



Kevin Pilarczyk<sup>1</sup> · Udo Boeken<sup>2</sup> · Andreas Beckmann<sup>3</sup> · Andreas Markewitz<sup>4</sup> ·  
P. Christian Schulze<sup>5</sup> · Martin Pin<sup>6</sup> · Ingo Gräff<sup>7</sup> · Sebastian Schmidt<sup>8</sup> · Birk Runge<sup>9</sup> ·  
Hans-Jörg Busch<sup>10</sup> · Michael R. Preusch<sup>11</sup> · Nils Haake<sup>1</sup> · Gereon Schälte<sup>12</sup> ·  
Jan Gummert<sup>13</sup> · Guido Michels<sup>14</sup>

<sup>1</sup> Klinik für Intensivmedizin, imland Klinik Rendsburg, Rendsburg, Deutschland; <sup>2</sup> Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie, Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Deutschland; <sup>3</sup> Herzzentrum Duisburg, Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Evangelisches Krankenhaus Niederrhein, Duisburg, Deutschland; <sup>4</sup> Bendorf, Deutschland; <sup>5</sup> Klinik für Innere Medizin I, Universitätsklinikum Jena, Jena, Deutschland; <sup>6</sup> Zentrale Notaufnahme, Florence Nightingale Krankenhaus, Düsseldorf, Deutschland; <sup>7</sup> Interdisziplinäres Notfallzentrum, Universitätsklinikum Bonn, Bonn, Deutschland; <sup>8</sup> Kerckhoff-Klinik, Bad Nauheim, Deutschland; <sup>9</sup> Klinik für Herzchirurgie und Thoraxchirurgie, Universitätsklinikum Jena, Jena, Deutschland; <sup>10</sup> Universitätsklinikum, Universitäts-Notfallzentrum, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Deutschland; <sup>11</sup> Zentrum für Innere Medizin, Klinik für Kardiologie, Angiologie und Pneumologie, Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg, Deutschland; <sup>12</sup> Klinik für Anästhesiologie, Uniklinik RWTH Aachen, Aachen, Deutschland; <sup>13</sup> Klinik für Thorax- und Kardiovaskularchirurgie, Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen, Universitätsklinikum der Ruhr-Universität Bochum, Bad Oeynhausen, Deutschland; <sup>14</sup> Klinik für Akut- und Notfallmedizin, St.-Antonius-Hospital gGmbH, Akademisches Lehrkrankenhaus der RWTH Aachen, Eschweiler, Deutschland

## Empfehlungen zum Notfallmanagement von Patienten mit permanenten Herzunterstützungssystemen

Konsensuspapier der DGTHG, DIVI, DGIIN, DGAI, DGINA, DGfK und DGK

### Einleitung

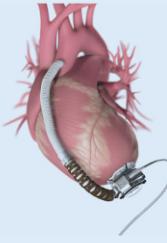
Inzidenz und Prävalenz der Herzinsuffizienz (HI) haben in den vergangenen Jahrzehnten nicht nur in Deutschland, sondern in allen westlichen Industrieländern stetig zugenommen. Die Herzinsuffizienz ist damit die inzwischen häufigste Einzeldiagnose von vollstationär behandelten Patienten und die dritthäufigste Todesursache in Deutschland [1]. Oftmals ist eine dauerhafte Stabilisierung von Patienten mit schwerer Herzinsuffizienz trotz der Vielzahl an medikamentösen und chirurgischen Therapieoptionen nicht möglich [2, 3]. Über viele Jahre war die Herztransplantation der Gold-

standard in der Therapie der terminalen, konservativ nicht dauerhaft zu stabilisierenden Herzinsuffizienz und permanente Herzunterstützungssysteme dienten lediglich zur Überbrückung der Zeit bis zu einer Transplantation [4].

Aufgrund des Spendermangels und des Rückgangs der durchgeführten Herztransplantationen sowie des technischen Fortschritts der Systeme mit Reduktion der postoperativen Komplikationen ist im Vergleich zu 2009 eine deutliche Zunahme der Implantationszahlen von permanenten Herzunterstützungssystemen zu verzeichnen (2018: 903 im Vergleich zu 390 im Jahr 2009; [5]). Gesamteuropäisch betrachtet können nur 25 % der Patienten, die zur Überbrückung ein Herzunterstützungssystem erhalten, innerhalb eines Jahrs nach Implantation transplantiert werden. Somit entsteht zwangsläufig der Status einer

chronischen Herz-Kreislauf-Unterstützung durch vorrangig linksventrikuläre Unterstützungssysteme bei Patienten, die ambulant betreut werden können und auf unbestimmte Zeit mit einem solchen Gerät leben müssen [6]. Basierend auf dieser Entwicklung und der steigenden Lebenserwartung der Patienten mit einem permanenten Herzunterstützungssystem gewinnt dieses Patientenkollektiv auch für die Intensiv- und Notfallmedizin außerhalb der Herzchirurgie, Kardiologie und Kinderkardiologie einschließlich des Rettungs- und Notarztwesens zunehmend an Bedeutung [7–10]. In einer aktuellen Studie musste etwa die Hälfte der Patienten innerhalb von 5 Jahren nach Implantation eines permanenten Herzunterstützungssystems akut- bzw. notfallmedizinisch behandelt werden [11, 12]. Die Besonderheiten in der Physiologie, potenzielle

Dieses Konsensuspapier wurde parallel in den Zeitschriften *Medizinische Klinik – Intensivmedizin und Notfallmedizin*, *Der Kardiologe*, *Der Anästhesist* und in der *Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie* veröffentlicht.

	Intrakorporales LVAD	Parakorporales LVAD	Total Artificial Heart
			
<b>Flussprofil</b>	Kontinuierlich	Pulsatil	Pulsatil
<b>Häufige Systeme</b>	Heartmate II, III HVAD	BerlinHeart Excor	TAH Syncardia
<b>EKG zur Rhythmuskontrolle?</b>	Ja	Ja	Nein
<b>Manuelle Pulskontrolle möglich?</b>	Nur bei guter Eigenkontraktilität	Ja	Ja
<b>Nichtinvasive Blutdruckmessung möglich?</b>	Nur bei guter Eigenkontraktilität Ggf. dopplersonographisch	Ja	Ja
<b>Herzdruckmassage</b>	Ja	Ja	Nein
<b>Defibrillation möglich?</b>	Ja	Ja	Nein
<b>Handpumpe vorhanden</b>	Nein	Ja	Ja

**Abb. 1** Klassifikation von permanenten Herzunterstützungssystemen (intrakorporales nicht-pulsatiles „left ventricular assist device“ (LVAD), parakorporales pulsatiles LVAD, pulsatiles Total Artificial Heart) und Übersicht zur Notfallversorgung. *Bild links:* HVAD® (mit freundl. Genehmigung der Firma Medtronic, Dublin, Irland). *Bild Mitte:* Berlin Heart Excor® (mit freundl. Genehmigung der Firma Berlin Heart GmbH, Berlin, Deutschland). *Bild rechts:* Cardiowest® (mit freundl. Genehmigung der Firma SynCardia Systems, Tucson, AZ, USA)

systembezogene Komplikationen und entsprechende Begleiterkrankungen von Patienten mit einem permanenten Herzunterstützungssystem sind komplex und die notfallmedizinische Versorgung dieser Patienten stellt eine Herausforderung für das gesamte Behandlungsteam dar [13]. Vor diesem Hintergrund haben die Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie e. V. (DGTHG), die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V. (DIVI, Sektionsgruppe Hämodynamik), die Deutsche Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin e. V. (DGIIN), die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI), die Deutsche Gesellschaft für Interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin (DGINA),

die Deutsche Gesellschaft für Kardiotechnik e. V. (DGfK) und die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK) dieses Konsensuspapier als Orientierungshilfe für alle in der Intensiv-, Akut- und Notfallmedizin Tätigen erarbeitet, um einen Beitrag zur qualifizierten, multiprofessionellen Versorgung von Patienten mit permanenten Herzunterstützungssystemen zu leisten.

Während im Bereich der permanenten Herzunterstützungssysteme die Explantation des eigenen Herzens und ein kompletter Ersatz dessen Funktion mit Implantation eines sog. Total Artificial Heart (TAH) die Ausnahme darstellt (23 Implantationen in Deutschland im Jahr 2018), werden Patienten in der Regel mit sog. Herzunterstützungssystemen

(„ventricular assist device“ [VAD]) versorgt (Abb. 1): Diese Pumpen werden zusätzlich zum eigenen Herzen implantiert. Während früher vor allem parakorporale Systeme implantiert wurden, findet man heute nahezu ausschließlich intrakorporale Systeme (Abb. 1). Dabei werden Systeme zur reinen Linksherz- („left ventricular assist device“ [LVAD]), Rechtsherz- („right ventricular assist device“ [RVAD]) sowie biventrikulären Unterstützung („biventricular assist device“ [BVAD]) unterschieden, wobei die meisten Systeme isoliert linksventrikulär implantiert werden. Intrakorporale VAD, parakorporale VAD und TAH unterscheiden sich grundlegend hinsichtlich der notfallmedizinischen Versorgung, sodass alle 3 Systeme im Konsensuspapier abgehandelt werden. Aufgrund der

