inklusive Myokard-SPECT) bei bekannter stenosierender KHK oder nach einer Intervention (Stent oder Bypass-OP) ist die Studienlage unzureichend [5]. Empfehlung und klinische Praxis sind, dass nichtinvasive bildgebende Verfahren bei klinischem Verdacht auf eine Progredienz der Erkrankung bevorzugt eingesetzt werden sollten.

Sofern eine Voruntersuchung mit einem nichtinvasiven bildgebenden Verfahren erfolgt, sollte aufgrund der besseren Vergleichbarkeit möglichst das identische Verfahren erneut angewandt werden [2, 5].

Vitalitätsdiagnostik

Bei Vorliegen einer regional und/oder global eingeschränkten Myokardkontraktion ist vor einer revaskularisierenden Intervention eine Vitalitätsdiagnostik anzustreben, da nur vitales Myokard potenziell erholungsfähig ist. Auch wenn sich die LVEF nach der Intervention nicht verbessert, kann ein Benefit resultieren, indem das Risiko für Arrhythmien, Infarkte und einen Progress der Herzinsuffizienz verringert werden kann und die Perfusion verbessert wird [13].

Der Focus der nichtinvasiven Bildgebung liegt darauf, diejenigen vitalen Myokardanteile zu detektieren, die revaskularisierbar sind. Der Umkehrschluss, dass Patienten mit avitalen Myokardanteilen nicht von einer Revaskularisation profitieren, ist

nach der aktuellen Studienlage nicht sicher zu ziehen [13].

Die ^{18}F -FDG-PET zeigt bei der Vitalitätsdiagnostik eine höhere Genauigkeit als die Myokard-SPECT mit $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Perfusionsradiopharmaka und ist, wenn verfügbar, bei Patienten mit deutlich eingeschränkter LVEF (<30–40%) als nuklearkardiologisches Verfahren der Wahl heranzuziehen [9, 14]. Die Überlegenheit der ^{18}F -FDG-PET beruht auf dem direkten Nachweis von stoffwechselaktivem, jedoch ischämisch kompromittiertem vitalem Myokard (hibernierendes Myokard, myokardiales „Stunning“) [15].

Aufgrund der diätetischen Vorbereitung, die die Vitalitäts-PET mit ^{18}F -FDG erfordert, um eine optimale Aufnahme des Radiopharmakons zu erreichen, ist die Durchführung bei Diabetikern, ins-

Tab. 1 Indikationen zur Vitalitätsdiagnostik [16]	
Frage nach einer Revaskularisationsoption bei Patienten mit Herzinsuffizienz, Wandbewegungsstörungen und verminderter LVEF (meist < 35 %)	ESC Empfehlungsgrad Klasse IIb, Evidenzlevel B
Frage nach dem optimalen Revaskularisationsansatz (PCI oder Bypass) bei Patienten mit komplexer Mehrgefäß-KHK	Kein Empfehlungsgrad
Frage nach PCI oder medikamentöser Therapie bei CTO („chronic total occlusions“)	Kein Empfehlungsgrad
Frage nach sekundärer PCI (PCI längere Zeit nach akutem Koronarsyndrom) bei Patienten mit Herzinsuffizienz	Kein Empfehlungsgrad
Frage nach Mitralklappenersatz mit Revaskularisation oder ausschließlicher Mitralklappenbehandlung (Rekonstruktion, Ersatz, Mitralklappen-Clipping) bei Patienten mit ischämischer Mitralklappeninsuffizienz (LVEF < 30 %)	ESC Empfehlungsgrad Klasse IIa, Evidenzlevel C

besondere solchen mit Insulinresistenz, herausfordernd und zeitaufwendig. Daher ist die breite Anwendung der ^{18}F -FDG-PET bei dieser Patientenpopulation limitiert. Ein genereller Aspekt bei der PET-Vitalitätsbildgebung ist die Notwendigkeit, diese mit einer Ruhe-Perfusions-Bildgebung zu kombinieren, um hibernierendes Myokard bzw. myokardiales Stunning adäquat gegenüber normal stoffwechselaktivem Myokard abgrenzen zu können.

Eine weitere Limitierung der Methode entspringt der Tatsache, dass die Vitalitätsdiagnostik mittels ^{18}F -FDG-PET auch bei dieser wichtigen Fragestellung keine GKV-Leistung ist.

