

# Mechanische Herz-Kreislauf-Unterstützung

Udo Boeken  
Alexander Assmann  
Frank Born  
Christof Schmid (Hrsg.)

# Mechanische Herz-Kreislauf- Unterstützung

Indikationen, Systeme, Implantationstechniken

Mit 133 Abbildungen und 28 Tabellen



Springer

**Herausgeber****Boeken, Udo, Prof. Dr. med.**Universitätsklinikum Düsseldorf, Klinik für  
Kardiovaskuläre Chirurgie**Assmann, Alexander, Dr. med.**Universitätsklinikum Düsseldorf, Klinik für  
Kardiovaskuläre Chirurgie**Born, Frank, MCT**Leiter Kardiotechnik Herzchirurgische  
Klinik und Poliklinik  
Klinikum der Universität München --  
Großhadern, Herzchirurgische Klinik und  
Poliklinik**Schmid, Christof, Prof. Dr. med.**Universitätsklinikum Regensburg  
Klinik für Herz-, Thorax- und  
herznahe Gefäßchirurgie

ISBN-13 978-3-642-29407-5

DOI 10.1007/978-3-642-29408-2

ISBN 978-3-642-29408-2 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Medizin

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig.

Zu widerhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

**Produkthaftung:** Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Planung: Dr. Fritz Kraemer, Heidelberg

Projektmanagement: Willi Bischoff, Heidelberg

Lektorat: Monika Liesenhoff, Bonn

Projektkoordination: Michael Barton, Heidelberg

Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Fotonachweis Umschlag: © Getty Images, © Medioimages/Photodisc

Satz: medionet Publishing Services Ltd., Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Medizin ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media  
[www.springer.com](http://www.springer.com)

## Geleitwort

---

Das vergangene Jahrzehnt hat zu enormen Fortschritten in der kardiovaskulären Medizin geführt, die das Tätigkeitsfeld in der Herzchirurgie und auch der Kardiologie entscheidend verändert haben. Dies hat letztendlich zu einer engeren Zusammenarbeit und gemeinsamen politischen Ausrichtung dieser Fachgesellschaften geführt und spiegelt sich in den gemeinsamen erstellten Leitlinien und Konsensuspapieren wider. Diese vermehrte interdisziplinäre Zusammenarbeit hat in einem besonderen Maße auch zwischen der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz und Gefäßchirurgie und der Deutschen Gesellschaft für Kardiotechnik stattgefunden und zeigte sich ganz deutlich in der ersten gemeinsamen Fokustagung im Herbst letzten Jahres. Die Berufsbilder »Herzchirurg« und »Kardiotechniker« definieren sich neu, da neue Therapieverfahren und Operationstechniken nur durch ein echtes Zusammenwirken im Team erfolgreich umgesetzt werden können. Ich möchte hier nur einige Beispiele aufzeigen, die ein komplettes Umdenken erforderten: die »Off pump« Bypasschirurgie, minimal invasive Klappenchirurgie, die Entwicklung der TAVI unter ECMO standby.

Zeitgleich zeigt sich eine deutliche Verlagerung des herzchirurgischen Patientenguts in das höhere Lebensalter mit zahlreichen Komorbiditäten und Mehrfachherzerkrankungen, die zur Behandlung anstehen. Mit der erfolgten Anpassung hin zu schonenden und minimalisierten Verfahren der extrakorporalen Zirkulation und differenzierten Operationstechniken wurde diesem Problem begegnet.

Die enormen technischen Fortentwicklungen der extrakorporalen Zirkulation und vor allem der Assistensysteme zur Therapie des akuten oder chronischen Herz- und Lungenversagens finden heute Anwendung weit über den Bereich der Herzchirurgie hinaus, z. B. der ECMO-Einsatz in Herzkatheterlaboren und im Rettungsdienst.

Die Behandlung der terminalen Herzinsuffizienz im höheren Alter stellt nunmehr durch die Fortentwicklung der bisherigen komplexen Unterstützungssysteme zu miniaturisierten LVAD (z. B. Heartmate III, Heartware, Circulite usw.) eine durchaus auf längere Zeit hinaus permanente aussichtsreiche Therapieoption dar. Es ist absehbar, dass hier eine stetige Zunahme der Implantationen stattfinden wird, die natürlich eine Anpassung in der Struktur der Nachsorge erforderlich macht.