	Zusammenfassung · Abstract
<p>klinischen Relevanz liegt der Schwerpunkt dieses Papiers jedoch auf den intrakorporalen LVAD von erwachsenen Patienten. Der Begriff „permanentes Herzunterstützungssystem“ wird dabei als Oberbegriff für alle 3 Systemarten verwendet, sodass Empfehlungen zu permanenten Herzunterstützungssystemen sich sowohl auf intrakorporale VAD, parakorporale VAD als auch auf TAH beziehen.</p>	<p>Kardiologe 2020 · 14:168–181 <a href="https://doi.org/10.1007/s12181-020-00391-3">https://doi.org/10.1007/s12181-020-00391-3</a>      © Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2020</p> <p>K. Pilarczyk · U. Boeken · A. Beckmann · A. Markewitz · P. C. Schulze · M. Pin · I. Gräff · S. Schmidt · B. Runge · H.-J. Busch · M. R. Preusch · N. Haake · G. Schälte · J. Gummert · G. Michels</p> <p><b>Empfehlungen zum Notfallmanagement von Patienten mit permanenten Herzunterstützungssystemen. Konsensuspapier der DGTHG, DIVI, DGIIN, DGAI, DGINA, DGfK und DGK</b></p>
<p><b>Bisherige Leitlinien und Empfehlungen</b></p> <p>Im Rahmen der Leitlinien zur Reanimation 2015 des European Resuscitation Council (ERC) werden im Kapitel „Kreislaufstillstand in besonderen Situationen, Kap. 4“ einige wesentliche Empfehlungen zu Wiederbelebungsmaßnahmen von Patienten mit permanenten Herzunterstützungssystemen gegeben [14]. Allerdings fehlt ein umfassendes Konzept zur notfallmedizinischen Versorgung dieses Patientenkollektivs. Zudem existiert ein Positionspapier der American Heart Association „Cardiopulmonary resuscitation in adults and children with mechanical circulatory support“, das sich jedoch primär auf Wiederbelebungsmaßnahmen konzentriert [15].</p>	<p><b>Zusammenfassung</b></p> <p>In den letzten Jahren ist aufgrund technischer Fortschritte mit einer Miniaturisierung der Systeme und Reduktion der postoperativen Komplikationen, Zunahme der Prävalenz der Herzinsuffizienz, dem Spendermangel im Bereich der Transplantation sowie steigender Lebenserwartung eine deutliche Zunahme der Patientenzahl mit permanenten Herzunterstützungssystemen zu verzeichnen. Dieses sehr spezielle Patientenkollektiv kann sowohl akute systemassoziierte Notfälle, wie z.B. Pumpenthrombose oder Device-Fehlfunktion, aber auch nichtsystemassoziierte Notfälle aufweisen. Aufgrund der Besonderheiten in der Physiologie sowie potenzieller systembezogener Komplika-</p> <p>tionen ist die Versorgung dieser Patienten in Notfallsituationen komplex. Nationale oder internationale Empfehlungen fehlen bisher. Das vorliegende Konsensuspapier bietet, basierend auf einer konsentierten Expertenmeinung, den Vorschlag für einen Algorithmus zur strukturierten und zügigen Evaluation von Notfällen bei Patienten mit permanenten Herzunterstützungssystemen sowie deren Management.</p> <p><b>Schlüsselwörter</b></p> <p>Total artificial heart · Ventrikuläres assist device · Herzstillstand · Wiederbelebung · Notfallmedizin</p>
<p><b>Diskussion der Studienlage</b></p> <p>Randomisiert-kontrollierte Studien (RCT) zur Notfallversorgung von Patienten mit einem permanenten Herzunterstützungssystem fehlen bis heute. Es existieren nur einzelne, meist kleine Fallserien, z.B. über die mechanische Herzdruckmassage bei Patienten mit permanenten Herzunterstützungssystemen [16–19].</p>	<p><b>Recommendations for emergency management of patients with permanent mechanical circulatory support . Consensus statement of DGTHG, DIVI, DGIIN, DGAI, DGINA, DGfK and DGK</b></p> <p><b>Abstract</b></p> <p>The prevalence of patients living with long-term mechanical circulatory support (MCS) is rapidly increasing due to improved technology, improved survival, reduced adverse event profiles, greater reliability and mechanical durability, and limited numbers of organs available for donation. Patients with long-term MCS are very likely to require emergency medical support due to MCS-associated complications (e.g., right heart failure, left ventricular assist device malfunction, hemorrhage and pump thrombosis) but also due to non-MCS-associated conditions. Because of the unique</p> <p>characteristics of mechanical support, management of these patients is complicated and there is very little literature on emergency care for these patients. The purpose of this national scientific statement is to present consensus-based recommendations for the initial evaluation and resuscitation of adult patients with long-term MCS.</p> <p><b>Keywords</b></p> <p>Total artificial heart · Ventricular assist device · Cardiac arrest · Resuscitation · Emergency medicine</p>
<p><b>Empfehlungen</b></p> <p><b>Allgemeines</b></p> <p>Aufgrund der veränderten Physiologie und somit schwierig zu beurteilenden Kreislausituation kann die Zeit bis zur Einleitung von suffizienten Maßnahmen bis hin zur kardiopulmonalen Reanimation im Vergleich zu Patienten ohne permanentes Herzunterstützungssystem signifikant verlängert sein [16].</p>	<p><b>Empfehlung 1</b></p> <p><b>In Einrichtungen, in denen regelmäßig Patienten mit permanenten Herzunterstützungssystemen betreut werden (insbesondere Herzchirurgie, Kardiologie, Rehabilitationskliniken), sollte ein verbindlicher Prozessablauf zum Vorgehen im Notfall in Form einer standardisierten Vorgehensweise („standard operating procedure“ [SOP]) etabliert und in regelmäßigen Abstand evaluiert werden.</b></p> <p><b>Empfehlung 2</b></p> <p><b>Mitarbeiter in Einrichtungen, in denen regelmäßig Patienten mit permanenten Herzunterstützungssystemen betreut werden (insbesondere Herzchirurgie, Kardiologie, Rehabilitationskliniken), sollten in regelmäßigen Abständen an</b></p>

### speziellen Fortbildungen zur notfallmedizinischen Versorgung dieser Patiententeilnehmen.

Im Rahmen der initialen Notfallversorgung eines Patienten mit einem permanenten Herzunterstützungssystem durch einen nichtspeziell geschulten Arzt sollte unverzüglich Kontakt mit einer Fachabteilung für Herzchirurgie und/oder Kardiologie (oft überregionale Heart-Failure-Zentren), idealerweise der implantierenden Klinik, aufgenommen werden. In der Regel tragen Patienten mit permanentem Herzunterstützungssystem eine Notfallkarte/einen Implantatnachweis bei sich, auf der die zuständige herzchirurgische Fachabteilung und die Notfallhotline des Herstellers vermerkt sind. Auch kann der unmittelbare Kontakt zur Herstellerhotline wertvolle unterstützende Informationen zum strukturierten Vorgehen in der Notfallsituation liefern. Daher sollten nach Möglichkeit vom Patienten oder dessen Angehörigen das genaue System, die implantierende Fachabteilung sowie die Kontaktadresse erfragt werden. Dabei ist es hilfreich, wenn nicht im Einzelfall die nächstgelegene Fachabteilung für Herzchirurgie und/oder Kardiologie sowie der Ansprechpartner ausfindig gemacht werden muss, sondern standardisierte Vorgehensweisen im Notfall vorliegen. Zukünftig sollten Rettungsleitstellen, analog zum Basic Life Support (BLS), eine telefonische Anleitung zur Notfallbehandlung/Reanimation von Patienten mit Herzunterstützungssystem geben können [20, 21]. Mit dem deutschlandweit prosperierenden Aufbau von telemedizinischer Einsatzunterstützung und Telenotarztsystemen könnte hier die Telemedizin eine wertvolle Fachunterstützung leisten [22, 23].

### Empfehlung 3

Im Rahmen der initialen Notfallversorgung von Patienten mit permanenten Herzunterstützungssystemen durch einen nichtspeziell geschulten Arzt soll unverzüglich Kontakt mit der zuständigen herzchirurgischen Fachabteilung und/oder Kardiologie und/oder Notfallhotline des Herstellers erfolgen.

### Empfehlung 4

In Einrichtungen, in denen regelmäßig Patienten mit einem permanenten Herzunterstützungssystem betreut werden (insbesondere Herzchirurgie, Kardiologie, Rehabilitationskliniken), sollen im Rahmen der multiprofessionellen Schnittstellenkommunikation mit dem betreuenden herzchirurgischen Zentrum gültige Verfahrensanweisungen implementiert werden, die ein strukturiertes und schnelles Management zuverlässig definieren.

### Notfallversorgung des Patienten mit nichtpulsatilem, intrakorporalem LVAD

Intrakorporale VAD werden in den meisten Fällen als sog. linksventrikuläre Unterstützungssysteme („left ventricular assist devices“ [LVAD]) verwendet [24]. Die Inflow-Kanüle des LVAD wird über den Apex in den linken Ventrikel (LV) eingeführt und führt somit ausschließlich zur linksventrikulären Entlastung. Die Auslassprothese („outflow graft“) wird an die Aorta ascendens anastomosiert. Die Steuerung des Systems erfolgt über einen Controller, der mittels einem subkutan nach zumeist epigastrisch getunnelten Kabel (Driveline) mit der Pumpe verbunden ist. An den Controller ist des Weiteren die Stromversorgung des Systems – entweder mit Akkumulatoren oder über Netzstrom – angeschlossen. Je nach Hersteller und Patientenkonditionen sind netzunabhängige Laufzeiten von 4–12 h möglich. Bei den heute eingesetzten nichtpulsatilen LVAD handelt es sich um vorlastabhängige und nachlastsensible Pumpen, sodass bei erniedrigter Vorlast (z. B. bei Hypovolämie) oder einer erhöhten Nachlast (z. B. arterieller Hypertonus) ein erniedrigter Pumpenfluss resultiert. Dabei ist zu beachten, dass die Pumpen sehr nachlastsensibel sind (*cave*: Hypertension mit erhöhtem mittlerem arteriellem Blutdruck → erhöhte Nachlast). Die meistimplantierten Devices (HVAD [HeartWare®-Ventricular-Assist-Systeme; Firma Medtronic, Dublin, Irland], Heartmate II/3, Firma Abbot, Chicago, IL, USA) sind im Hinblick auf die im Display angezeigten Pumpenpa-

rameter weitgehend vergleichbar. Der Nutzer wird über die eingestellte Drehzahl („rotations per minute“ [RPM]), den Blutfluss (l/min) und die Leistung (Watt) des Systems informiert. Dabei ist hervorzuheben, dass der angezeigte Fluss nur aufgrund der Drehzahl sowie Leistung und z. T. des Hämatokritwerts berechnet und nicht gemessen wird, sodass der angezeigte Blutfluss erheblich von der tatsächlichen Durchflussmenge abweichen kann. So kann z. B. bei einer Pumpenthrombose aufgrund eines Anstiegs der Leistung ein falsch-hoher Blutfluss angezeigt werden.