Indikationen für eine nuklearmedizinische Vitalitätsdiagnostik sind in **Tab. 1** aufgeführt [11, 16].

Sonderstellung kardiales PET

Die kardiale PET nimmt bei der Diagnostik des chronischen Koronarsyndroms in Deutschland eine Sonderstellung ein, da es genauer als die Myokard-SPECT ist, aber dennoch nicht im Leistungskatalog der GKV enthalten ist. Hervorgehoben sei hier die Schweiz. Dort werden mehr als die Hälfte der Myokard-Perfusions-Untersuchungen mit der PET durchgeführt [17].

Der bedeutendste diagnostische Vorteil der PET, im Vergleich mit den anderen funktionellen Verfahren, beruht auf der nichtinvasiven Quantifizierbarkeit des myokardialen Blutflusses, wodurch eine Bewertung der Mikrozirkulation und der damit assoziierten Symptome (ANOCA/INOCA) möglich wird.

Gegenüber der SPECT weist die PET eine bessere Abbildungsqualität (Auflö-

sung und Kontrast) auf. Ferner zeigen die PET-Radiopharmaka günstigere Flusseigenschaften (höhere Extraktionsraten) als SPECT-Radiopharmaka.

In der ESC-Leitlinie wird die Perfusions-PET bei Verdacht auf CCS im Vortestwahrscheinlichkeitsbereich von 15–85 % mit einer Klasse-I-, Level-B-Empfehlung bewertet und sollte der Myokard-SPECT aus den genannten Gründen vorgezogen werden [6].

F-18-Flurpiridaz für die quantitative kardiale PET-Perfusionsdiagnostik wurde kürzlich von der FDA zugelassen. Die Prüfung bei der EMA läuft derzeit (Stand 8/2025). Es ist zu erwarten, dass die kardiale PET zukünftig zunehmende Bedeutung erlangen wird.

Kardiomyopathien

Ein Indikationsbereich für bildgebende nuklearkardiologische Verfahren ergibt sich bei der Diagnostik und Therapie von Kardiomyopathien in der Abklärung einer ischämischen gegenüber einer nichtischämischen Kardiomyopathie sowie in der Vitalitätsdiagnostik [18].

Die Diagnostik von Kardiomyopathien sollte objektifizierbare Hinweise auf eine mikrovaskuläre Genese umfassen. Hinsichtlich der nuklearmedizinischen Perfusionsdiagnostik ischämischer Kardiomyopathien ist, sofern verfügbar, eine PET mit gleichzeitiger quantitativer Perfusionsmessung anstelle einer SPECT aus den im Unterkapitel „Kardiales PET“ dargelegten Gründen zu empfehlen.

In Deutschland sind meist ^{13}N -Ammoniak oder in einzelnen Zentren ^{18}O -Wasser für die PET-Perfusion verfügbar. Weitere

PET-Perfusionsradiopharmaka werden aktuell behördlich geprüft und in Studien erprobt.

Sarkoidose

Einen Anwendungsbereich der ^{18}F -FDG-PET-CT im Rahmen eines multimodalen Bildgebungskonzepts stellt die Abklärung der Sarkoidose dar. Indikationen sind

- Verdacht auf kardiale Beteiligung mit Symptomen (unklare Synkope, Präsynkope, Palpitationen und/oder pathologisches EKG und/oder unklare Echokardiographie) bei bekannter extrakardialer Sarkoidose,
- Verdacht auf Rezidiv bei bekannter kardialer Sarkoidose,
- Therapiemonitoring bei kardialer Sarkoidose und
- prognostische Beurteilung im Hinblick auf Therapieentscheidung und Verlauf [19–21].

Die ^{18}F -FDG-PET-CT ist besonders nützlich, um das Ausmaß der Beteiligung und die Aktivität der Krankheit zu erfassen. Sie zeigt eine hohe Sensitivität (94–100 %) für thorakale Erkrankungen und kann helfen, metabolische Aktivitäten in betroffenen Geweben zu erkennen.

Im Gegensatz zur Vitalitätsdiagnostik mittels ^{18}F -FDG ist ein diätetisches Suppressionsprotokoll („low carb“, „high fat“, „long fasting“ und ggf. intravenöse Gabe von unfractioniertem Heparin) zur Unterdrückung des physiologischen Myokardstoffwechsels essenziell, um ausschließlich den Immunzellstoffwechsel Sarkoidose-assoziiierter kardialer Infiltrate zu detektieren und darzustellen [21].