Auch die Entwicklung des totalen Herzersatzes (TAH) wird mit Sicherheit in der nahen Zukunft durch hochtechnisierte Neuentwicklungen (z.B: Carmat) wieder eine Alternative für einzelne Patienten darstellen.

Die Arbeitsgruppe »Extrakorporale Zirkulation« hat sich in dieser Buch-Neuaufgabe ausführlichst mit diesem Gesamtthemenkomplex befasst. In den einzelnen Artikeln wird zunächst historisch betrachtet, wie sich die einzelnen Techniken entwickelt haben, aber insbesondere wird die aktuelle Situation exakt definiert und auch die Zukunftstechnologien diskutiert. Dieser Gesamtüberblick erlaubt allen interessierten Lesern einen ausgezeichneten Überblick zur extrakorporalen Zirkulation, Kreislaufassistenz- und Lungenersatzverfahren. Gleichzeitig ist eine Gesamtbetrachtung der Weltliteratur entstanden, welches für alle Beteiligten und Interessierten gleichermaßen in der Herzchirurgie, Anästhesie, Kardiologie und Kardiotechnik als Standardlektüre zu empfehlen ist. Der Arbeitsgruppe »Extrakorporale Zirkulation« und den beteiligten Autoren sind wir daher sehr dankbar und gratulieren zu dieser erfolgreichen Arbeit.

Leipzig im Oktober 2012

**Friedrich Wilhelm Mohr**

Präsident der DGTHG

## Vorwort

---

Die Arbeitsgruppe „Extrakorporale Zirkulation und Mechanische Kreislaufunterstützung“ der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie wurde 1997 gegründet. Eine vordringliche Aufgabe dieser AG ist die Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen Herzchirurgie und Kardio-technik. So entstanden unter der Federführung der Arbeitsgruppe bisher 3 Bücher, die sich alle mit den Schnittmengen zwischen den beiden Berufsgruppen befassen und in enger Zusammenarbeit verfasst wurden. Im Jahr 2001 erschien zunächst der Band „Extrakorporale Zirkulation – wissenschaftlich begründet?“. Es folgte 2003 der nächste Band, der sich erstmals mit dem Gebiet der Kreislaufunterstützung befasste: „Synopsis der biologischen und mechanischen Kreislaufunterstützung“. Aufbauend auf dem Werk von 2001 erschien 2006 der bisher letzte Band unter Federführung der AG. Der Titel „Empfehlungen zum Einsatz und zur Verwendung der Herz-Lungen-Maschine“ zeigt bereits, dass in diesem Werk die Anwendung der EKZ aufbauend auf den Grundlagen in enger Anlehnung an die Richtlinien des European Board of Cardiovascular Perfusion dargestellt wird.

Nach nunmehr 9 Jahren seit Erscheinen des Buches zur mechanischen Kreislaufunterstützung (MKU) sah es die AG als absolut notwendig an, hier ein umfassendes Update in Form eines neuen Buches zu erstellen. Gerade im Bereich der Herzchirurgie hat eine rasante Weiterentwicklung stattgefunden, und seit Publikation der sog. Rematch-Studie im Jahr 2001 kam es zu einem sprunghaften Anstieg der Implantationszahlen im Bereich der ventrikulären Unterstützung. Mittlerweile ist nicht nur die Vielzahl der zur Verfügung stehenden Systeme, sondern auch deren technische Qualität bemerkenswert. Im vorliegenden Werk findet sich nun eine vollständige Übersicht über den aktuellen Stand der mechanischen Kreislaufunterstützung. Es wird hierbei sowohl ein Fokus auf die verschiedenen Systeme als auch auf differenzierte Indikationen gelegt. Die vier Hauptindikationen zur MKU werden neben der kurzfristigen, postoperativen Unterstützung detailliert dargestellt: „Bridge-to-Decision“, „Bridge-to-Recovery“, „Bridge-to-Transplant“ und nicht zuletzt der immer wichtigere Bereich der „Destination-Therapy“.

Da das Buch u. a. auch viele praktische Hinweise für die Nachsorge der einzelnen Systeme enthält, wurde bewusst ein Format gewählt, das die Mitnahme in der Kitteltasche ermöglicht. Somit stellt dieser Band nicht nur einen

Gesamtüberblick dar, er eignet sich durchaus auch als tägliches Nachschlagewerk sowohl für die operative Planung als auch für die ambulante Betreuung der Patienten.