Da in der Regel nur die Funktion des linken Ventrikels durch die Implantation einer zusätzlichen Pumpe unterstützt wird, wird der rechte Ventrikel nur passiv über eine Reduktion der Nachlast durch Senkung des linksventrikulären enddiastolischen Drucks entlastet und muss das ihm angebotene Blutvolumen über die Lungenstrombahn in das linke Herz pumpen.

Nichtpulsatile VAD generieren einen kontinuierlichen Blutfluss während des gesamten Herzzyklus. Dadurch nähert sich abhängig von der eigenen mechanischen Herzaktion der diastolische Blutdruck dem systolischen, sodass die Blutdruckamplitude reduziert ist. Die Drehzahl der Pumpe ist fest eingestellt und adaptiert nicht bei Veränderungen der individuellen Kreislaufsituation, sodass z. B. bei körperlicher Belastung der Pumpenfluss des LVAD nicht bedarfssprechend ansteigt. Die Pumpensysteme der Firma Abbott (HM II/HM 3) reduzieren bei einer vermeintlichen oder tatsächlichen Entleerung des linken Ventrikels die Drehzahl um 200–600 RPM. Bei Normalisierung der Pumpenparameter ist diese Reduktion reversibel.

Die Evaluation des LVAD-Patienten erfolgt nach den in der Notfallmedizin gebräuchlichen ABCDE-Regeln (Abb. 2): Dabei wird zunächst der Patient (A: „airway“ = Atemweg, B: „breathing“ = Beatmung, C: „circulation“ = Kreislauf, D: „disability“ = Defizit, E: „environment“ = Umfeld), dann das LVAD-System (A = Auskultation/Alarm, B = Batterie, C = Controller, D = Driveline, E = Echokardiographie) untersucht [9, 25, 26].

ABCDE- Patient	ABCDE- LVAD
<b>A</b> irway (Atemweg) <b>B</b> reathing (Beatmung) <b>C</b> irculation (Kreislauf) <b>D</b> isability (Defizit) <b>E</b> nvironment (Umfeld)	<b>A</b> uskulation <b>B</b> arterie <b>C</b> ontroller <b>D</b> riveline <b>E</b> chokardiographie
<b>P</b> umpenfluss (l/min) <i>Alarmgrenzen</i> <b>P</b> umpendrehzahl (min <sup>-1</sup> ) <b>P</b> ower (Watt)	<b>HVAD</b> <i>Frei wählbar</i> <i>mind. 1 l/min</i> <b>HM II</b> <i>3-7</i> <i>Fixed</i> <i>&lt; 2,5 l/min</i> <b>HM III</b> <i>3-6</i> <i>Fixed</i> <i>&lt; 2,5 l/min</i>  <b>HM II</b> <b>2400-3200</b> <b>HM III</b> <b>8000-10000</b> <b>HM III</b> <b>5000-6000</b>  <b>HM II</b> <b>3-7</b> <b>HM III</b> <b>5-8</b> <b>HM III</b> <b>4,5-6,5</b>

**Abb. 2** ▲ Initiale Evaluation des Patienten mit linksventrikulärem Herzunterstützungssystem (LVAD) mittels ABCDE-Schema. *HM* Heartmate™, *HVAD* „HeartWare™ ventricular assist device“, *LVAD* „left ventricular assist device“. (Schemazeichnung HVAD® mit freundlicher Genehmigung der Firma Medtronic, Dublin, Irland)

Bewusstseinsstatus und Atemfunktion können beim LVAD-Patienten entsprechend den gängigen Algorithmen evaluiert werden. Ein wacher und ansprechbarer Patient hat entweder ein funktionierendes LVAD-System oder einen suffizienten Eigenkreislauf, der zumindest akut die LVAD-Dysfunktion kompensieren kann. Ist der Patient bewusstlos, muss überprüft werden, ob eine ausreichende Perfusion durch das LVAD und/oder eine Eigenkontraktilität des Herzens besteht und somit andere, nichthämodynamische Ursachen für seine Bewusstlosigkeit verantwortlich sind (z. B. Schlaganfall oder Hypoglykämie) oder eine schwere LVAD-Störung vorliegt. Da häufig aufgrund der fehlenden Pulsatilität bei nichtansprechbaren Patienten insbesondere präklinisch keine verlässliche Kontrolle des Blutdrucks, des Pulses und der peripheren Sauerstoffsättigung möglich ist, ist die Beurteilung der Kreislauffunktion bei bewusstlosen LVAD-Patienten erschwert [27, 28].

Die *Pulsoxymetrie* zeigt häufig aufgrund der fehlenden Pulsatilität keine validen Werte. Somit sind niedrige Werte nicht zwangsläufig als sicheres Zeichen einer Hypoxämie zu werten, normalhohe

Werte mit gutem Signal jedoch können in der Regel als korrekt betrachtet werden [29, 30].

Bei guter Eigenkontraktilität kann, muss aber nicht zwingend ein *peripherer Puls* tastbar sein. Bei nichtpulsatilem Fluss durch das LVAD und geringer eigener Herzleistung ist trotz suffizienter Kreislauffunktion kein Puls tastbar.

Eine *palpatorische Blutdruckmessung* ist nur in ca. 3 % der Patienten möglich, die automatische nichtinvasive Blutdruckmessung in ca. 50 % der Fälle korrekt [31]. Der Blutdruck sollte daher initial Doppler-sonographisch, im weiteren Verlauf ggf. invasiv ermittelt werden. Die arterielle Punktions kann aufgrund der fehlenden Pulsatilität und des nichttastbaren Pulses erschwert sein, weswegen die sonographisch gestützte Punktions zu empfehlen ist. Die arterielle Blutdruckkurve zeigt in den meisten Fällen eine geringe Pulsatilität.

Der *mittlere arterielle Blutdruck* (MAD) sollte bei Patienten mit LVAD zwischen 60 und 85 mmHg betragen und wird v.a. durch die Optimierung der LV-Vorlast und den Einsatz von vasoaktiven Substanzen gesteuert [32]. Ein MAP >110 mmHg wird von der Inter-

national Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT) als hypertensive Komplikation definiert und ist aufgrund der erhöhten Nachlast für das LVAD zu vermeiden bzw. konsequent zu therapieren [33]. Kann ein MAD >50 mmHg gemessen werden, ist von einer adäquaten Perfusion auszugehen. Alternativ kann versucht werden, den Blutfluss sonographisch über den großen Arterien (insbesondere A. femoralis und A. carotis) darzustellen.

In der initialen Phase ist aufgrund der genannten Limitationen die Beurteilung von *Surrogatparametern* einer suffizienten Kreislaufsituations, wie Hautfarbe und -temperatur, mentaler Status oder Kapillarfüllungszeit, von enormer Bedeutung. Des Weiteren sollten die Füllung der Halsvenen und das Ausmaß von Beinödemen zur Beurteilung des Volumenstatus bzw. der Rechtsherzfunktion dienen.

Ein 12-Kanal-EKG kann und sollte in Abhängigkeit von der Akutsituation bei LVAD-Patienten durchgeführt werden. Es gibt keine spezifischen EKG-Veränderungen bei LVAD-Patienten, allerdings weisen viele Patienten EKG-Pathologien aufgrund ihrer Grunderkrankung auf [34]. Trotz der teilweise bestehenden elektromechanischen Entkopplung kann das EKG auch beim LVAD-Patienten Hinweise auf die Ursache einer Kreislauffinsuffizienz liefern, wie etwa ventrikuläre Tachykardien oder Kammerflimmern oder Zeichen einer (rechts-)myokardialen Ischämie.

Die *Kapnometrie/Kapnographie* kann ebenfalls zur Beurteilung einer adäquaten Kreislauffunktion herangezogen werden. Daten von LVAD-Patienten liegen nicht vor, allerdings ist der Transport von CO<sub>2</sub> nicht von einem pulsatilen Fluss abhängig. Bei herzchirurgischen Patienten unter extrakorporaler Zirkulation und bei Patienten mit VA-ECMO (ECLS) konnte gezeigt werden, dass das ETCO<sub>2</sub> valide gemessen werden kann und mit dem Herzzeitvolumen/Blutfluss korreliert. Aus tierexperimentellen Studien lässt sich ableiten, dass ein ETCO<sub>2</sub> von 20 mmHg in etwa der kritischen Grenze für eine adäquate Perfusion mit einem Herzzeitvolumen von 1,5 l/min entspricht [35, 36]. Bei einem Blutfluss

des permanenten Herzunterstützungssystems  $>1,5\text{l}/\text{min}$  am Controller ohne Alarm sollte ebenfalls von einer suffizienten Perfusion ausgegangen werden. Ist der Blutfluss  $<1,5\text{l}/\text{min}$ , liegt eine schwerwiegende Funktionsstörung des Systems vor, die umgehend behoben werden sollte. Dies bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass keine ausreichende Kreislauffunktion vorliegt, da das eigene Herz zumindest kurzfristig den Systemausfall kompensieren kann. Die Systeme HM II und HM 3 (Firma Abbott) haben eine fest hinterlegte Alarmgrenze von  $2,5\text{l}/\text{min}$ . Wird diese  $>4\text{s}$  unterschritten, kommt es immer zu einem optischen und akustischen Alarm. Ein Notfallalgorithmus zur Evaluation und Therapie von LVAD-Patienten ist in **Abb. 3** dargestellt.