Da routinemäßig Ganzkörperaufnahmen, z.T. mit kardialem Focus, erstellt werden, lassen sich extrakardiale Organbeteiligungen ohne zusätzlichen Untersuchungs- und Radiopharmakaaufwand erfassen (**Abb. 2**). Wegen der physiologisch hohen ^{18}F -FDG-Aufnahme des Gehirns ist mit dieser Methode kein zuverlässiger Nachweis zerebraler Sarkoidoseherde möglich.

Neben ^{18}F -FDG stellen ^{68}Ga -markierte Somatostatinanaloga wie DOTATATE (oder auch -DOTATOC bzw. -DOTANOC), eine diagnostische Alternative dar. Sie verfügen über eine spezifische Bindung an Soma-

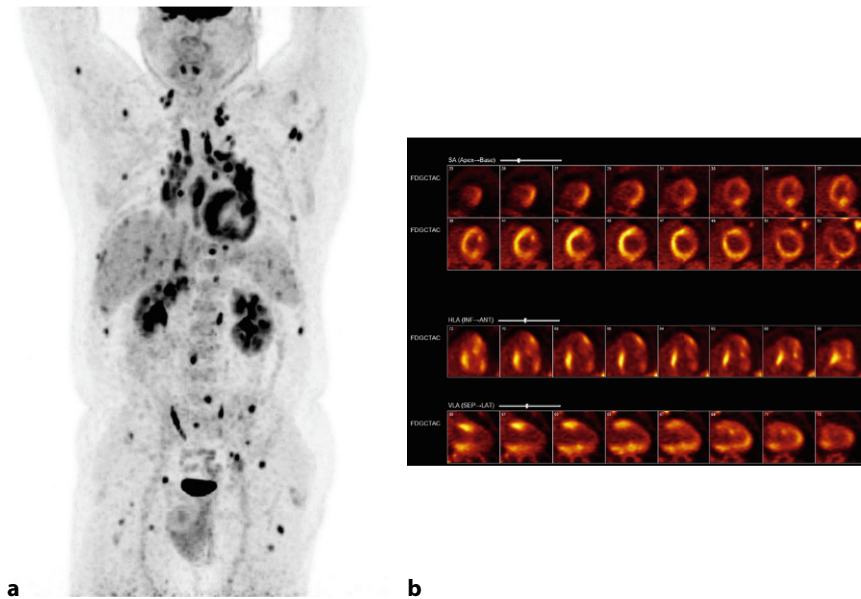


Abb. 2 ▲ Sarkoidose mit kardialer Beteiligung. Ganzkörperbildgebung bei Sarkoidose mit Verdacht auf kardiale Beteiligung mittels ^{18}F -18-FDG-PET-CT. Patient mit multiplen Sarkoidoseherden, einschließlich des Myokards. Aufnahmen unter Suppressionsprotokoll (über Nacht nüchtern, kohlenhydratfreie, fettreiche Diät am Vortag). (a) Ganzkörperaufnahme, (b) Kardiale Schnittbilder. (Mit freundl. Genehmigung © 2025 Institut für Radiologie, Nuklearmedizin und molekulare Bildgebung, HDZ-NRW)

tostatinrezeptoren, welche auf aktivierten Immunzellen exprimiert werden [22]. Dies kann die Detektion von Entzündungsherden verbessern. Zudem entfällt aufgrund der fehlenden physiologischen myokardialen Anreicherung dieser Radiopharmaka die diätetische Vorbereitung der Patienten. Allerdings zeigen ^{68}Ga -markierte Somatostatinanaloga eine geringere Sensitivität und eine schlechtere Performance im Therapiemonitoring gegenüber ^{18}F -FDG [22].

Für die Beurteilung einer möglichen kardialen Sarkoidose bzw. einer bereits diagnostizierten kardialen Sarkoidose liefert die Kombination von ^{18}F -FDG-PET mit kardialer MRT im Sinne eines simultanen Hybridverfahrens zusätzliche Informationen und ist in der Lage, die diagnostische Genauigkeit durch ihre Kombination zu steigern [23].