Die vorliegenden Kapitel wurden von den einzelnen Arbeitsgruppen in den deutschen Herzzentren verfasst, wobei stets lokale Schwerpunkte und Kompetenzen berücksichtigt wurden. Dabei wurde auf größtmögliche kooperative Zusammenarbeit zwischen Herzchirurgie und Kardiotechnik geachtet und die Position und Sichtweise des sog. VAD-Koordinators in den einzelnen Kliniken berücksichtigt.

Der Aufbau der einzelnen Kapitel ist zumeist vergleichbar. Grundlegenden Informationen mit historischen Anmerkungen folgen in der Regel eine Beschreibung des Systems und die Darstellung der Implantationstechnik. Die perioperative Betreuung und die ambulante Nachsorge werden letztlich jeweils durch ausgewählte Literaturzitate ergänzt.

Wir bedanken uns bei allen beteiligten Autoren für Ihr großes Engagement. Alle Kapitel wurden trotz des engen Klinikalltages fristgerecht erstellt. Weiterhin gilt unser Dank auch allen anderen, die sich an der Entstehung und Vollendung dieses Buches organisatorisch oder finanziell beteiligt haben. Ein besonderer Dank geht hierbei an den Springer Verlag und Herrn Dr. Fritz Kraemer.

Düsseldorf und Regensburg im September 2012

**Udo Boeken**

**Alexander Assmann**

**Frank Born**

**Christof Schmid**

# Inhaltsverzeichnis

---

1	<b>Geschichte der mechanischen Kreislaufunterstützung</b> . . . . .	1
	<i>U. Boeken</i>	
1.1	<b>Grundlegendes</b> . . . . .	2
1.2	<b>Hintergrund</b> . . . . .	2
1.3	<b>Historie</b> . . . . .	3
1.4	<b>Ventrikuläre Unterstützungssysteme (VAD) – Entwicklung und Einteilung</b> . . . . .	4
1.4.1	Kurzzeit-Unterstützungssysteme . . . . .	4
1.4.2	VAD – 1. Generation . . . . .	4
1.4.3	VAD – 2. Generation . . . . .	5
1.4.4	VAD – 3. Generation . . . . .	5
1.5	<b>Vollständiges Kunstherz (TAH)</b> . . . . .	6
1.6	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> . . . . .	7
2	<b>Indikationen zur mechanischen Kreislaufunterstützung</b> . . . . .	9
2.1	<b>Therapieziele (BTB, BTT, BTR, DT)</b> . . . . .	10
	<i>S. Michel, R. Sodian, I. Kaczmarek</i>	
2.1.1	Bridge-to-Bridge (BTB) bzw. Bridge-to-Decision (BTD) . . . . .	10
2.1.2	Bridge-to-Transplantation (BTT) . . . . .	10
2.1.3	Bridge-to-Recovery (BTR) . . . . .	11
2.1.4	Destination-Therapy (DT) . . . . .	12
2.2	<b>Indikationsstellung</b> . . . . .	13
	<i>S. Michel, R. Sodian, I. Kaczmarek</i>	
2.3	<b>Kontraindikationen</b> . . . . .	17
	<i>S. Michel, R. Sodian, I. Kaczmarek</i>	
2.4	<b>Pulmonale Hypertonie und mechanische Kreislaufunterstützung</b> . . . . .	18
	<i>H. Welp, J. Sindermann, T.D.T. Tjan</i>	
2.4.1	Mechanische Kreislaufunterstützung als Alternative zur Transplantation . . . . .	20
2.4.2	Pulsatile Unterstützung zur Stabilisierung für eine Transplantation . . . . .	20
2.4.3	Einfluss der pulsatilen Unterstützung auf neuroendokrine Veränderungen . . . . .	23
2.4.4	Einfluss der Art der Unterstützung auf die Organfunktion . . . . .	26