### Empfehlung 5

**Bei intubierten oder mittels eines supraglottischen Atemwegs versorgten Patienten mit einem permanenten Herzunterstützungssystem sollte die Kapnographie-/metrie routinemäßig eingesetzt werden. Sie kann additiv wertvolle Information zur Beurteilung der Kreislaufsituation liefern. Bei nichtinvasiv beatmeten Patienten kann diese bei einem absolut dicht abschließenden System erwogen werden.**

### Empfehlung 6

**Bei nichtansprechbaren Patienten mit einem permanenten Herzunterstützungssystem soll unverzüglich nach Zeichen der Kreislauffunktion gesucht werden. Dazu zählen v. a. ein MAD  $>50\text{ mm Hg}$ , ein  $\text{ETCO}_2 >20\text{ mm Hg}$ , der Doppler-sonographische Nachweis von Blutfluss über der A. carotis oder A. femoralis, der pulsoxymetrische Nachweis einer suffizienten Sauerstoffsättigung sowie ein Blutfluss  $>1,5\text{l}/\text{min}$  am Controller des Herzunterstützungssystems.**

### Empfehlung 7

**Bei Patienten mit einem LVAD sollte ein mittlerer arterieller Blutdruck zwischen 60 und 85 mm Hg angestrebt werden.**

### Echokardiographie

Die Echokardiographie ist zwar im Unterschied zu anderen Monitoringverfahren eine diskontinuierliche Methode, ermöglicht aber als einziges Verfahren eine direkte Visualisierung der kardialen Strukturen und ihrer Funktion. Aufgrund der Entwicklung mobiler hochauflösender Ultraschallgeräte und der Entstehung fokussierter Untersuchungstechniken hat sich die Echokardiographie zur Methode der Wahl beim häodynamisch stabilen, aber insbesondere bei instabilen Patienten in der Akutmedizin entwickelt. Dies gilt auch für LVAD-Patienten, die anderen Untersuchungsmethoden, wie etwa der Pulskonturanalyse, nicht zugänglich sind [37, 38].

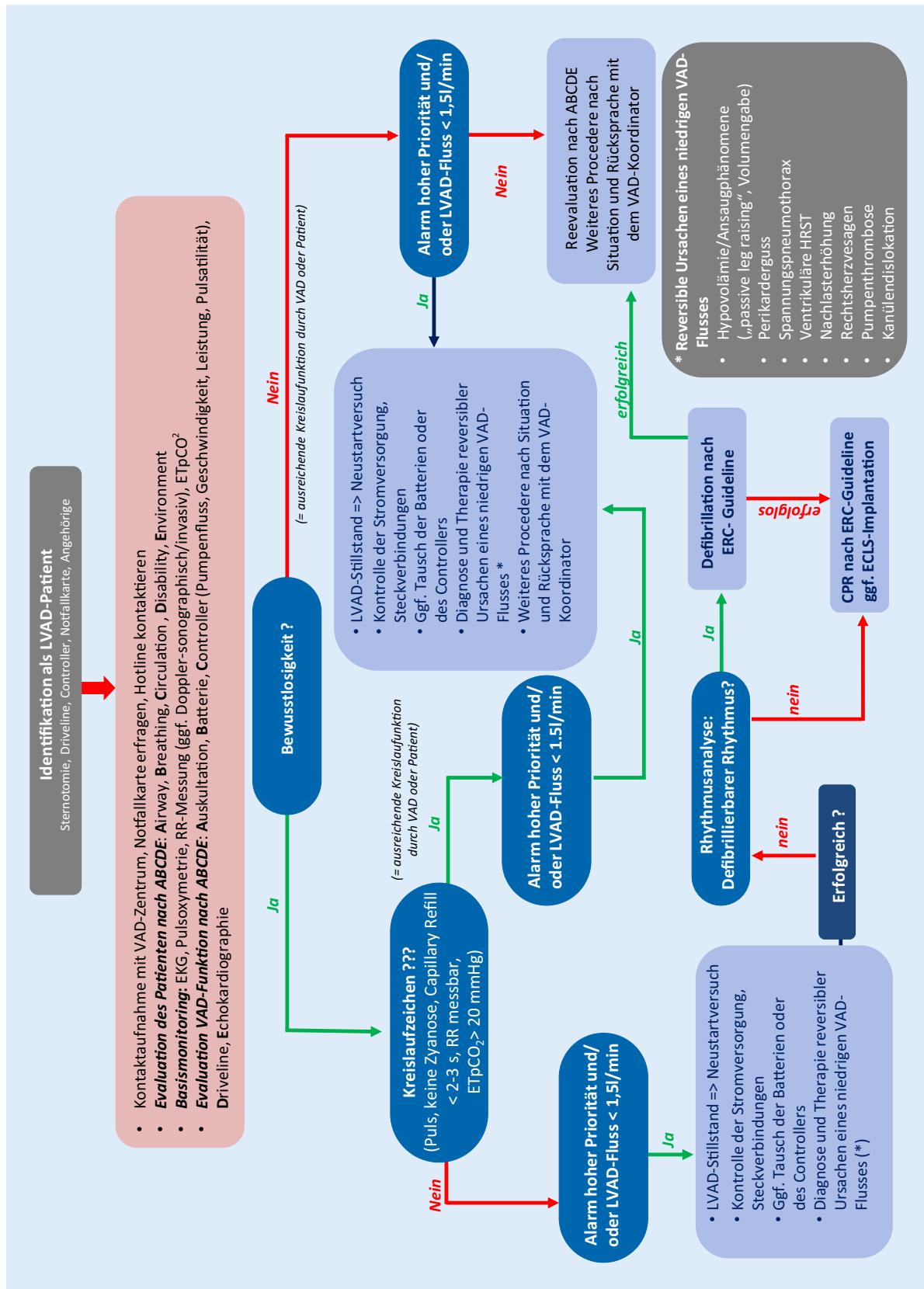
Während in der perioperativen Phase häufig die transösophageale Echokardiographie zur Anwendung kommt, ist im Verlauf auch die transthorakale Applikation geeignet: So können bei nahezu allen Patienten sowohl die Inflow- als auch die Outflow-Kanüle suffizient beurteilt werden [39]. Darüber hinaus bietet die Echokardiographie die Option, die Dimensionen des linken Ventrikels als Korrelat der linksventrikulären Entlastung, bei gleichzeitigem Monitoring der Rechtsherzfunktion und des Septumshifts, zu beurteilen. Des Weiteren können wichtige differenzialdiagnostische Informationen bei niedrigem Pumpenfluss (Low-flow-Alarm) eingeholt werden. Die komplette echokardiographische Evaluation eines LVAD-Patienten erfordert eine ausgewiesene Expertise und viel Erfahrung. Jedoch können mittels fokussierter Echokardiographie, auch durch den nicht in der Betreuung von LVAD-Patienten Erfahrenen, v. a. der Volumenstatus, die links- und rechtsventrikuläre Funktion/Dimension, die Aortenklappenöffnung und der Schweregrad einer potenziellen Aortenklappeninsuffizienz beurteilt werden. Demgegenüber erfordert die Beurteilung der Lage und einer möglichen Obstruktion der Kanülen ausreichende Erfahrung in der echokardiographischen Beurteilung von LVAD-Patienten.

### Empfehlung 8

**Bei LVAD-Patienten mit häodynamischer Instabilität und/oder Hinweisen auf eine LVAD-Dysfunktion soll schnellstmöglich eine standardisierte Echokardiographie durchgeführt werden.**

### Management „niedriger Pumpenfluss“

Die Ursachen für einen niedrigen Blutfluss sind vielfältig und beinhalten v. a. einen Volumenmangel, ein Rechtsherzversagen oder eine erhöhte Nachlast im Rahmen eines hypertensiven Notfallgeschehens. Da es sich bei den LVAD um vorlastabhängige Pumpen handelt, fällt mit abnehmender Vorlast auch der Pumpenfluss ab. Häufige Ursachen sind ein Volumenmangel oder eine Rechtsherzinsuffizienz. Da sich ein Rechtsherzversagen insbesondere präklinisch manchmal schwer diagnostizieren lässt, kann bei fehlender Möglichkeit der Echokardiographie ein Therapieversuch bei niedrigem Pumpenfluss in einer „volume challenge“ mittels „passive leg raising“ und/oder einer Volumengabe von 500 ml kristalliner Vollelektrolytlösung über 15 min („fluid challenge“) unter Beobachtung der Pumpenflussveränderung initiiert werden: Steigt der Pumpenfluss an, liegt ein Volumenmangel vor; bleibt der Pumpenfluss niedrig oder fällt er sogar, spricht dies eher für eine Rechtsherzdysfunktion. Zudem sollte parallel bzw. so schnell wie möglich eine fokussierte Echokardiographie zur Beurteilung der rechtsventrikulären (RV-)Funktion (RV-Dilatation? dilatierte/atemstarre V. cava inferior? reduzierte „tricuspid annular plane systolic excursion“ [TAPSE]?) durchgeführt werden. Neben LVAD-spezifischen Problemen können auch klassische notfallmedizinische Krankheitsbilder, wie ein Spannungspneumothorax (cave: schwierige Drainageanlage linksthorakal aufgrund massiver Adhäsionen mit Gefahr der Verletzung von Herz und Lunge) oder eine Perikardtamponade, Ursache eines niedrigen LVAD-Flusses sein und sollten entsprechend ausgeschlossen werden. Zudem sollte differenzialdiagnostisch an



**Abb. 3** ▲ Notfallalgorithmus zur Evaluation und Therapie von Patienten mit linksventrikulärem Herzunterstützungssystem (LVAD). CPR kardiopulmonale Reanimation; ECCLS Extracorporeal-Life-Support-System, EKG Elektrokardiogramm, ERC European Resuscitation Council, ETpCO<sub>2</sub> endtidaler pCO<sub>2</sub>, VAD „ventricular assist device“, RR Blutdruck (Riva-Rocci)

eine erhöhte linksventrikuläre Nachlast gedacht werden. Somit soll versucht werden, Doppler-sonographisch oder invasiv den systemischen Blutdruck zu messen. Im Fall einer akuten Hypertonie mit niedrigem Pumpenfluss sind Urapidil bzw. Nitroprussidnatrium zur Nachlastsenkung dem Nitroglyzerin aufgrund der Gefahr der enormen Vorlastreduktion vorzuziehen [40].

Im Fall einer Pumpenthrombose ist der reale Blutfluss erniedrigt, der errechnete und somit angezeigte Blutfluss aufgrund der erhöhten Leistungsaufnahme jedoch erhöht. Bei einer Sepsis resultiert aufgrund der erniedrigten Nachlast ein real erhöhter Blutfluss.