Die MRT kann sowohl fokale myokardiale Fibrosen und Entzündungen durch Late-Gadolinium-Enhancement (LGE) als auch diffuse myokardiale Veränderungen erkennen. Die simultan durchgeführte ^{18}F -FDG-PET bietet eine präzise Co-Registrierung von Stoffwechselinformationen aus der PET mit der Gewebecharakterisierung aus der MRT. Dieses Hybridverfahren erlaubt somit nicht nur den Nachweis einer kardialen Sarkoidose, sondern zudem

eine weitere Untergliederung in fokale gegenüber diffusen als auch von aktiven gegenüber chronischen Prozessen [23].

Amyloidose

In den letzten Jahren hat die kardiale Amyloidose als systemische Erkrankung mit myokardialer Beteiligung klinisch eine zunehmende Beachtung gewonnen. Bei der kardialen Amyloidose kann die Nuklearkardiologie neben der Diagnostik von kardialer Funktion und Infiltration durch Echokardiographie bzw. MRT einen wichtigen Beitrag zu Art, Ausprägung und Progress der Erkrankung liefern und helfen, eine Endomyokardbiopsie zu umgehen [24–26].

Phosphat- und Phosphonat-basierte Radiopharmaka, die für die konventionelle Knochenszintigraphie eingesetzt werden, zeigen bei bestimmten Formen der kardialen Amyloidose wie der häufigen Wildtyp-Transthyretin-Amyloidose (wtATTR) und einigen hereditären Formen eine Anreicherung im Myokard. Der genaue zugrunde liegende Mechanismus ist noch ungeklärt.

Eine Skalierung der Anreicherungsintensität erfolgt anhand des Perugini-Scores (0 bis 3) [27]. Ein Perugini-Score 1 schließt eine Amyloidose nicht aus. In

diesem Fall sollte eine weiterführende Diagnostik vor allem zum Ausschluss einer Leichtkettenamyloidose (AL-Amyloidose) erfolgen. Ein Perugini-Score von 2 oder 3 bei fehlendem Nachweis monoklonaler Leichtketten erlaubt die nichtinvasive Diagnose der ATTR-Amyloidose mit hoher diagnostischer Sicherheit [27].

Die Radiopharmaka $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DPD (Diphosphono-Propano-Dicarbonsäure), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMDP (Hydroxy-Methylen-Diphosphonat) und $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PYP (Pyrophosphat) haben sich als hochsensitiv und spezifisch für die Diagnose der ATTR-Amyloidose erwiesen. Das für die Skelettszintigraphie auch eingesetzte $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP (Methylen-Diphosphonat) ist nicht geeignet [27].

Da die vorgenannten Radiopharmaka auch eine Anreicherung bei kardialer Beteiligung im Rahmen einer AL-Amyloidose zeigen können, sind zur Differenzierung die Bestimmung der freien Kappa- und Lambda-Leichtketten im Serum und die Durchführung einer Immunfixation im Serum und Urin zum Ausschluss einer Plasmazellerkrankung bzw. einer AL-Amyloidose unerlässlich [25].

Speziell für die Alzheimer-Diagnostik entwickelte Amyloid-gerichtete PET-Tracer (wie ^{18}F -Florbetapir, ^{18}F -Florbetaben, ^{18}F -Flutemetamol) sind in der Lage, spezifisch Amyloid im Myokard zu detektieren. Es ist damit zu rechnen, dass sie zukünftig für die Indikationsstellung und Therapieüberwachung neuartiger Amyloid-gerichteter Therapien einen wichtigen Beitrag leisten können [28].

Infektiöse Endokarditis und Entzündungen von kardialen Implantaten

Die ^{18}F -FDG-PET-CT ist neben der seltener angewandten SPECT-CT mit radioaktiv markierten Leukozyten das wichtigste nuklearkardiologische Verfahren zur Diagnostik der infektiösen Endokarditis. Bei Fragestellungen zu Entzündungen von *Klappenprothesen* zählen beide Verfahren neben der positiven Blutkultur zu den Hauptkriterien [3]. Die Kombination der ^{18}F -FDG-PET mit KM-basierten Kardio-CT-Protokollen ist essenziell und zeigt eine deutlich bessere diagnostische Genauigkeit als die „Low-dose“-CT ohne KM [29].

