

**S3-Leitlinie zur intensivmedizinischen Versorgung herzchirurgischer Patienten  
Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf**  
(AWMF Register 001/016)

**- Kurzfassung -**

M. Carl, A. Alms, J. Braun, A. Dongas, J. Erb, A. Goetz, M. Göpfert, W. Gogarten, J. Große, A. Heller, M. Heringlake, M. Kastrup, A.R. Kröner, S.A. Loer, G. Marggraf, A. Markewitz, D. Reuter, D.V. Schmitt, U. Schirmer, C. Wiesenack, B. Zwissler, C. Spies

Methodische Begleitung: I. Kopp (AWMF)

**Mitglieder der Konsensuskonferenz**

Leitung: A. Markewitz, Koblenz, U. Schirmer, Bad Oeynhausen

Redaktion: M. Carl, Berlin, M. Kastrup, Berlin, C. Spies, Berlin

Moderation: I. Kopp, Marburg

Teilnehmer: A. Alms, J. Braun, A. Dongas, A. Goetz, M. Göpfert, W. Gogarten, J. Große, A. Heller, M. Heringlake, A. Kröner, S.A. Loer, A. Marggraf, D. Reuter, D.V. Schmitt, C. Wiesenack, B. Zwissler

**Vertretene Gesellschaften und Berufsverbände**

Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG) und Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI)

**Danksagung:**

Unser besonderer Dank gilt Frau Prof. I. Kopp von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF), die die Entwicklung der vorliegenden Leitlinien methodisch begleitet hat. Ferner danken wir Prof. A. Markewitz (DGTHG) und Prof. U. Schirmer (DGAI) und Prof. B. Zwissler für die Unterstützung bei der Entwicklung der Leitlinie.

**Hinweis:**

Die Langversion einschließlich des kompletten Literaturverzeichnisses und des Entwicklungs- und Methodenreports kann auf der Homepage der AWMF ([www.awmf.org](http://www.awmf.org)), der DGTHG ([www.dgthg.de](http://www.dgthg.de)) und der DGAI ([www.dgai.de](http://www.dgai.de)) eingesehen werden.

**Korrespondenzadresse:**

Prof. Dr. C. Spies

Universitätskliniken für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin

Campus Charité Mitte und Campus Virchow-Klinikum

Charité - Universitätsmedizin Berlin

Charitéplatz 1

10117 Berlin

e-mail: [claudia.spies@charite.de](mailto:claudia.spies@charite.de)

**Zusammenfassung:** Das hämodynamische Monitoring und die Differentialtherapie mittels adäquater Volumensubstitution sowie positiv inotroper und vasoaktiver Substanzen sind die Grundpfeiler der postoperativen intensivmedizinischen Behandlung von kardiochirurgischen Patienten. Ziel der S3-Leitlinie war es, die Empfehlungen zum Monitoring und zur Therapie evidenz-basiert zu prüfen sowie Zielkriterien für das Monitoring und die Therapie festzulegen. Die Bewertung erhobener Messparameter im Zusammenhang mit der klinischen Gesamtsituation des Patienten, erlaubt die Entwicklung eines weiterführenden Therapiekonzeptes und die Festlegung von Zielkriterien zur Kontrolle des Behandlungserfolges.

Bislang existieren Leitlinien und Empfehlungen lediglich für Teilbereiche der kardiochirurgischen Intensivmedizin. So bestehen Leitlinien für den Einsatz des Pulmonalarterienkatheters und der transösophagealen Echokardiographie für diesen speziellen Bereich der postoperativen Patientenversorgung.

Die Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG) und die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) haben sich daher zum Ziel gesetzt einen nationalen Ansatz zur Sicherung und Verbesserung der Qualität der postoperativen kardiochirurgischen Intensivmedizin mit der vorliegenden Evidenz-basierten S3-Konsensusleitlinie zu schaffen.