### Empfehlung 9

**Bei insuffizientem LVAD-Fluss (<1,5 l/min) unklarer Genese kann bei fehlender Möglichkeit der Echokardiographie initial ein PLR-Manöver und/oder „fluid challenge“ durchgeführt werden, um einen möglichen Volumenmangel nachzuweisen bzw. zu beheben. Parallel sollte baldmöglichst eine fokussierte Echokardiographie durchgeführt werden.**

### Stillstand des LVAD

Während technische LVAD-Fehlfunktionen bei den früheren Gerätegenerationen noch häufig waren (6 % nach 6 Monaten, 64 % nach 2 Jahren), ist dies heute sehr selten [41]. Die linksventrikuläre Funktion des Patienten reicht oft nicht oder nur für eine gewisse Zeit aus, um ohne LVAD-Unterstützung einen adäquaten Kreislauf aufrechtzuerhalten. Bei einem Ausfall des LVAD sollten daher alle Versuche unternommen werden, die Funktion der Pumpe so schnell wie möglich wiederherzustellen. Im Fall eines Pumpenstopps besteht jedoch grundsätzlich immer die Gefahr der Bildung von Blutkoageln in der Pumpe. Ein Neustart des LVAD nach einem Pumpenstopp >5 min ist somit aufgrund des Risikos einer Thrombenbildung im System nicht ungefährlich und sollte nur nach vorheriger Rücksprache mit dem VAD-Koordinator erfolgen. Eine manuelle Kompression der Karotiden

zur Senkung des zerebralen Embolierisikos bei einem Systemneustart kann erwogen werden. Patienten mit genügender Eigenherzfunktion können zwar trotz LVAD-Stillstand über Stunden hämodynamisch stabil bleiben, sie sollten jedoch so schnell wie möglich in die nächstgelegene Fachabteilung für Herzchirurgie und/oder Kardiologie (oft überregionale Heart-Failure-Zentren), idealerweise in die implantierende Klinik gebracht werden.

### Empfehlung 10

**Ein Neustart des LVAD nach einem Pumpenstopp >5 min sollte aufgrund der Gefahr einer Thrombenbildung nur nach vorheriger Rücksprache mit einer Fachabteilung für Herzchirurgie und/oder Kardiologie, idealerweise der implantierenden Klinik erfolgen.**

Häufig liegt bei einem Pumpenstillstand eine Diskonnektion von Controller und Driveline oder Controller und Batterie/Stromnetz vor, sodass bei einem LVAD-Stillstand sofort alle Verbindungen sowie der Batteriestatus überprüft werden müssen (Driveline – Systemcontroller, Systemcontroller – Batterien, Netzwerkkabel). Neben einer Diskonnektion an den vorgesehenen Anschlussstellen am Controller kann auch eine akzidentelle oder suizidal-absichtliche Durchtrennung der Driveline vorliegen. Sind alle Verbindungen intakt, kann bei fehlender Stromversorgung – optimalerweise unter telefonischer Anleitung durch eine Fachabteilung für Herzchirurgie und/oder Kardiologie, idealerweise der implantierenden Klinik oder der Notfallhotline des Herstellers – ein Batteriewechsel oder Anschluss an das Stromnetz erforderlich sein. Ebenso kann eine Störung des Controllers vorliegen, sodass dieser durch einen Ersatzcontroller ausgetauscht werden muss. Da die nichtpulsatilen LVAD nichtokklusive Pumpen ohne Klappen sind, kann es je nach Druckverhältnissen bei einem LVAD-Stillstand zu einer Flussumkehr mit einem retrograden Fluss aus der Aorta über die Pumpe in den linken Ventrikel von 1–2 l/min kommen.

### Empfehlung 11

**Bei einem Stillstand eines permanenten Herzunterstützungssystems sollen sofort alle Verbindungen sowie der Batteriestatus überprüft werden (Driveline – Systemcontroller, Systemcontroller – Batterien, Netzwerkkabel) sowie nach einer Beschädigung/Durchtrennung der Driveline gesucht werden.**

### Kardiopulmonale Reanimation (CPR)

Erstmalig gibt es in den aktuellen Leitlinien aus dem Jahr 2015 des International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) spezifische Empfehlungen für die Reanimationsmaßnahmen bei Patienten nach Implantation eines LVAD. Allerdings beschränken sich diese im Wesentlichen auf die frühe postoperative Phase nach Implantation und sind sehr kurz und allgemein gehalten. Zudem existiert ein Positionspapier der American Heart Association „Cardiopulmonary resuscitation in adults and children with mechanical circulatory support“ [15].

Daher werden im Folgenden die Grundzüge des diagnostischen und therapeutischen Vorgehens im Fall von Herzrhythmusstörungen und Kreislaufstillstand thematisiert. Grundsätzlich sollte analog zum gängigen Advanced-Cardiac-Life-Support(ACLS)-Algorithmus nach reversiblen Ursachen des Kreislaufstillstands gesucht werden (5 H's und T's: Hypovolämie, Hypoxie, Hydrogenionen/Acidose, Hypo-/Hyperkaliämie, Hypothermie; Tension/Spannungspneumothorax, [Perikard-]Tamponade, Toxine/Intoxikation, Thrombose/Lungenarterienembolie und akutes Koronarsyndrom).

### Herzrhythmusstörungen und Defibrillation

(Supra)ventrikuläre Herzrhythmusstörungen sind bei VAD-Patienten häufig zu beobachten [42, 43]. Im Fall von Herzrhythmusstörungen sollten reversible Ursachen, wie z. B. Ansaugphänomene (können sowohl Ursache als auch Folge ventrikulärer Arrhythmien sein), Elek-

trolytentgleisungen, QT-Zeit-Verlängerungen (oft medikamenteninduziert) und Myokardischämmen, in Betracht gezogen werden. Bei supraventrikulären Herzrhythmusstörungen, die sich meist in Form von Vorhofflimmern äußern, sollte je nach hämodynamischer Relevanz leitliniengerecht therapiert werden (Rhythmus- bzw. Frequenzkontrolle). Aufgrund des kontinuierlichen LVAD-Flusses können ventrikuläre Tachykardien oder auch Kammerflimmern von LVAD-Patienten gut und teilweise asymptatisch toleriert werden, sodass der Patient wach und ansprechbar ist [44]. Allerdings kann es ebenso über eine Verschlechterung der RV-Funktion und konsekutiv verminderte LVAD-Vorlast zu einer hämodynamischen Beeinträchtigung bis hin zum LVAD-Stillstand kommen. Im Fall von medikamentös bzw. konservativ (Amiodaron, Mexiletin und/oder  $\beta$ -Blocker) therapierefraktären ventrikulären Tachykardien kann die interventionelle Ablationstherapie eine sinnvolle Therapieoption darstellen.

Wache, ansprechbare Patienten mit Kammerflimmern müssen nicht unmittelbar defibrilliert werden. Aufgrund der Gefahr einer Rechtsherzdekompensation sollte unverzüglich Kontakt zu einer Fachabteilung für Herzchirurgie und/oder Kardiologie, idealerweise der implantierenden Klinik aufgenommen werden. Die elektrische und/oder medikamentöse Etablierung eines stabilen Herzrhythmus ist jedoch schnellstmöglich anzustreben. Eine externe Defibrillation als auch ein transkutanes Pacing können bei LVAD-Patienten ohne Komplikationen analog den ACLS-Algorithmen durchgeführt werden [45]. Während die Defibrillator-/Stimulationselektroden nicht unmittelbar über dem LVAD-Aggregat platziert werden sollten, ist eine Anpassung der Energie oder ein Trennen des LVAD vom Stromnetz nicht erforderlich.

LVAD-Patienten mit Kammerflimmern/ventrikulärer Tachykardie und Zeichen einer insuffizienten Kreislaufsituation (LVAD-Fluss  $<1,51/\text{min}$ , Puls *nicht* palpabel, MAP messbar  $<50 \text{ mm Hg}$ ,  $\text{ETCO}_2 <20 \text{ mm Hg}$ ) sollen unverzüglich defibrilliert werden.

Ist dies frustriert, muss die mechanische Herzdruckmassage eingeleitet werden.

### Medikamente

Medikamente können und sollten bei allen VAD-Patienten nach den Leitlinien des European Resuscitation Council bzw. des International Liaison Committee on Resuscitation verabreicht werden [45]. Inotropika können zur Unterstützung der Eigenherzfunktion notwendig werden, wenn das LVAD ausfällt oder es zum Rechtsherzversagen kommt.

### Mechanische Herzdruckmassage

Auch wenn eine externe mechanische Herzdruckmassage bei Patienten mit LVAD theoretisch zur Dislokation oder Beschädigung der Kanülen mit fatalen Folgen für den Patienten führt, ist bei fehlender eigener Kreislauffunktion und LVAD-Dysfunktion mit insuffizientem Fluss ( $<1,51/\text{min}$ ) die Etablierung eines Ersatzkreislaufs durch Anwendung von Thoraxkompressionen unumgänglich und in mehreren Fallserien auch als sicher durchführbar beschrieben [18, 19, 46]. Nach mechanischen Thoraxkompressionen kann es nach Rücksprache mit der zuständigen herzchirurgischen Fachabteilung und/oder Kardiologie sinnvoll sein, eine Bildgebung zur Lagekontrolle des LVAD und „outflow graft“ sowie zum Ausschluss eines Perikardergusses durchzuführen.