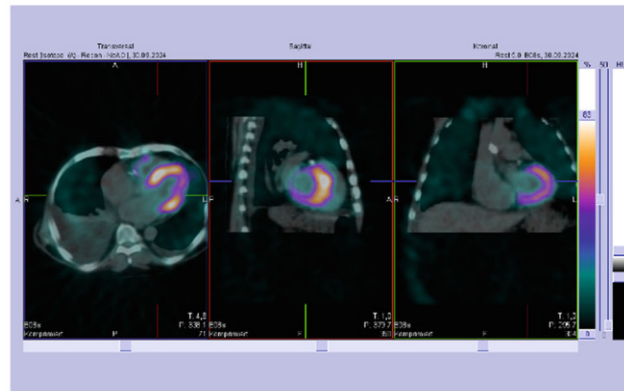
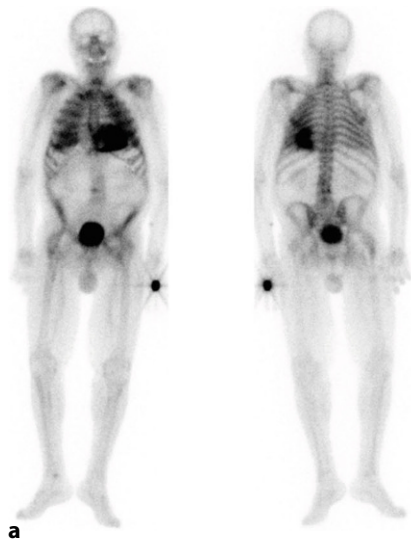


Abb. 3 ◀ Positiver Amyloidosebefund. Skelettszintigramm (Ganzkörperaufnahme in ventraler und dorsaler Sicht) mit gesonderter Aufnahme des Herzens bei ATTR-Amyloidose (Perugini-Score 3). Keine Erhöhung der Leichtketten im Urin und Serum. Injektionsort: linker Handrücken. (a) Ganzkörperaufnahme, (b) kardiales SPECT-CT Fusionsbild. (Mit freundl. Genehmigung © 2025 Institut für Radiologie, Nuklearmedizin und molekulare Bildgebung, HDZ-NRW)

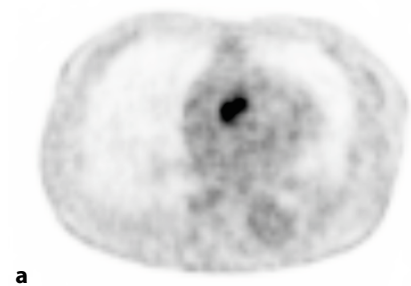


Abb. 4 ▲ Endokarditis einer prothetischen Aortenklappe. Positiver Befund einer Endokarditis einer prothetischen Aortenklappe. PET (a), korrelierende CT-Schicht (b), Fusion beider Modalitäten (c). Aufnahmen unter Suppressionsprotokoll (über Nacht nüchtern, kohlenhydratfreie, fettreiche Diät am Vortag). (a) transversales PET Schnittbild, (b) korrespondierende CT Schicht, (c) PET-CT Fusionsbild. (Mit freundl. Genehmigung © 2025 Institut für Radiologie, Nuklearmedizin und molekulare Bildgebung, HDZ-NRW)

Nuklearkardiologische Verfahren haben beim Entzündungsnachweis *nativer Klappen* nur eine geringe diagnostische Genauigkeit und sind in diesen Fällen nicht geeignet bzw. indiziert. Grund hierfür ist geringe Größe des Objektes, seine Bewegung und häufig der Überzug mit einem Biofilm, der die zelluläre Reaktion und damit das bildgebende Signal blockiert [30].

Indikationen für die Entzündungsdiagnostik mit der ^{18}F -FDG-PET-CT ergeben sich bei Patienten mit *nativen Klappen* allerdings bei der Suche nach Streuherden und/oder der Suche primärer Foci. Dies gilt analog auch für die erweiterte Entzündungsdiagnostik bei Patienten mit prothetischen Klappen [3].

Da die ^{18}F -FDG-PET-CT routinemäßig als Ganzkörperaufnahme erfolgt, lassen sich extrakardiale Entzündungsfoci außerhalb des Gehirns ohne zusätzlichen Untersu-

chungs- und Radiopharmakaaufwand erfassen. Wegen der physiologisch hohen ^{18}F -FDG-Aufnahme des Gehirns ist in diesem Organ kein zuverlässiger Nachweis von Entzündungsfoci möglich.