3	<b>Akuttherapie</b> . . . . .	33
3.1	<b>Intraaortale Ballongegenpulsation</b> . . . . .	35
	<i>R. Tandler</i>	
3.1.1	Historie . . . . .	35
3.1.2	Systembeschreibung und Wirkprinzip . . . . .	35
3.1.3	Implantationstechnik . . . . .	38
3.1.4	Alternative Implantationstechniken . . . . .	39
3.1.5	Indikationen . . . . .	40
3.1.6	Kontraindikationen . . . . .	42
3.1.7	Komplikationsmöglichkeiten . . . . .	42
3.1.8	Management, Weaning und Explantation . . . . .	43
3.1.9	Sonderfall Kinder . . . . .	44
3.1.10	Zusammenfassung . . . . .	44
3.2	<b>Perkutane Systeme</b> . . . . .	45
	<i>M. Siepe, C. Benk, F. Beyersdorf</i>	
3.2.1	Grundlegendes . . . . .	45
3.2.2	Indikation . . . . .	46
3.2.3	Technische Beschreibung der unterschiedlichen zur Verfügung stehenden Systeme . . . . .	48
3.2.4	Klinische und experimentelle Ergebnisse . . . . .	50
3.2.5	Diskussion und Limitierung der Systeme . . . . .	52
3.2.6	Zusammenfassung . . . . .	53
3.3	<b>Herz und/oder Lungenunterstützung beim kardiozirkulatorischen Versagen – va-ECMO</b> . . . . .	53
	<i>M. Hilker, C. Schmid</i>	
3.3.1	Grundlegendes . . . . .	53
3.3.2	ECMO-Systeme . . . . .	54
3.3.3	Kanülierungstechniken . . . . .	58
3.3.4	Indikationen . . . . .	62
3.3.5	Management an der va-ECMO . . . . .	64
3.3.6	Studienlage . . . . .	65
3.4	<b>Transport mit mechanischer Herz-Kreislauf-Unterstützung</b> . . . . .	66
	<i>F. Born, U. Boeken</i>	
3.4.1	Grundlegendes . . . . .	66
3.4.2	Logistik und Extra Corporeal Life Support (ECLS) . . . . .	67
3.4.3	Definition: mechanisches Kreislaufunterstützungssystem ECMO . . . . .	68

3.4.4	Indikation für mechanische Kreislaufunterstützung . . . . .	69
3.4.5	Technische Probleme des ECLS-Systems – Kanülierung . . . . .	69
3.4.6	Gerinnungsmanagement . . . . .	70
3.4.7	Ziel der Unterstützungstherapie . . . . .	71
3.4.8	Zusammenfassung . . . . .	74
<b>4</b>	<b>Langzeitunterstützung . . . . .</b>	<b>79</b>
4.1	<b>Parakorporale Systeme einschließlich Implantationstechniken . . . . .</b>	<b>80</b>
4.1.1	Thoratec paracorporeal ventricular Assist Device . . . . . <i>D. Schibilsky, C. Schlensak</i>	80
4.1.2	Berlin Heart EXCOR VAD . . . . . <i>A. Rukosujew, A. Hoffmeier, T.D.T. Tjan</i>	85
4.1.3	Medos-VAD . . . . . <i>A. K. Bigdeli, R.Sodian, I. Kaczmarek</i>	95
4.1.4	Abiomed . . . . . <i>F. Wagner</i>	101
4.2	<b>Intrakorporale Systeme einschließlich Implantationstechniken . . . . .</b>	<b>114</b>
4.2.1	Verdrängerpumpen – HeartMate I . . . . . <i>D. Schibilsky, C. Schlensak</i>	114
4.2.2	Axialer Antrieb . . . . . <i>T. Drews, T. Krabatsch</i>	116
4.2.3	Zentrifugalpumpen als Linksherzunterstützungssysteme . . . . . <i>J. D. Schmitto, A. Haverich, M. Strüber</i> HeartWare HVAD . . . . . Duraheart . . . . .	128 128 130
4.2.4	Biventrikuläre mechanische Kreislaufunterstützung mit zwei »continuous flow« Pumpen der 3. Generation . . . . . <i>T.D.T. Tjan, M. Scherer, H. Welp</i>	132
<b>5</b>	<b>Kunstherzen (TAH) . . . . .</b>	<b>155</b>
5.1	<b>TAH: Cardiowest . . . . .</b> <i>M. Morshuis, U. Schulz</i>	<b>156</b>
5.1.1	Grundlegendes . . . . .	156
5.1.2	Entwicklung des Kunstherzens (TAH) . . . . .	157
5.1.3	AbioCor . . . . .	160
5.1.4	Cardiowest . . . . .	162
5.1.5	Psychologische Probleme und ethische Erwägungen . . . . .	181