Ziel dieser Leitlinie ist eine Bewertung der verfügbaren Monitoring-Verfahren im Hinblick auf Indikationen, Vorgehen, Aussagen, Limitationen, Kontraindikationen und Risiken. Weiterhin die Differentialtherapie mit Volumenersatzlösungen versus positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen, die differenzierte Katecholamintherapie einschließlich der Inodilatoren und Kalzium-Sensitizer sowie die Einsatzkriterien der intraaortalen Ballonpumpe.

Die Leitlinie ist in einem standardisierten Prozess nach Vorgaben der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) erstellt worden. Die Verabschiedung der Kernaussagen der Leitlinie erfolgte in zwei Konsensusverfahren (Nominaler Gruppenprozess) unter Moderation der AWMF.

**Schlüsselworte:** Intensivmedizin – Kardiochirurgie – Monitoring – Volumentherapie – inotrope und vasoaktive Substanzen

**Summary:** Hemodynamic monitoring and adequate volume-therapy, as well as the treatment with positive inotropic drugs and vasopressors are the basic principles of the postoperative intensive care treatment of patient after cardiothoracic surgery. The goal of these S3-guidelines is to evaluate the recommendations in regard to evidence based medicine and to define therapy goals for monitoring and therapy. In context with the clinical situation the evaluation of the different hemodynamic parameters allows the development of a therapeutic concept and the definition of goal criteria to evaluate the effect of treatment.

Up to now there are only guidelines for subareas of postoperative treatment of cardiothoracic surgical patients, like the use of a pulmonary artery catheter or the transesophageal echocardiography.

The German society for thoracic and cardiovascular surgery and the German society for anaesthesiology and intensive care medicine made an approach to ensure and improve the quality of the postoperative intensive care medicine after cardio-thoracic surgery by the development of S3 consensus-based treatment guidelines.

Goal of this guideline is to assess the available monitoring methods with regard to indication, procedures, predication, limits, contraindications and risks for use. The differentiated therapy of volume-replacement, positive inotropic support and vasoactive drugs, the therapy with vasodilators, inodilators and Calziumsensitizers and the use of intra-aortic balloon pumps will also be addressed.

**The guideline has been developed following the recommendations for the development of guidelines by the Association of the Scientific Medical Societies in Germany (AWMF). The presented key messages of the guidelines were approved after two consensus meetings under the moderation of the Association of the Scientific Medical Societies in Germany (AWMF).**

**Keywords: intensive care medicine – cardio-thoracic surgery – monitoring – volume-therapy – inotropic and vasoactive drugs.**

## **Einleitung**

Das hämodynamische Monitoring und die Differentialtherapie mittels adäquater Volumensubstitution sowie positiv inotroper und vasoaktiver Substanzen sind die Grundpfeiler der postoperativen intensivmedizinischen Behandlung von kardiochirurgischen Patienten.

Empfehlungen zur Therapie mit Volumenersatzlösungen und kreislaufwirksamen Medikamenten im Rahmen der intensivmedizinischen Behandlung von kardiochirurgischen Patienten sind nur sinnvoll, wenn gleichzeitig Zielkriterien der Herz-Kreislauftherapie festgelegt werden. Durch entsprechendes Monitoring und die Erfassung der hämodynamischen Parameter muss eine Kontrolle des Behandlungsansatzes erfolgen. Die Auswertung der erhobenen Messwerte, zusammen mit dem klinischen Bild, welches der Patient bietet, erlaubt die Entwicklung eines weiterführenden Therapiekonzeptes.

Durch die Festlegung von Zielkriterien und deren Implementierung in Behandlungspfade soll die Ursache einer hämodynamischen Instabilität erfasst und adäquat behandelt werden. Bislang existieren Leitlinien und Empfehlungen lediglich für Teilbereiche der kardiochirurgischen Intensivmedizin. So bestehen Leitlinien für den Einsatz des Pulmonalarterienkatheters (Pulmonary Artery Catheter Consensus Conference 1997) und der transösophagealen Echokardiographie (Cheitlin et al. 2003) für diesen speziellen Bereich der postoperativen Patientenversorgung.