Die ^{18}F -FDG-PET-CT weist eine hohe Sensitivität bei im Vergleich zur Leukozyten-SPECT niedrigerer Spezifität auf, da durch das ^{18}F -FDG-Signal sowohl Entzündungsreaktionen („Uptake“ in Immunzellen) als auch nichtentzündliche Reparaturvorgänge und Fremdkörperreaktionen (unspezifischer „Uptake“) erfasst werden. Im Gegensatz hierzu ist die Leukozytenszintigraphie in SPECT-Technik mit autologen, radioaktiv markierten Leukozyten hochspezifisch, jedoch weniger sensitiv [3, 31, 32]. Der Einsatz dieses Verfahrens ist bei unklaren Befunden in der ^{18}F -FDG-PET-CT im Sinne einer Stufendiagnostik zu empfehlen oder in Zentren, in denen kein PET-CT zur Verfügung steht [33]. In Deutsch-

land wird die Leukozyten-SPECT aus logistischen und regulatorischen Gründen nur noch in wenigen Zentren durchgeführt.

Zu betonen ist, dass bei der oft komplexen Konstellation einer Herzklappenendokarditis die Bildgebung nicht isoliert zu sehen ist, sondern Wertung und Interpretation der Ergebnisse in einem interdisziplinären Endokardisteam erfolgen sollten [3].

Eine weitere Indikation für die ^{18}F -FDG-PET-CT ist bei der Entzündungsdiagnostik nach Implantation von Gefäßprothesen (▣ Abb. 3), Schrittmachern, Defibrillatoren und Herzunterstützungssystemen gegeben [34].

Für die kardiale Entzündungsdiagnostik mittels ^{18}F -FDG-PET-CT ist – in Analogie zur Sarkoidosediagnostik – ein Suppressionsprotokoll zur Unterdrückung des physiologischen Myokardstoffwechsels essenziell, um ausschließlich den Entzündungsstoff-

wechsel zu detektieren und darzustellen (Abb. 4).

Mögliche Untersuchungsrisiken und Strahlenexposition

Jede nuklearkardiologische Diagnostik ist wie auch die invasive Koronarangiographie und die CT-Angiographie mit einer (relativ geringen) Strahlenexposition für den Patienten verbunden. Im Vergleich zu anderen invasiven und nichtinvasiven Verfahren ist das theoretisch kalkulierte Risiko durch die mit den nuklearkardiologischen Untersuchungen verbundene Strahlenexposition deutlich geringer und steht in einem sehr günstigen Verhältnis zum Nutzen. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat für die häufigsten, so auch die nuklearmedizinischen Untersuchungen diagnostische Referenzwerte vorgegeben, deren Einhaltung durch die Ärztlichen Stellen der Ärztekammern engmaschig und kritisch überwacht werden [35].

Fazit für die Praxis

Die nuklearkardiologischen Verfahren stellen unverändert einen wichtigen Baustein bei der Perfusions- und Vitalitätsdiagnostik des chronischen Koronarsyndroms sowie der Amyloidose-, Sarkoidose- und Endokarditisdiagnostik dar.

Mit der Aufnahme der koronaren CT-Angiographie in den Leistungskatalog des EBM ist im Vortestwahrscheinlichkeitsbereich für eine obstruktive KHK von 15–50% als Ursache der Symptomatik eine Verlagerung hin zur primär morphologisch basierten Diagnostik zu erwarten, wobei insbesondere bei inkonklusiven Befunden durch die Hinzunahme funktioneller Verfahren wie der Myokard-SPECT eine genauere Präselektion für die invasiven Therapieansätze zu erwarten ist. Darüber hinaus ermöglicht die Myokard-SPECT bei unauffälliger CT-Angiographie die Differenzialdiagnostik einer INOCA, um nicht zuletzt bei Frauen ohne epikardiale Koronarstenosen dieses prognostisch wichtige Krankheitsbild zu diagnostizieren.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. Oliver Lindner

Herz- und Diabeteszentrum NRW, Institut für Molekulare Biophysik, Radiopharmazie und Nuklearmedizin
Georgstr. 11, 32545 Bad Oeynhausen, Deutschland
olindner@hdz-nrw.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Den Interessenkonflikt der Autoren finden Sie online auf der DGK-Homepage unter <http://leitlinien.dgk.org/> bei der entsprechenden Publikation.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Lindner O, Bauersachs J, Bengel FM et al (2018) Policy paper nuclear cardiology—update 2018—Current status of clinical practice. Nuklearmedizin 57:146–152