5.2	<b>Self-made-TAH aus BiVAD: para- und intrakorporale Optionen . . . .</b>	183
	<i>M. Morshuis, U. Schulz</i>	
5.2.1	Chirurgische Technik Thoratec-TAH . . . . .	183
5.2.2	BiVAD HeartWare . . . . .	185
5.3	<b>Self-made TAH . . . . .</b>	187
	<i>H. Welp, A. Rukosujew, T.D.T. Tjan</i>	
5.3.1	Grundlegendes . . . . .	187
5.3.2	Münsteraner Erfahrungen . . . . .	188
5.3.3	Technik der Implantation . . . . .	190
5.3.4	Zusammenfassung . . . . .	193
6	<b>Dauerhafte mechanische Kreislaufunterstützung bei Kindern und Patienten mit angeborenen Herzfehlern . . . . .</b>	199
	<i>E. V. Potapov, M. Hübler, O. Miera, V. Alexi-Meskishvili, R. Hetzer</i>	
6.1	<b>Geschichte . . . . .</b>	200
6.2	<b>Optionen . . . . .</b>	200
6.3	<b>Systeme für die Langzeitunterstützung bei Neugeborenen und Kleinkindern . . . . .</b>	201
6.3.1	Beschreibung . . . . .	201
6.3.2	Indikationen . . . . .	204
6.3.3	Antikoagulation . . . . .	204
6.4	<b>Implantierbare Systeme bei Kindern . . . . .</b>	205
6.5	<b>VAD-Implantation bei angeborenem Herzfehler . . . . .</b>	206
6.6	<b>Entwöhnung bei myokardialer Erholung . . . . .</b>	208
6.7	<b>Perspektiven . . . . .</b>	208
7	<b>Lungenunterstützung bei respiratorischem Versagen . . . . .</b>	211
7.1	<b>Veno-venöse extrakorporale Membranoxygenierung (vv-ECMO) . . . . .</b>	212
	<i>D. Camboni, C. Schmid</i>	
7.1.1	Grundlegendes . . . . .	212
7.1.2	Physiologische Grundlagen . . . . .	212
7.1.3	Gasaustausch an der ECMO . . . . .	213
7.1.4	Equipment . . . . .	213
7.1.5	Indikationen . . . . .	215
7.1.6	Unterschiede zwischen der veno-venösen und der veno-arteriellen ECMO . . . . .	216
7.1.7	Management . . . . .	218

7.1.8	Weaning . . . . .	219
7.1.9	Studienlage . . . . .	220
7.1.10	Zusammenfassung . . . . .	223
7.2	<b>Pumpenlose extrakorporale Lungenunterstützung/ interventioneller Lungenassistent (PECLA/iLA)</b> . . . . .	223
	<i>T. Pühler, C. Schmid</i>	
7.2.1	Grundlegendes . . . . .	223
7.2.2	Technische Voraussetzungen der PECLA/iLA-Therapie . . . . .	224
7.2.3	Implantationstechnik und Management . . . . .	226
7.2.4	Vorteile und Grenzen der PECLA/iLA-Therapie . . . . .	227
7.2.5	Indikationen und Studienlage . . . . .	228
7.2.6	Neue Konzepte und Fazit . . . . .	230
8	<b>VAD-Nachsorge</b> . . . . .	235
8.1	<b>Gerinnungsmanagement bei VAD- und TAH-Patienten</b> . . . . .	236
	<i>M. Morshuis, C. Özpeker, A. Koster, U. Schulz</i>	
8.1.1	Grundlegendes . . . . .	236
8.1.2	Unfraktioniertes Heparin . . . . .	237
8.1.3	Coumadin-induzierte Hautnekrose . . . . .	239
8.1.4	Resistenz gegen aggregationshemmende Therapie . . . . .	240
8.1.5	Der Einfluss der VAD-Systeme auf die Blutgerinnung . . . . .	242
8.1.6	Antikoagulation, Blutung und Thrombose bei Patienten mit HeartMate-II-Device . . . . .	243
8.1.7	Neue Antikoagulantia und Thrombozytenaggregationshemmer . . . . .	244
8.1.8	Gerinnungsmanagement im Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen . . . . .	245
8.2	<b>Infektionsprävention</b> . . . . .	247
	<i>A. Assmann, A. Kraft</i>	
8.2.1	Bedeutung von Infektionen bei VAD-Patienten . . . . .	247
8.2.2	Infektionsprävention bei VAD-Patienten . . . . .	247
8.3	<b>Weaning vom VAD</b> . . . . .	251
	<i>M. Dandel, E. Potapov, T. Krabatsch, R. Hetzer</i>	
8.3.1	Grundlegendes . . . . .	251
8.3.2	Myokarderholung unter mechanischer Ventrikelentlastung . . . . .	252
8.3.3	Weaning von ventrikulären Unterstützungssystemen . . . . .	255
8.3.4	VAD-Explantation . . . . .	265
8.3.5	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	266