Die bestehende Vielfalt an verfügbaren Monitoring-Verfahren und positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen verdeutlicht die Notwendigkeit der Entwicklung von Leitlinien in der kardiochirurgischen Intensivmedizin, wobei es nicht unbedingt entscheidend ist, dass die Leitlinie komplett umgesetzt wird, sondern dass ein praxisorientiertes Konzept unter den örtlichen Gegebenheiten definiert und konsequent eingesetzt wird.

Ziel dieser Leitlinie ist eine Bewertung der verfügbaren Monitoring-Verfahren im Hinblick auf Indikationen, Vorgehen, Aussagen, Limitationen, Kontraindikationen und Risiken. Weiterhin die Differentialtherapie mit Volumenersatzmitteln versus positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen, die differenzierte Katecholamintherapie einschließlich der Inodilatoren und Kalzium-Sensitizer sowie die Einsatzkriterien der intra-aortalen Ballonpumpe.

Aus den unbestrittenen Vorteilen einer leitlinienorientierten Therapie ergibt sich für die Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG) und die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) die Zielsetzung, unter Bündelung aller verfügbaren Kräfte einen nationalen Ansatz zur Entwicklung einer Leitlinie zur Verbesserung der Qualität der Versorgung kardiochirurgischer Intensivpatienten zu schaffen

Dieser Leitlinienentwurf muss folgenden grundsätzlichen Anforderungen gerecht werden:

- Leitlinien zum hämodynamischen Monitoring, einer adäquaten Volumentherapie und der Therapie mit positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen sind Hilfen zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen, die auf dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse und auf in der Praxis bewährten Verfahren beruhen.

- Ein einziges ideales Monitoring-Verfahren, das allen Anforderungen an die hämodynamische Überwachung erfüllt, ist nicht existent. Ebenso wenig gibt es ein ideales Therapiekonzept zur Volumensubstitution und zur Behandlung mit hämodynamisch aktiven Substanzen bei kardiochirurgischen Intensivpatienten.
- Mit dem vorliegenden Leitlinienentwurf sollte die überwiegende Mehrzahl der kardiochirurgischen Patienten gut therapierbar sein.
- Ein routinemäßiges Monitoring der Therapie und eine Kontrolle der Therapieeffekte sind erforderlich.
- Ein patientenorientiertes Monitoring, eine Volumentherapie sowie eine Therapie mit positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen erfordern die stetige kritische Überprüfung der angestrebten hämodynamischen Zielparameter an den jeweiligen Krankheitsverlauf.
- Ziele und Wege des Therapiekonzeptes müssen für alle am Behandlungsprozess Beteiligte transparent dargestellt werden.

## **Erstellungsprozess**

Das methodische Vorgehen des Leitlinienentwicklungsprozesses versucht den Anforderungen der evidenzbasierten Medizin zu entsprechen, wie sie von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) und dem Ärztlichen Zentrum für Qualität (ÄZQ) in der Medizin als Standard definiert wurden. Leitlinien sind das Ergebnis einer systematischen Literaturrecherche und der kritischen Evidenzbewertung verfügbarer Daten mit wissenschaftlichen Methoden sowie der Diskussion von Experten, deren Kerngruppe als Autoren aufgeführt ist.

Folgende Schritte sind durchgeführt worden:

- Definition der Suchbegriffe zu den Themenschwerpunkten und Festlegung der relevanten Datenbanken
- Systematische Recherche der wissenschaftlichen Literatur, aber auch bereits verfügbarer Standardleitlinien, Empfehlungen und Expertenmeinungen
- Evaluation dieser Publikationen nach Evidenzkriterien
- Diskussion der Entwürfe und Kernaussagen sowie Integration von interner Evidenz (nicht publizierte Studien, Erfahrung von Experten).

## **Auswahl der Literatur**

In den Datenbanken Cochrane Library (Cochrane Reviews) und PubMed / Medline mit Hilfe eines Literaturverwaltungsprogramm sowie Embase zur gezielten Suche einzelner Arbeiten wurden für die oben genannten Themen in dem Recherchezeitraum 1990 bis Juli 2005 anhand von vorformulierten Schlüsselwörtern insgesamt 9.064 Arbeiten identifiziert.