2. Bundesärztekammer, Bundesvereinigung K, Fachgesellschaften ADWM Nationale Versorgungs-Leitlinie Chronische KHK (Langfassung), 7. Version 2024. AWMF-Register-Nr.: nvl-004. www.register.awmf.org/assets/guidelines/nvl-004_S3_Chronische-KHK_2024-09.pdf
3. Delgado V, Ajmone MN, de Waha S et al (2023) ESC Guidelines for the management of endocarditis. Eur Heart J 2023(44):3948–4042
4. Gotuzzo I, Slart R, Gimelli A et al (2024) Nuclear medicine practice for the assessment of cardiac sarcoidosis and amyloidosis. A survey endorsed by the EANM and EACVI. Eur J Nucl Med Mol Imaging 51:1809–1815
5. Lindner O (Koordinierender Autor), Nuklearmedizin DGN. S1-Leitlinie Myokard-Perfusions-SPECT(-CT). Registernummer 031-006. 2022. www.awmf.org/service/awmf-aktuell/myokard-perfusions-spect-ct
6. Vrints C, Andreotti F, Koskinas KC et al (2024) ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes. Eur Heart J 2024(45):3415–3537
7. Verberne HJ, Acampa W, Anagnostopoulos C et al (2015) EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT: 2015 revision. Eur J Nucl Med Mol Imaging 42:1929–1940
8. Maier A, Teunissen AJP, Nauta SA et al (2024) Uncovering atherosclerotic cardiovascular disease by PET imaging. Nat Rev Cardiol 21:632–651
9. Lindner O, Schäfer W, Rischpler C, Silber S, Burchert W (2023) Myocardial perfusion SPECT in Germany from 2012 to 2021: insights into development and quality indicators. Eur J Nucl Med Mol Imaging 50:1621–1628
10. Aribas E, van Lennep RJE, Elias-Smale SE et al (2022) Prevalence of microvascular angina among patients with stable symptoms in the absence of obstructive coronary artery disease: a systematic review. Cardiovasc Res 118:763–771
11. Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A et al (2018) ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. EuroIntervention 19(14):1435–1534
12. Hachamovitch R, Hayes SW, Friedman JD, Cohen I, Berman DS (2003) Comparison of the short-term survival benefit associated with revascularization compared with medical therapy in patients with no prior coronary artery disease undergoing stress myocardial perfusion single photon emission computed tomography. Circulation 107:2900–2907
13. Panza JA, Chrzanowski L, Bonow RO (2021) Myocardial Viability Assessment Before Surgical Revascularization in Ischemic Cardiomyopathy: JACC Review Topic of the Week. J Am Coll Cardiol 78:1068–1077
14. Crean A, Khan SN, Davies LC, Coulton R, Dutka DP (2009) Assessment of Myocardial Scar: Comparison Between F-FDG PET, CMR and Tc-Sestamibi. Clin Med Cardiol 3:69–76
15. Bax JJ, Delgado V (2015) Myocardial viability as integral part of the diagnostic and therapeutic approach to ischemic heart failure. J Nucl Cardiol 22:229–245
16. Almeida AG, Carpenter JP, Cameli M et al (2021) Multimodality imaging of myocardial viability: an expert consensus document from the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI). Eur Heart J Cardiovasc Imaging 22:e97–e125
17. Lindner O, Hacker M, Burchert W, Buechel RR SPECT and PET myocardial perfusion imaging in Austria, Germany, and Switzerland results of the first joint survey of 2021. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2023(50):3602–3608