### Empfehlung 12

**Bei nichtansprechbaren LVAD-Patienten mit fehlenden Zeichen einer Kreislauffunktion und defibrillierbarem Rhythmus (Kammerflimmern/ventrikuläre Tachykardie) soll unverzüglich eine Defibrillation nach ERC-Leitlinie erfolgen.**

### Empfehlung 13

**Ist die Defibrillation frustriert, sollen erweiterte Reanimationsmaßnahmen (inkl. mechanischer Herzdruckmassage und Adrenalingabe) nach ERC-Leitlinie durchgeführt werden.**

### Empfehlung 14

**Bei nichtansprechbaren LVAD-Patienten mit fehlenden Zeichen einer Kreislauffunktion und nichtdefibrillierbarem Rhythmus (Asystolie/pulslose elektrische Aktivität) sollen die erweiterten Reanimationsmaßnahmen (inkl. mechanischer Herzdruckmassage und Adrenalingabe) nach ERC-Leitlinie durchgeführt werden.**

### Empfehlung 15

**Bei fehlender Stabilisierung unter CPR soll aufgrund der potenziellen mechanischen LVAD-Beschädigung sehr zeitnah (CPR  $>10 \text{ min}$ ) nach Abwägung von Pro- und Kontraktionskriterien die Implantation eines extrakorporalen Life-Support-Systems (ECLS) im Sinne einer extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation („extracorporeal cardiopulmonary resuscitation“ [eCPR]) erwogen werden.**

### Empfehlung 16

**Der Abbruch von Reanimationsmaßnahmen oder anderen notfallmedizinischen Maßnahmen bei Patienten mit einem permanenten Herzunterstützungssystem soll unter Berücksichtigung medizinischer und ethischer Aspekte sowie des Patientenwillens als patientenindividuelle Entscheidung im interdisziplinären Team nach Möglichkeit unter Einbezug des betreuenden herzchirurgischen Zentrums erfolgen.**

### Narkose beim LVAD-Patienten

Aufgrund der zumindest präklinisch fehlenden Möglichkeit der verlässlichen Blutdruckkontrolle sowie der Gefahr der Kreislaufdepression durch Vasodilatation mit konsekutivem Vorlastabfall sollte prinzipiell eine strenge Nutzen-Risiko-Abwägung einer Narkose oder Analgosedierung in der Notfallsituation sowie eine ausreichende Volumengabe zur Aufrechterhaltung der Vorlast erfolgen. Ketamin kann in dieser Situation aufgrund seiner sympathomimetischen Wirkung vorteilhaft sein, alternativ die Gabe von Midazolam. In der Hand des erfahrenen Anwenders kann jedoch auch niedrigdo-

siertes Propofol (0,5–0,75–1,0 mg/kgKG i.v.) sicher zur Narkoseinduktion oder Sedierung (1,5–2 mg/kgKG und Stunde) eingesetzt werden. Insbesondere zur alleinigen Analgosedierung bietet sich bei letzterem die Kombination mit Remifentanil (0,5–1,0 µg/kgKG und Minute) an. Acidose, Hypoxämie und Hyperkapnie müssen aufgrund der Gefahr der Steigerung der rechtsventrikulären Nachlast mit konsekutivem Rechtsherzversagen zwingend vermieden werden.

### Empfehlung 17

**Bei Einleitung einer Narkose/Analgesierung in Notfallsituationen bei LVAD-Patienten sollen die eingesetzten Substanzen vorsichtig nach klinischer Wirkung titriert werden, um eine hämodynamische Verschlechterung zu vermeiden.**

**Verlegung ins Zentrum vs. Behandlung vor Ort**

### Empfehlung 18

**Im Fall eines herzunterstützungssystemassoziierten Notfalls soll nach unverzüglicher Kontaktaufnahme mit der zuständigen Fachabteilung für Herzchirurgie und/oder Kardiologie (z.B. überregionale Heart-Failure-Zentren) die primäre Einweisung/Verlegung in diese Abteilung angestrebt werden.**

### Empfehlung 19

**Bei lebensbedrohlichen, primär nicht systemassoziierten Notfällen (z. B. Blutung, neurologischer Notfall) kann nach unverzüglicher Kontaktaufnahme mit der zuständigen Fachabteilung für Herzchirurgie und/oder Kardiologie der schnelle Transport in das nächstgelegene, geeignete Krankenhaus und die sekundäre Verlegung in die Fachabteilung für Herzchirurgie und/oder Kardiologie angestrebt werden.**

## Pulsatile (parakorporale) Herzunterstützungssysteme

Pulsatile parakorporale Systeme werden heutzutage nur noch selten und wenn, dann meist im pädiatrischen Bereich implantiert, da aufgrund der geringen Körpergröße eine komplett intrakorporale Implantation nicht möglich ist. Dabei wird das VAD wie bei den intrakorporalen LVAD zusätzlich zum eigenen Herzen implantiert. Es handelt sich derzeit um pneumatisch angetriebene Pumpen, bei denen das in eine Blutkammer einströmende Blut durch eine Membran von einer Luftkammer getrennt ist. Durch Druckluft wird das Blut in der Kammer verdrängt und in die Aorta (LVAD) bzw. Lungenarterie (RVAD) oder in beide (BVAD) ausgeworfen. Häufig erfolgt eine Implantation als biventrikuläres System (BVAD). Jeweils 2 künstliche Klappen verhindern einen Rückstrom des Bluts. Das eigene Herz des Patienten verbleibt dabei *in situ*. Derzeit wird nur noch das parakorporale System EXCOR® der Firma BerlinHeart implantiert. Pulsatile parakorporale Systeme pumpen mit einem nicht-EKG-getriggerten pulsatilen Fluss, sodass eine Differenz zwischen tastbarem Puls (z. B. 80/min) und EKG (z. B. 70/min) möglich ist. Durch den pulsatilen Fluss ist der Puls gut tastbar und das Standardmonitoring mittels nichtinvasiver Blutdruckmessung und Pulsoxymeter anwendbar.

Im Fall eines Ausfalls des pulsatilen VAD sollten alle Versuche unternommen werden, die Funktion der Pumpe so schnell wie möglich wiederherzustellen. Im Gegensatz zu den nichtpulsatilen intrakorporalen LVAD ist ein Rückfluss über die Pumpe nicht möglich, da die Pumpen mit mechanischen Klappen ausgestattet sind. Allerdings ist aufgrund der Klappen die Gefahr der Thrombenbildung bei Systemstillstand noch höher, sodass ein Restart des Systems nur in den ersten Minuten nach Stillstand sinnvoll ist. Wie bereits oben beschrieben sollten zunächst der Batteriestatus sowie alle Konnektionen (zwischen Antrieb und Pumpe sowie Patienten und Pumpe) überprüft werden. Da sich das eigene Herz analog zu den intrakorporalen LVAD *in situ* befindet, ist bei Ausfall

des Systems eine Inotropikatherapie zur Unterstützung der verbliebenen Herzfunktion möglich; ebenso kann bei Kammerflimmern defibrilliert werden. Kann bei Systemausfall trotz o. g. Maßnahmen kein adäquater Kreislauf etabliert werden, kann und muss analog zu den nicht-pulsatilen LVAD eine Herzdruckmassage durchgeführt werden.

Bei einem isolieren Ausfall der linken Pumpe eines BVAD sollte zur Vermeidung eines Lungenödems die rechte Pumpe entweder ebenfalls gestoppt werden oder die linke Pumpe sofort wieder in Gang gesetzt werden. Gelingt kein Restart des Kompressors, steht eine Handpumpe zur Verfügung, wobei auf eine komplette Füllung und Entleerung der Pumpe zu achten ist.

Aufgrund der parakorporalen Lage kann es bei diesem System nicht nur zu einer Beschädigung der Verbindungen, sondern auch zu einer Beschädigung des Systems selbst kommen. Ein Leck an der pneumatischen Druckluftleitung kann relativ einfach abgedichtet werden und stellt keine schwerwiegende Komplikation dar.

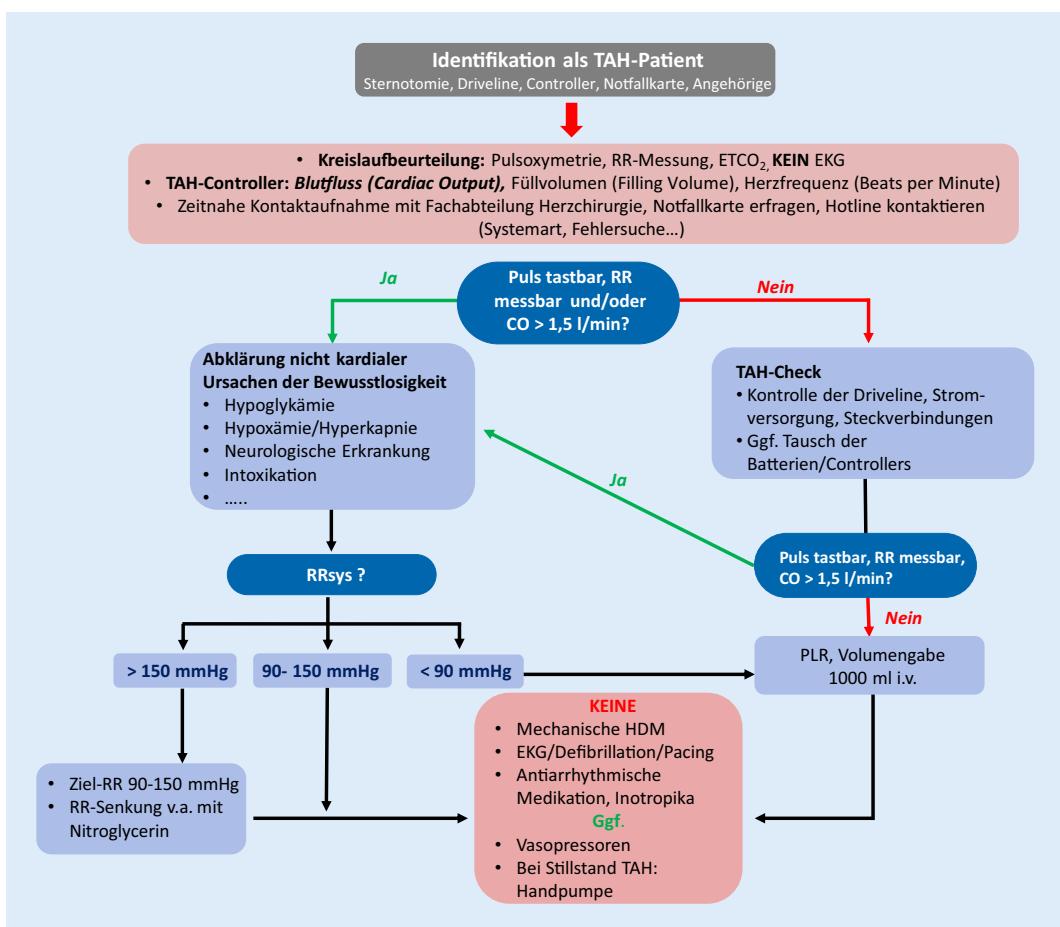
Eine Ruptur der Membran zwischen Blut- und Luftkammer äußert sich in einer Kissenbildung zwischen den einzelnen Teilmembranen. Die Pumpe muss umgehend getauscht werden, da dies eine Funktionseinschränkung darstellt. Ein unmittelbares Risiko einer Luftembolie besteht nicht, da die Pumpenmembran mehrschichtig aufgebaut ist und fast immer nur eine Teilmembran einreißt.