Nach Sichtung der Publikationstitel und Abstracts und Ausschluss aller nicht englisch- oder deutschsprachigen Veröffentlichungen wurden 655 Artikel für die weitere Literaturanalyse berücksichtigt.

Das erfolgte Aktualisierungsverfahren der Leitlinie beinhaltete eine erneute systematische Literaturrecherche nach den gleichen Vorgaben, die den Zeitraum August 2005 bis Oktober 2009 umfasste. Die aktualisierte Literaturrecherche anhand der vorformulierten Schlüsselwörter umfasste insgesamt 3.494 Arbeiten. Nach Auswahl anhand der Schwerpunktkriterien und Nachbenennung relevanter Literatur durch die Experten des Arbeitskreis S3-Leitlinie Hämodynamisches Monitoring und Herz/Kreislauf gingen 212 themenrelevante Arbeiten in die weitere Literaturanalyse mit ein.

Ausgeschlossen wurden Arbeiten, die nicht der gesuchten Thematik entsprachen, ältere Arbeiten vom gleichen Autor und Arbeiten deren Hauptschwerpunkt vorrangig pharmakologische Modelle waren bzw. die eine tierexperimentelle Grundlage hatten. Nach

Einschluss der Literatur, die von den Experten genannt wurde, gingen 363 Veröffentlichungen in die Entwicklung des Leitlinienentwurfes ein.

Die Evaluation dieser Publikationen nach Evidenzkriterien erfolgte gemäß des Oxford Centre for Evidence-based Medicine (Levels of Evidence 2009).

(<http://www.cebm.net/index.aspx?o=1025>, Stand 12.2009)

### **Erläuterung zu den Empfehlungen der Leitlinien**

Empfehlungen, für welche die verfügbare externe Evidenz nicht ausreichend bis nicht vorhanden ist, die aber erfahrungsgemäß für den klinischen Ablauf unabdingbar sind, können trotzdem nach Konsensusfindung den höchsten Empfehlungs-Grad erhalten.

Empfehlungen, für welche ein hoher Evidenz-Grad vorliegt, können dagegen nach Konsensusfindung wegen ihrer geringfügigen klinischen Bedeutung einen niedrigeren Empfehlungs-Grad erhalten.

### **Organisatorischer und methodischer Ablauf der Leitlinienerstellung**

Die Leitlinienerstellung wurde durch Frau Prof. Kopp (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlicher Medizinischen Fachgesellschaften, AWMF) methodisch begleitet. Die organisatorischen Vorbereitungen begannen im Oktober 2004. Bis Juni 2005 wurde die Literaturrecherche und Literaturbewertung der systematischen Suche und der erste Entwurf erstellt.

Die Abstimmung der Evidenz-basierten Empfehlungen erfolgte auf zwei Konsensuskonferenzen (Nominaler Gruppenprozess) am 19.09.2005 und am 10.10.2005 unter Moderation von Frau Prof. Kopp (AWMF).

Die redaktionelle Überarbeitung des Volltextes, der Evidenz-basierten Empfehlungen und der Algorithmen (Ablaufdiagramme) nach den Konsensuskonferenzen erfolgte durch die Redaktionsgruppe bis Juli 2006. Die Abstimmung der erstellten Leitlinie erfolgte in einem Delphiverfahren (26.07.2006 bis 14.08.2006). Ein identisches Procedere mittels Delphiverfahren wurde für die aktualisierte Version der Leitlinie gewählt.

### **Finanzierung der Leitlinienerstellung**

Die vorliegende Leitlinie wurde mit finanzieller Unterstützung der DGTHG und der DGAI erstellt. Hinweise auf mögliche Verpflichtungen, Interessenskonflikte oder Einflussnahmen von Dritten sind nicht bekannt. Eine entsprechende schriftliche Erklärung (Formblatt) wurde von den teilnehmenden Experten abgegeben, die bei den Leitlinienkoordinatoren hinterlegt sind. Die bei den Konsensusverfahren angefallenen Reisekosten der Teilnehmer wurden von den wissenschaftlichen Fachgesellschaften übernommen.