18. McDonagh TA, Metra M, Adamo M et al (2021) ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: Developed by the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). With the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur J Heart Fail* 2022(24):4–131
19. Chareonthaitawee P, Beanlands RS, Chen W et al (2017) Joint SNMMI-ASNC Expert Consensus Document on the Role of (18)F-FDG PET/CT in Cardiac Sarcoid Detection and Therapy Monitoring. *J Nucl Med* 58:1341–1353
20. Cheng RK, Kittleson MM, Beavers CJ et al (2024) Diagnosis and Management of Cardiac Sarcoidosis: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 149:e1197–e1216
21. Slart R, Glaudemans A, Lancellotti P et al (2018) A joint procedural position statement on imaging in cardiac sarcoidosis: from the Cardiovascular and Inflammation & Infection Committees of the European Association of Nuclear Medicine, the European Association of Cardiovascular Imaging, and the American Society of Nuclear Cardiology. *J Nucl Cardiol* 25:298–319
22. Lee H, Schubert EK, Vidula MK et al (2023) Potential clinical utility of (68)Ga-DOTATATE PET/CT for detection and response assessment in cardiac sarcoidosis. *J Nucl Cardiol* 30:1075–1087
23. Greulich S, Gatidis S, Gräni C et al (2022) Hybrid Cardiac Magnetic Resonance/Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography to Differentiate Active From Chronic Cardiac Sarcoidosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 15:445–456
24. ASNC und EANM Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin. Kardiale Amyloidose. Leitfaden für die Praxis. www.asnc.org/wp-content/uploads/2024/05/19110-ASNC-AND-EANM-Amyloidosis-Practice-Points_LR19-1.pdf
25. Gillmore JD, Maurer MS, Falk RH et al (2016) Nonbiopsy Diagnosis of Cardiac Transthyretin Amyloidosis. *Circulation* 133:2404–2412
26. Rettl R, Duca F, Kronberger C et al (2025) Prognostic implication of DPD quantification in transthyretin cardiac amyloidosis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 26:251–260
27. Perugini E, Guidalotti PL, Salvi F et al (2005) Non-invasive etiologic diagnosis of cardiac amyloidosis using 99mTc-3,3-diphosphono-1,2-propanodicarboxylic acid scintigraphy. *J Am Coll Cardiol* 46:1076–1084
28. Aimo A, Ferrari CYF, Castiglione V et al (2024) PET and Cardiac Amyloidosis: Which Possible Role? *Heart Fail Clin* 20:e11–e21
29. Pizzi MN, Roque A, Fernández-Hidalgo N et al (2015) Improving the Diagnosis of Infective Endocarditis in Prosthetic Valves and Intracardiac Devices With 18F-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/Computed Tomography Angiography: Initial Results at an Infective Endocarditis Referral Center. *Circulation* 132:1113–1126
30. Lindner O (2020) Nuklearmedizinische Bildgebung bei infektiöser Endokarditis und Device-Infektionen. *Nuklearmediziner* 43:47–56
31. Erba PA, Conti U, Lazzeri E et al (2012) Added value of 99mTc-HMPAO-labeled leukocyte SPECT/CT in the characterization and management of patients with infectious endocarditis. *J Nucl Med* 53:1235–1243
32. Hyafil F, Rouzet F, Lepage L et al (2013) Role of radiolabelled leucocyte scintigraphy in patients with a suspicion of prosthetic valve endocarditis and inconclusive echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 14:586–594

Nuclear cardiology—Current status of the clinical application. Consensus paper of the German Cardiac Society (DGK) and the German Society of Nuclear Medicine (DGN)

This updated position paper from the German Society of Nuclear Medicine (DGN) and the German Cardiac Society (DGK) replaces the original statement from 2018. It gives an overview of the fields of application and the current value of nuclear cardiological imaging. The topics covered include chronic coronary syndrome, including viability diagnostics and the special value of positron emission tomography (PET), cardiomyopathies, cardiac sarcoidosis, amyloidosis, infectious endocarditis and inflammation of cardiac implants.

Keywords

Nuclear medicine · Single photon emission computed tomography · Positron emission tomography · Chronic coronary syndrome · Endocardial diseases

33. Rouzet F, Chequer R, Benali K et al (2014) Respective performance of 18F-FDG PET and radiolabeled leukocyte scintigraphy for the diagnosis of prosthetic valve endocarditis. *J Nucl Med* 55:1980–1985
34. Juneau D, Golfam M, Hazra S et al (2017) Positron Emission Tomography and Single-Photon Emission Computed Tomography Imaging in the Diagnosis of Cardiac Implantable Electronic Device Infection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Circ Cardiovasc Imaging* 10:e5772
35. Bundesamt für Strahlenschutz (2021) Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für nuklearmedizinische Untersuchungen. Vom 15. Juni 2021 www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion/drw-nuklearmedizin.pdf?__blob=publicationFile&v=1
36. Lindner O, Bauersachs J, Bengel F et al (2018) Positionspapier Nuklearkardiologie – Update 2018. *Kardiologie* 12:303–311. <https://doi.org/10.1007/s12181-018-0266-1>

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.