8.4	<b>Patientenmanagement (»VAD-Koordination«) und Rehabilitation . . .</b>	268
	<i>M. Dandel, E. Potapov, T. Krabatsch, R. Hetzer</i>	
8.4.1	Prä- und intraoperative Betreuung . . . . .	269
8.4.2	Patientenschulung, Medikation und Device-Management . . . . .	270
8.4.3	Überwachung und Vermeidung von Komplikationen . . . . .	270
8.4.4	Zusammenfassung . . . . .	274
9	<b>Komplikationsmanagement . . . . .</b>	283
9.1	<b>Rechtsventrikuläre Funktion vor, während und nach Implantation eines linksventrikulären Unterstützungssystems . . . . .</b>	284
	<i>E. V. Potapov, T. Krabatsch, A. Stepanenko, T. Gromann, R. Hetzer</i>	
9.1.1	Präoperative Vorhersage des rechtsventrikulären Versagens . . . . .	285
9.1.2	Intraoperatives rechtsventrikuläres Versagen . . . . .	291
9.1.3	Postoperative Therapie der rechtsventrikulären Dysfunktion . . . . .	293
9.1.4	Spätdysfunktion des rechten Ventrikels . . . . .	300
9.2	<b>Thromboembolische Komplikationen am VAD . . . . .</b>	301
	<i>J. R. Sindermann, M. Scherer, A. Hoffmeier</i>	
9.3	<b>Blutung am Herzunterstützungssystem . . . . .</b>	305
	<i>A. Hoffmeier, J.R. Sindermann</i>	
9.3.1	Perioperative Blutungen . . . . .	306
9.3.2	Blutungen im Langzeitverlauf . . . . .	307
9.3.3	Zusammenfassung . . . . .	311
9.4	<b>Infektionen . . . . .</b>	312
	<i>J. Litmathe</i>	
9.4.1	Grundsätzliche Betrachtungen . . . . .	312
9.4.2	Ursachen nosokomialer Infektionen . . . . .	312
9.4.3	Besonderheiten beim VAD-Patienten . . . . .	314
9.4.4	Differenzialtherapeutisches Vorgehen . . . . .	315
9.4.5	Ausblick . . . . .	317
9.5	<b>Herzrhythmusstörungen . . . . .</b>	318
	<i>J. Litmathe</i>	
9.5.1	Grundsätzliches . . . . .	318
9.5.2	Einteilung von Arrhythmien . . . . .	318
9.5.3	Ursachen . . . . .	320
9.5.4	Diagnostik/Therapie . . . . .	322
9.5.5	Reanimation bei Kunstherzpatienten . . . . .	324

10	<b>Ausblick</b> . . . . .	333
10.1	<b>Transkutanes Energietransmissionssystem</b> . . . . .	334
	<i>A. Mehdiani</i>	
10.1.1	Grundlegendes . . . . .	334
10.1.2	Funktionsweise des transkutanen Energietransmissionssystems . . . . .	334
10.1.3	Ansätze in der Vergangenheit . . . . .	335
10.1.4	LionHeart 2000 LVAS . . . . .	336
10.1.5	AbioCorTM IRH/AbioCor Total Artificial Heart . . . . .	336
10.1.6	Aussichten . . . . .	337
10.2	<b>Partielle Linksherzunterstützung mit CircuLite Synergy VAD (Update der CE-Zulassungsstudie)</b> . . . . .	339
	<i>S. Klotz</i>	
10.2.1	Grundlegendes . . . . .	339
10.2.2	Aufbau des CircuLite Synergy VAD . . . . .	340
10.2.3	Implantation des CircuLite Synergy VAD . . . . .	341
10.2.4	Europäische CircuLite Synergy CE-Zulassungsstudie . . . . .	342
10.2.5	Patientenauswahl für CircuLite Synergy VAD . . . . .	344
10.2.6	Diskussion und Zukunftsaussichten . . . . .	345
10.3	<b>Neueste Entwicklungen in den Bereichen Herzunterstützungssysteme und Kunstherzen</b> . . . . .	346
	<i>D. Saeed, P. Ortman</i>	
10.3.1	Herzunterstützungssysteme . . . . .	347
10.3.2	Kunstherzen (Total artificial heart) . . . . .	352
10.4	<b>Biotechnologie</b> . . . . .	354
	<i>A. Assmann, A. Lichtenberg, P. Akhyari</i>	
10.4.1	Modifikation des Biointerface mechanischer VAD-Systeme . . . . .	354
10.4.2	Anatomische Verlagerung des kritischen Biointerface mechanischer VAD-Systeme . . . . .	357
10.4.3	Vermeidung eines Biointerface zwischen mechanischem VAD-System und der systemischen Blutzirkulation . . . . .	358
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	365