## **S3- Leitlinien zur intensivmedizinischen Versorgung herzchirurgischer Patienten Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf**

### **Basismonitoring**

Der kritisch kranke Patient auf der Intensivstation benötigt ein adäquates hämodynamisches Monitoring (Janssens 2001, Pezella et al. 2004). Das Basismonitoring für postoperative kardiochirurgischen Intensivpatienten sollte EKG, Pulsoxymetrie, invasive Blutdruckmessung, zentralen Venendruck, Bilanzierung (Drainagen, Ein- und Ausfuhr), arterielle und zentralvenöse Blutgasanalysen, mit einer an einem klinischen Protokoll orientierten Abnahmefrequenz und Temperaturmessung umfassen.

Der Einsatz dieser Monitoring-Verfahren wird durch die Ergebnisse einer bundesweiten Befragung kardiochirurgischer Intensivstation unterstrichen (Kastrup et al. 2007). In fast 100% der mit der Umfrage erfassten Kliniken gehörte das EKG, die Messung des zentralen

Venendruckes (ZVD) und der arteriellen Sättigung, die Bilanzierung, die Temperaturmessung und die invasive Blutdruckmessung zum routinemäßigen Basismonitoring. Diese Monitoring-Verfahren können somit als Standard des Basismonitorings für kardiochirurgische Patienten in Deutschland betrachtet werden (Tab. 1, Abb. 1).

## **Erweitertes hämodynamisches Monitoring**

### **Echokardiographie**

Mehrere Studien haben die Effektivität der Echokardiographie im perioperativen Setting, sowohl hinsichtlich klappenchirurgischer als auch koronarchirurgischer Eingriffe unterstrichen. Die mit Hilfe der TEE im Vergleich zu erweiterten hämodynamischen Monitoringverfahren neu gewonnenen Informationen bewegten sich zwischen 13% und 45%. Die aus diesen Informationen gewonnenen Erkenntnisse beeinflussten die Therapie in einer Bandbreite zwischen 10% und 52% der Fälle, vor allem bei der Steuerung der Volumen- und Katecholamintherapie (Bergquist et al. 1996, Kolev et al. 1998, Mishra et al. 1998, Sutton et al. 1998, Click et al. 2000, Couture et al. 2000, Michel-Cherqui et al. 2000 und Schmidlin et al. 2001).

Nach den Richtlinien zur Weiterbildung in der transösophagealen Echokardiographie für Anästhesisten der DGAI (Greim et al. 2008) bestehen absolute Kontraindikationen für den Einsatz der TEE bei bestehenden Tumoren des oberen Gastrointestinaltraktes (Pharynx, Larynx, Ösophagus und Magen). Relative Kontraindikationen bestehen bei anatomischen Malformationen des oberen Verdauungstraktes, bei Zustand nach chirurgischen Eingriffen im Bereich des oberen Verdauungstraktes, bei schwieriger Intubation des Ösophagus, bei Ösophagusvarizen, bei klinisch relevanten Blutungen im Bereich des oberen Verdauungstraktes und bei hämorrhagischen Diathesen.

Vorteile gegenüber anderen Verfahren des erweiterten hämodynamischen Monitorings sind in der schnellen Einsatzfähigkeit dieses Monitoring-Verfahrens, in der geringen Invasivität und den niedrigen Komplikationsraten zu sehen (Daniel et al. 1991, Seward et al. 1992). Aktuelle Studienergebnisse hinsichtlich der Sicherheit der Anwendung der TEE werden jedoch kontrovers beurteilt. Während frühere Studien eine Inzidenz einer gastrointestinalen Perforation mit 0,2% anführen, liegt die Rate schwerer gastrointestinaler Komplikationen bei aktuellen Publikationen bei bis zu 1,2% (Lennon et al. 2005, Piercy et al. 2009). Nachteilig ist die Unmöglichkeit eines kontinuierlichen hämodynamischen Monitorings.