### Empfehlung 20

**Bei einem Stillstand eines parakorporalen VAD oder eines TAH soll nach Überprüfung aller Verbindungen sowie des Batteriestatus der Notfallbetrieb des Systems mit Handpumpe erfolgen.**

## TAH – „total artificial heart“

Eine Sonderstellung der heute klinisch eingesetzten implantierbaren Systeme nehmen die totalen Kunstherzen („total artificial heart“ [TAH]) ein. Zu ihrer Implantation wird das erkrankte Herz entfernt und an seiner Stelle werden 2 künstliche Blutpumpen an den Vorhöfen



**Abb. 4** Notfallalgorithmus für die Versorgung von bewusstlosen Patienten mit „total artificial heart“ (TAH). HDM Herzdruckmassage, CO „cardiac output“, EKG Elektrokardiogramm,  $ETCO_2$  endtidaler  $pCO_2$ , PLR „passive leg raising“, RR Blutdruck (Riva-Rocci), TAH „total artificial heart“

(linkes und rechtes Atrium) und großen Gefäßen (Aorta, Pulmonalarterie) angeschlossen [47, 48]. Die Pumpen werden pneumatisch, also mit Druckluft, angetrieben. Weltweit existiert derzeit nur ein zugelassenes System: Das Cardiowest TAH® der Firma Syncardia.

TAH generieren im Gegensatz zu den nichtpulsatilen intrakorporalen LVAD einen pulsatilen Fluss, sodass der periphere Puls palpierbar und auch nichtinvasiv der Blutdruck valide gemessen werden kann (Abb. 1). Da sich kein Patientenventrikel mehr in situ befindet, zeigt das EKG eine Nulllinie und eine externe Herzdruckmassage sowie eine Defibrillation und Gabe von Inotropika (z. B. Adrenalin) sind sinnlos. Bei einer ausgeprägten Vasoplegie ist jedoch die Gabe von Vasopressoren sinnvoll.

Da sich kein anatomisches Herz mehr in situ befindet, kommt es beim Systemausfall zum sofortigen Kreislaufzusammenbruch (kein Puls, kein Blutdruck) und der Patient ist nach wenigen Se-

kunden bewusstlos (Abb. 4). Es müssen daher sofort alle Versuche unternommen werden, die TAH-Funktion so schnell wie möglich wiederherzustellen. Zu überprüfen ist die Verbindung zwischen Patient und Antrieb. Es sollte überprüft werden, ob sich geladene Batterien im Antrieb befinden und ggf. getauscht werden. Zu jeder Zeit muss sich mindestens eine Batterie im Antrieb befinden, da das TAH sonst sofort stoppt. Wenn das TAH nicht anläuft, sollte umgehend der Antrieb getauscht werden. Ein Notfallhandantrieb ist möglich. Im Rahmen der notfall-/intensivmedizinischen Versorgung ist darauf zu achten, dass ein Seldinger-Draht, zentralvenöser Katheter oder Swan-Ganz-Katheter nicht den rechten Vorhof erreichen dürfen, da sie in der Inflow-Prothese des rechten Ventrikels stecken bleiben und zu einer Klappenblockade führen können.

## Empfehlung 21

Bei nichtlaufendem TAH sollte unmittelbar die Notfallpumpe angeschlossen werden.

Bei nichtansprechbaren TAH-Patienten sollen auch bei fehlenden Zeichen einer Kreislauffunktion und funktionierendem Antrieb keine erweiterten Reanimationsmaßnahmen (Defibrillation, mechanische Herzdruckmassage und Adrenalingabe) durchgeführt werden, da sie bei fehlendem Zielorgan sinnlos sind.

### Fachgesellschaften und Autoren

- Kevin Pilarczyk, Udo Boeken, Andreas Beckmann und Jan Gummert stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie e. V. (DGTHG);
- Andreas Markewitz, Kevin Pilarczyk und Nils Haake stellvertretend für die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V. (DIVI);
- Hans-Jörg Busch und Michael R. Preusch stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin e. V. (DGII);
- Gereon Schälte stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI);
- Martin Pin und Ingo Gräff stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft Interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin e. V. (DGINA);
- Sebastian Schmidt und Birk Runge stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft für Kardiotechnik e. V. (DGfK);
- Guido Michels und Christian Schulze stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK)

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

### Literatur

1. Deutsche Herzstiftung e.V. (Hrsg) (2018) Deutscher Herzbericht 2018. Deutsche Herzstiftung e.V., Frankfurt
2. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS, Falk V, González-Juanatey JR, Harjola VP, Jankowska EA, Jessup M, Linde C, Nihoyannopoulos P, Parisi JT, Pieske B, Riley JP, Rosano GMC, Ruilope LM, Ruschitzka F, Rutten FH, van der Meer P, ESC Scientific Document Group (2016) 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 37(27):2129–2200
3. Crespo-Leiro MG, Metra M, Lund LH, Milicic D, Costanzo MR, Filippatos G, Gustafsson F, Tsui S, Barge-Caballero E, De Jonge N, Frigerio M, Hamdan R, Hasin T, Hülsmann M, Nalbantgil S, Potena L, Bauersachs J, Gkouziouta A, Ruhparwar A, Ristic AD, Straburzynska-Migaj E, McDonagh T, Seferovic P, Ruschitzka F (2018) Advanced heart failure: a position statement of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail* 20(1):1505–1535
4. Derwall M, Moza A, Brückner A (2018) Mechanical circulatory support in terminal heart failure. *Anaesthesia* 67(5):326–335. <https://doi.org/10.1007/s00101-018-0435-4>
5. Beckmann A, Meyer R, Lewandowski J, Markewitz A, Harringer W (2019) German heart surgery report 2018: the annual updated registry of the German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery. *Thorac Cardiovasc Surg* 67(5):331–344
6. Eifert S (2018) Percutaneous and surgical options for mechanical circulatory support in treatment of terminal heart failure. *Anaesthesia* 67(5):321–325. <https://doi.org/10.1007/s00101-018-0444-3>
7. Birati EY, Rame JE (2014) Left ventricular assist device management and complications. *Crit Care Clin* 30(3):607–627. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2014.04.001>
8. Pratt AK, Shah NS, Boyce SW (2014) Left ventricular assist device management in the ICU. *Crit Care Med* 42(1):158–168
9. Trinquier P, Pirotte A, Gallagher LP, Iwaki KM, Beach C, Wilcox JE (2018) Left ventricular assist device management in the emergency department. *West J Emerg Med* 19(5):834–841
10. Sen A, Larson JS, Kashani KB, Librizzo SL, Patel BM, Guru PK, Alwardt CM, Pajaro O, Farmer JC (2016) Mechanical circulatory assist devices: a primer for critical care and emergency physicians. *Crit Care* 20(1):153–125
11. Tainter CR, Braun OÖ, Teran F, Nguyen AP, Robbins K, O'Brien EO, McMillan ZM, Schmidt U, Meier A, Goebel M, Pretorius V, Brambatti M, Adler ED, Seethala R (2018) Emergency department visits among patients with left ventricular assist devices. *Intern Emerg Med* 13(6):907–913
12. McKillip RP, Gopalsami A, Montoya M, Kim G, Walter JJ, Juricek C, Shappell E (2018) Analysis of patients with ventricular assist devices presenting to an Urban emergency department. *West J Emerg Med* 19(6):907–911
13. Beckendorf J et al (2019) Notfallmedizinische Versorgung von Patienten mit Kunstherz. *Notfall Rettungsmed* 22:471–478
14. Truhlář A, Deakin CD, Soar J, Khalifa GE, Alfonzo A, Bierens JJ, Brattebø G, Brugge H, Dunning J, Hunyadi-Antičević S, Koster RW, Lockey DJ, Lott C, Paal P, Perkins GD, Sandroni C, Thies KC, Zideman DA, Nolan JP (2015) Cardiac arrest in special circumstances section Collaborators. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 4. Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation* 95:148–201
15. Peberdy MA, Gluck JA, Ornato JP, Bermudez CA, Griffin RE, Kasirajan V, Kerber RE, Lewis EF, Link MS, Miller C, Teuteberg JJ, Thiagarajan R, Weiss RM, O'Neil B, American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee, Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative, and Resuscitation, Council on Cardiovascular Diseases in the Young, Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, Council on Clinical Cardiology (2017) Cardiopulmonary resuscitation in adults and children with mechanical circulatory support: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 135(24):e1115–e1134
16. Garg S, Ayers CR, Fitzsimmons C, Meyer D, Peltz M, Bethea B, Cornwell W, Araj F, Thibodeau J, Drazner MH (2014) In-hospital cardiopulmonary arrests in patients with left ventricular assist devices. *J Card Fail* 20(12):899–904
17. Haglund NA, Schlendorf K, Keebler M, Gupta C, Maltais S, Ely EW, Lenihan D (2014) Is a palpable pulse always restored during cardiopulmonary resuscitation in a patient with a left ventricular assist device? *Am J Med Sci* 347(4):322–327
18. Rottenberg EM, Heard J, Hamlin R, Sun BC, Awad H (2011) Abdominal only CPR during cardiac arrest for a patient with an LVAD during resternotomy: a case report. *J Cardiothorac Surg* 15:6:91
19. Mabvuu NT, Rodrigues JN (2014) External cardiac compression during cardiopulmonary resuscitation of patients with left ventricular assist devices. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 19(2):286–289
20. Lerner EB, Rea TD, Bobrow BJ, Acker JE, Berg RA, Brooks SC, Cone DC, Gay M, Gent LM, Mears G, Nadkarni VM, O'Connor RE, Potts J, Sayre MR, Swor RA, Travers AH, American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee, Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation (2012) Emergency medical service dispatch cardiopulmonary resuscitation prearrival instructions to improve survival from out-of-hospital cardiac arrest: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 125:648–655
21. Yuzefpolskaya M, Uriel N, Flannery M, Yip N, Mody K, Cagliostro B, Takayama H, Naka Y, Jorde UP, Goswami S, Colombo PC (2016) Advanced cardiovascular life support algorithm for the management of the hospitalized unresponsive patient on continuous flow left ventricular assist device support outside the intensive care unit. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 5:522–526
22. Brokmann JC, Felzen M, Beckers SK, Czaplik M, Hirsch F, Bergrath S, Rossaint R (2017) Telemedizin: Potenziale in der Notfallmedizin. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 52(2):107–117. <https://doi.org/10.1055/s-0042-108713>