# Autorenverzeichnis

---

## **Akhyari, Payam, Dr. med.**

Universitätsklinikum Düsseldorf  
Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie  
Moorenstraße 5  
40225 Düsseldorf

## **Alexi-Meskishvili, Vladimir, Prof. Dr. med.**

Universitätsklinikum Düsseldorf  
Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie  
Moorenstraße 5  
40225 Düsseldorf

## **Assmann, Alexander, Dr. med.**

Universitätsklinikum Düsseldorf  
Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie  
Moorenstraße 5  
40225 Düsseldorf

## **Benk, Christoph, Dipl.-Ing.**

Chirurgisches Universitätsklinikum Freiburg  
Abteilung Herz- und Gefäßchirurgie  
Hugstetterstr. 55  
79106 Freiburg im Breisgau

## **Bigdeli, Amir-Khosrow, Dr. med.**

Klinikum der Universität München – Großhadern  
Herzchirurgische Klinik und Poliklinik  
Marchioninistraße 15  
81377 München

## **Beyersdorf, Friedhelm, Prof. Dr. Dr. h.c.**

Universitätsklinikum Freiburg  
Chirurgische Klinik, Abt. für Herz- und Gefäßchirurgie  
Hugstetterstr. 55  
79106 Freiburg

**Boeken, Udo, Prof. Dr. med.**

Universitätsklinikum Düsseldorf  
Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie  
Moorenstraße 5  
40225 Düsseldorf

**Born, Frank, MCT**

Klinikum der Universität München – Großhadern  
Herzchirurgische Klinik und Poliklinik  
Marchioninistraße 15  
81377 München f.born@web.de

**Camboni, Daniele, PD Dr. med.**

Universitätsklinikum Regensburg  
Klinik für Herz-, Thorax- und herznahe Gefäßchirurgie  
Franz-Josef-Strauß-Allee 11  
93053 Regensburg

**Dandel, Michael, Prof. asoc. Dr. med. habil.**

Deutsches Herzzentrum Berlin  
Transplantationsbereich und PH Spezialambulanz  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin

**Drews, Thorsten, Dr. med.**

Deutsches Herzzentrum Berlin  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin

**Gromann, Tom Wolfgang, Dr. med.**

Deutsches Herzzentrum Berlin  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin

**Haverich, Axel, Prof. Dr. med. Dr. h.c.**

Medizinische Hochschule Hannover  
Klinik für Herz-, Transplantations- und Gefäßchirurgie  
Carl-Neuberg-Str. 1  
30625 Hannover



**Hetzer, Roland, Prof. Dr. med. Dr. h.c.mult.**

Deutsches Herzzentrum Berlin  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin

**Hilker, Michael, Prof. Dr. med.**

Universitätsklinikum Regensburg  
Klinik für Herz-, Thorax- und herznahe Gefäßchirurgie  
Franz-Josef-Strauß-Allee 11  
93053 Regensburg

**Hoffmeier, Andreas, Prof. Dr. med.**

Universitätsklinikum Münster  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Albert-Schweitzer-Campus 1  
48149 Münster

**Hübler, Michael, Dr. med.**

Deutsches Herzzentrum Berlin  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin

**Kaczmarek, Ingo, PD Dr. med.**

Klinikum der Universität München – Großhadern  
Herzchirurgische Klinik und Poliklinik  
Marchioninistraße 15  
81377 München

**Klotz, Stefan, Prof. Dr. med.**

Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck  
Klinik für Herz- und thorakale Gefäßchirurgie  
Ratzeburger Allee 160  
23538 Lübeck

**Koster, Andreas, PD Dr. med.**

Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen  
Klinik für Thorax- und Kardiovaskularchirurgie  
Georgstraße 11  
32545 Bad Oeynhausen

**Krabatsch, Thomas, Prof. Dr. med.**

Deutsches Herzzentrum Berlin  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin

**Kraft, Alexander**

Universitätsklinikum Düsseldorf  
Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie  
Moorenstraße 5  
40225 Düsseldorf

**Lichtenberg, Artur, Prof. Dr. med.**

Universitätsklinikum Düsseldorf  
Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie  
Moorenstraße 5  
40225 Düsseldorf

**Litmathe, Jens, PD Dr. med.**

Universitätsklinikum Aachen  
Neurologische Klinik  
Pauwelsstraße 30  
52074 Aachen

**Mehdiani, Arash**

Universitätsklinikum Düsseldorf  
Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie  
Moorenstraße 5  
40225 Düsseldorf

**Michel, Sebastian, Dr. med.**

Klinikum der Universität München – Großhadern  
Herzchirurgische Klinik und Poliklinik  
Marchioninistraße 15  
81377 München

**Mira, Oliver, Dr. med.**

Deutsches Herzzentrum Berlin  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin

**Morshuis, Michiel, Dr. med.**

Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen  
Klinik für Thorax- und Kardiovaskularchirurgie  
Georgstraße 11  
32545 Bad Oeynhausen

**Ortmann, Philipp**

Universitätsklinikum Düsseldorf  
Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie  
Moorenstraße 5  
40225 Düsseldorf

**Özpeker, Cenk, Dr. med.**

Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen  
Klinik für Thorax- und Kardiovaskularchirurgie  
Georgstraße 11  
32545 Bad Oeynhausen

**Potapov, Evgenij, PD Dr. med.**

Deutsches Herzzentrum Berlin  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin

**Röfe, Daniela**

Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen  
Klinik für Thorax- und Kardiovaskularchirurgie  
Georgstraße 11  
32545 Bad Oeynhausen

**Rukosujew, Andreas, PD Dr. med.**

Universitätsklinikum Münster  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Albert-Schweitzer-Campus 1  
48149 Münster

**Saeed, Diyar, PD Dr. med.**

Universitätsklinikum Düsseldorf  
Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie  
Moorenstraße 5  
40225 Düsseldorf

**Schibilsky, David, Dr. med.**

Thorax- Herz- und Gefäßchirurgie  
Universitätsklinikum Tübingen  
Hoppe-Seyler-Straße 3  
72076 Tübingen

**Schlensak, Christian, Prof. Dr. med.**

Thorax- Herz- und Gefäßchirurgie  
Universitätsklinikum Tübingen  
Hoppe-Seyler-Straße 3  
72076 Tübingen

**Schmid, Christof, Prof. Dr. med.**

Universitätsklinikum Regensburg  
Klinik für Herz-, Thorax- und herznahe Gefäßchirurgie  
Franz-Josef-Strauß-Allee 11  
93053 Regensburg

**Schmitto, Jan D., PD Dr. med.**

Medizinische Hochschule Hannover  
Klinik für Herz-, Transplantations- und Gefäßchirurgie  
Carl-Neuberg-Str. 1  
30625 Hannover

**Schulz, Uwe**

Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen  
Klinik für Thorax- und Kardiovaskularchirurgie  
Georgstraße 11  
32545 Bad Oeynhausen

**Siepe, Matthias, Prof. Dr. med.**

Chirurgisches Universitätsklinikum Freiburg  
Abteilung Herz- und Gefäßchirurgie  
Hugstetterstr. 55  
79106 Freiburg im Breisgau

**Sodian, Ralf, Prof. Dr. med.**

Klinikum der Universität München – Großhadern  
Herzchirurgische Klinik und Poliklinik  
Marchioninistraße 15  
81377 München

**Stepanenko, Alexander, MD**

Deutsches Herzzentrum Berlin  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin

**Strüber, Martin, Prof. Dr. med.**

Universitätsklinikum Leipzig  
Herzzentrum Leipzig GmbH  
Strümpellstraße 39  
04289 Leipzig

**Tandler, René, Dr. med.**

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Herzchirurgische Klinik  
Krankenhausstraße 12  
91054 Erlangen

**Tjan, Tonny Djie-Tiong, Prof. Dr. med.**

Universitätsklinikum Münster  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Albert-Schweitzer-Campus 1  
48149 Münster

**Wagner, Florian Mathias, PD Dr. med.**

Herz- und Gefäßchirurgie Universitäres Herzzentrum Hamburg  
Martinistr. 52  
20246 Hamburg

**Welp, Hendryk, Dr. med.**

Universitätsklinikum Münster  
Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
Albert-Schweitzer-Campus 1  
48149 Münster