Weitere Nachteile der TEE sind in einem hohen Anschaffungspreis und in einem hohen apparativen und personellen Aufwand zu sehen, so ist die Echokardiographie ein untersucherabhängiges Verfahren, das eine schnelle und vor allem eine 24-stündige Präsenz eines erfahrenen Untersuchers erfordert (Tab. 2, Abb. 2).

### **Transpulmonale Thermodilution und kalibrierte Pulskonturanalyse**

Sowohl die transpulmonale Thermodilution (Felbinger et al. 2002) als auch die kalibrierte Pulskonturanalyse (Rodig et al. 1999, Zöllner et al. 2000, Goedje et al. 2002 und Rauch et al. 2002) erscheinen hinsichtlich der publizierten Daten in der kardiochirurgischen Intensivmedizin eine valide Alternative zum Pulmonalarterienkatheter bei der Erfassung des Herzzeitvolumens auch in hämodynamisch instabilen Situationen zu sein, die sich durch eine deutlich geringere Invasivität auszeichnen.

Es ist darauf zu verweisen, dass unter hämodynamisch schnell wechselnden Bedingungen und nach Weaning von der Herzlungenmaschine bei intraoperativer Nutzung dieses Monitoring-Verfahrens eine regelmäßige Rekalibration der Pulskonturanalyse in einem 4- bis 8-stündigen Intervall empfehlenswert ist (Goedje et al. 2002 und Sander et al. 2005).

Einschränkungen für die Nutzung der Pulskonturanalyse bestehen für Patienten mit einer signifikanten Aorteninsuffizienz und einer peripheren Gefäßerkrankung. Die Implantation einer intraaortalen Ballonpumpe (IABP) schließt die Nutzung dieser Technik aus. Die

kontinuierliche Erfassung der SVV und PPV ist nur unter der Bedingung einer kontrollierten mechanischen Beatmung möglich. Auch ist die Einsatzfähigkeit der Pulskonturanalyse und der ableitbaren Parameter der kardialen Vorlast bei einer bestehenden kardialen Rhythmusstörung eingeschränkt.

Es wird auf einen Dissens innerhalb des Expertengremiums hinsichtlich der Anwendung der Pulskonturanalyse zum erweiterten hämodynamischen Monitoring bei kardiochirurgischen Patienten hingewiesen. Die Mehrheit der Experten ist der Auffassung, dass die Pulskonturanalyse ein sinnvolles und ergänzendes Monitoring-Verfahren darstellt. Einige Experten sehen aber aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit dieses Monitoring-Verfahrens und der nicht für alle klinisch relevanten Situationen gegebenen Validierung eine Empfehlung als verfrüht an (Tab. 3, Abb. 2).

### **Unkalibrierte Pulskonturanalyse**

Die unkalibrierte Pulskonturanalyse bedient sich im Wesentlichen der Methode der Pulskontur-HZV-Messung. Die kontinuierliche Messung des HZV über einen peripheren arteriellen Katheter durch eine Pulskonturanalyse findet ohne initiale, externe Kalibrierung, sondern mit Hilfe eines mathematischen Algorithmus, in den Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht des Patienten eingehen, statt.

Klinische Untersuchungen intra- und postoperativ zeigten divergierende Ergebnisse hinsichtlich der Reliabilität und Validität dieses Monitoring-Verfahrens für kardiochirurgische Patienten (Sander et al. 2006, Mayer et al. 2007, McGee et al. 2007 und Cannesson et al. 2007). Eine abschließende Beurteilung der klinisch verlässlichen Einsetzbarkeit kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vorgenommen werden.

Es sind weitere große randomisierte Studien mit aktualisierter Software und dem Vergleich mit einer Referenzmethode der HZV-Messung zu fordern.