### Korrespondenzadresse

#### Dr. med. Kevin Pilarczyk

Klinik für Intensivmedizin, imland Klinik Rendsburg  
Lilienstraße 22–28, 24768 Rendsburg,  
Deutschland  
kevin.pilarczyk@imland.de

#### Prof. Dr. med. Guido Michels

Klinik für Akut- und Notfallmedizin, St.-Antonius-Hospital gGmbH, Akademisches Lehrkrankenhaus der RWTH Aachen  
Dechant-Deckers-Str. 8, 52249 Eschweiler,  
Deutschland  
guido.michels@sah-eschweiler.de

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** G. Michels ist Sprecher der Arbeitsgruppe Kardiopulmonale Reanimation (AG42) und des Arbeitskreises Mechanische Kreislauffunterstützung der Arbeitsgruppe Interventionelle Kardiologie der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie e. V. (DGK) sowie Mitglied der Arbeitsgruppe ECMO/eCPR des Deutschen Rates für Wiederbelebung e. V./German Resuscitation Council (GRC) und erhielt Honorare für Vortragstätigkeiten von den Firmen Zoll, Getinge, Sedana Medical und Orion Pharma. Die Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. K. Pilarczyk, U. Boeken, A. Beckmann, A. Markewitz, P.C. Schulze, M. Pin, I. Gräff, S. Schmidt, B. Runge, H.-J. Busch, M.R. Preusch, N. Haake, G. Schälte und J. Gummert geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

23. Reiss N, Wegner KK, Hoffmann JD, Schulte Eistrup S, Boeken U, Morshuis M, Schmidt T (2019) Requirements for a telemedicine center to monitor LVAD patients. *Stud Health Technol Inform* 260:146–153
24. Kormos RL, Cowger J, Pagani FD, Teuteberg JJ, Goldstein DJ, Jacobs JP, Higgins RS, Stevenson LW, Stehlik J, Atluri P, Grady KL, Kirklin JK (2019) The Society of Thoracic Surgeons Intermacs database annual report: evolving indications, outcomes, and scientific partnerships. *J Heart Lung Transplant* 38(2):114–126
25. Bowles CT, Hards R, Wrightson N, Lincoln P, Kore S, Marley L, Dalzell JR, Raj B, Baker TA, Goodwin D, Carroll P, Pateman J, Black JMM, Kattenhorn P, Faulkner M, Parameshwar J, Butcher C, Mason M, Rosenberg A, McGovern I, Weymann A, Gwinnutt C, Banner NR, Schueler S, Simon AR, Pitcher DW (2017) Algorithms to guide ambulance clinicians in the management of emergencies in patients with implanted rotary left ventricular assist devices. *Emerg Med J* 34(12):842–850
26. Robertson J, Long B, Koyfman A (2016) The emergency management of ventricular assist devices. *Am J Emerg Med* 34(7):1294–1301
27. Bennett MK et al (2010) Ideal methodology to assess systemic blood pressure in patients with continuous-flow left ventricular assist devices. *J Heart Lung Transplant* 29(5):593–594
28. Lanier GM, Orlanes K, Hayashi Y, Murphy J, Flannery M, Te-Frey R, Uriel N, Yuzefpolskaya M, Mancini DM, Naka Y, Takayama H, Jorde UP, Demmer RT, Colombo PC (2013) Validity and reliability of a novel slow cuff-deflation system for noninvasive blood pressure monitoring in patients with continuous-flow left ventricular assist device. *Circ Heart Fail* 6:1005–1012
29. Hellman Y, Malik AS, Lane KA, Shen C, Wang IW, Wozniak TC, Hashmi ZA, Munson SD, Pickrell J, Caccamo MA, Gradus-Pizlo I, Hadi A (2017) Pulse Oximeter derived blood pressure measurement in patients with a continuous flow left ventricular assist device. *Artif Organs* 41(5):424–430
30. Montalto A, Palermo A, Gherli R, Cammardella A, Contento C, Piazza V, Musumeci F (2019) Pulse Oximeter usefulness for blood pressure monitoring in patients implanted with latest-generation continuous-flow device heartmate 3. *Transplant Proc* 51(1):210–214
31. Myers TJ, Bolmers M, Gregoric ID, Kar B, Frazier OH (2009) Assessment of arterial blood pressure during support with an axial flow left ventricular assist device. *J Heart Lung Transplant* 28(5):423–427
32. Lampert BC, Eckert C, Weaver S, Scanlon A, Lockard K, Allen C, Kunz N, Bermudez C, Bhama JK, Shullo MA, Kormos RL, Dew MA, Teuteberg JJ (2014) Blood pressure control in continuous flow left ventricular assist devices: efficacy and impact on adverse events. *Ann Thorac Surg* 97(1):139–146
33. Feldman D, Pamboukian SV, Teuteberg JJ, Birks E, Lietz K, Moore SA, Morgan JA, Arabia F, Bauman ME, Buchholz HW, Deng M, Dickstein ML, El-Banayosy A, Elliot T, Goldstein DJ, Grady KL, Jones K, Hrynewicz K, John R, Kaan A, Kusne S, Loebe M, Massicotte MP, Moazami N, Mohacsy P, Mooney M, Nelson T, Pagani F, Perry W, Potapov EV, Eduardo Rame J, Russell SD, Sorensen EN, Sun B, Strueber M, Mangi AA, Petty MG, Rogers J, International Society for Heart and Lung Transplantation (2013) The 2013 International Society for Heart and Lung Transplantation Guidelines for mechanical circulatory support: executive summary. *J Heart Lung Transplant* 32(2):157–187
34. Martinez SC, Fansler D, Lau J, Novak EL, Joseph SM, Kleiger RE (2015) Characteristics of the electrocardiogram in patients with continuous-flow left ventricular assist devices. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 20(1):62–68
35. Falk JL, Rackow EC, Weil MH (1988) End-tidal carbon dioxide concentration during cardiopulmonary resuscitation. *N Engl J Med* 318:607–611
36. Idris AH, Staples ED, O'Brien DJ, Melker RJ, Rush WJ, Del Duca KD, Falk JL (1994) End-tidal carbon dioxide during extremely low cardiac output. *Ann Emerg Med* 23:568–572
37. Ammar KA, Umland MM, Kramer C, Sulemanjee N, Jan MF, Khandheria BK, Seward JB, Paterick TE (2012) The ABCs of left ventricular assist device echocardiography: a systematic approach. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 13(11):885–899
38. Bouchez S, Van Belleghem Y, De Somer F, De Pauw M, Stroobandt R, Wouters P (2019) Haemodynamic management of patients with left ventricular assist devices using echocardiography: the essentials. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 20(4):373–382
39. Stainback RF, Estep JD, Agler DA, Birks EJ, Bremer M, Hung J, Kirkpatrick JN, Rogers JG, Shah NR, American Society of Echocardiography (2015) Echocardiography in the management of patients with left ventricular assist devices: recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 28(8):853–909
40. Cook JL, Colvin M, Francis GS, Grady KL, Hoffman TM, Jessup M, John R, Kiernan MS, Mitchell JE, Pagani FD, Petty M, Ravichandran P, Rogers JG, Semigran MJ, Toole JM, American Heart Association Heart Failure and Transplantation Committee of the Council on Clinical Cardiology, Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation, Council on Cardiovascular Disease in the Young, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia (2017) Recommendations for the Use of Mechanical Circulatory Support: Ambulatory and Community Patient Care: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 135(25):e1145–e1158
41. Kormos RL, McCall M, Althouse A, Lagazza L, Schaub R, Kormos MA, Zaldonis JA, Sciortino C, Lockard K, Kuntz N, Dunn E, Teuteberg JJ (2017) Left ventricular assist device malfunctions: it is more than just the pump. *Circulation* 136(18):1714–1725
42. Healy C, Viles-Gonzalez JF, Sacher F, Coffey JO, d'Avila A (2015) Management of ventricular arrhythmias in patients with mechanical ventricular support devices. *Curr Cardiol Rep* 17(8):59
43. Gopinathannair R, Cornwell WK, Dukes JW, Ellis CR, Hickey KT, Joglar JA, Pagani FD, Roukoz H, Slaughter MS, Patton KK, American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Heart Failure and Transplantation Committee of the Council on Clinical Cardiology, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing (2019) Device therapy and arrhythmia management in left ventricular assist device recipients: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000000673>
44. Patel P, Williams JG, Brice JH (2011) Sustained ventricular fibrillation in an alert patient: preserved hemodynamics with a left ventricular assist device. *Prehosp Emerg Care* 15(4):533–536
45. Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL, Greif R, Maconochie IK, Nikolaou NI, Perkins GD, Soar J, Truhlář A, Wyllie J, Zideman DA, ERC Guidelines 2015 Writing Group (2015) European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015: section 1. Executive summary. *Resuscitation* 95:1–80
46. Shinar Z, Bellezzo J, Stahovich M, Cheskes S, Chillcott S, Dembinsky W (2014) Chest compressions may be safe in arresting patients with left ventricular assist devices (LVADs). *Resuscitation* 85(5):702–704
47. Torregrossa G, Morshuis M, Varghese R, Hosseini-an L, Vida V, Tarzia V, Loforte A, Duveau D, Arabia F, Leprince P, Kasirajan V, Beyersdorf F, Musumeci F, Hetzer R, Krabatsch T, Gummert J, Copeland J, Gerosa G (2014) Results with SynCardia total artificial heart beyond 1 year. *ASAIO J* 60:626–634
48. Demondion P, Fournel L, Niculescu M, Pavie A, Leprince P (2013) The challenge of home discharge with a total artificial heart: the La Pitié Salpêtrière experience. *Eur J Cardiothorac Surg* 44:843–848