### **Pulmonalarterienkatheter**

Basierend auf den veröffentlichten Leitlinien zur Indikationsstellung eines PAK bei kardiochirurgischen Patienten, den Practice Guidelines For Pulmonary Artery Catheterization der American Society of Anesthesiologists (ASA / Roizen et al. 2003) des American College of Cardiology (ACC / Mueller et al. 1998) und der Pulmonary Artery Catheter Consensus Conference (1997), ist die Nutzung eines PAK bei der Diagnostik und Therapie eines Hoch-Risikopatienten bei komplexen kardiochirurgischen Eingriffen, eines schweren Low-Cardiac-Output-Syndroms, eines pulmonalen Hypertonus und zur Differenzierung zwischen schwerer rechts- oder linksventrikulären Dysfunktion gerechtfertigt.

Der Einsatz eines PAK bei kardiochirurgischen Patienten mit einem geringen perioperativen Risiko wird hingegen als nicht notwendig erachtet.

Nach den Guidelines des American College of Cardiology für den Einsatz des Pulmonalarterienkatheters (Mueller et al. 1998) bestehen absolute Kontraindikationen für den Einsatz eines PAK bei einer Rechtsherzendokarditis, dem Vorhandensein eines Thrombus oder eines Tumors im rechten Vorhof oder rechten Ventrikel oder einer mechanischen Trikuspidal- oder Pulmonalklappe.

Als einziges Monitoring-Verfahren ermöglicht der PAK die Messung der gemischt-venösen Sauerstoffsättigung. Das Monitoring der gemischtvenösen O<sub>2</sub>-Sättigung (SvO<sub>2</sub>) erlaubt eine globale Beurteilung des Gleichgewichtes zwischen individuellem Sauerstoffverbrauch und Sauerstoffangebot (Nelson 1999).

Eine an der SvO<sub>2</sub> orientierte Therapie hat sich als relevant hinsichtlich der Morbidität und der Krankenhausverweildauer bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten erwiesen (Polonen et al. 2000). In wie weit ein Vorteil gegenüber der ScvO<sub>2</sub> als Parameter einer zielorientierten Therapie, wie schon in der Sepsis-Behandlung erfolgreich umgesetzt (Rivers et al. 2001) besteht, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht klar formulieren (Tab. 4, Abb. 2).

## Zielparameter der Herz-Kreislauftherapie

Die Ziele einer Volumensubstitution und einer Therapie mit positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten sind eine suffiziente Gewebepfusion und eine Normalisierung des oxidativen Metabolismus. Das Herzzeitvolumen und damit das O<sub>2</sub>-Angebot ist abhängig von einem adäquaten intravasalen Volumen und einer suffizienten kardialen Pumpfunktion.

Als Ziele der postoperativen Kreislauftherapie werden nach Konsensusmeinung des Expertengremiums folgende Parameter mit einem Empfehlungs-Grad D, entsprechend den Kriterien des Oxford Centre for Evidenced-Based Medicine, empfohlen:

- ScvO<sub>2</sub> > 70 % oder SvO<sub>2</sub> > 65%
- MAP > 65 mmHg
- Cardiac Index > 2,0 l/min/m<sup>2</sup>
- ZVD 8-12 mmHg (abhängig von der Beatmung)
- LV-EDAI 6-9 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>
- ITBVI 850-1000 ml/m<sup>2</sup>
- GEDVI 640-800 ml/m<sup>2</sup>
- PAOP 12-15 mmHg
- Diurese > 0,5 ml/kgKG/h
- Laktat < 3 mmol/l

Mit entscheidend für den Therapieerfolg ist das Zeitfenster, in dem mit den Interventionen zur Erreichung der Zielparameter begonnen wird (Polonen et al. 2000 und Paerse et al. 2004).

## Volumentherapie

Bei kardiochirurgischen Patienten liegt in der frühen postoperativen Phase häufig ein relativer oder absoluter Volumenmangel vor. Dieser kann zahlreiche Ursachen haben; so zum Beispiel ein kapillares Leck nach cardiopulmonalem Bypass, ungenügender Ersatz von Blutverlusten während der OP, durch Drainageverluste auf der Intensivstation, Kühlung und Wiedererwärmung oder durch präoperative Diuretikabehandlung. Auch kann unter Umständen eine erhöhte Vorlast durch eine vorübergehende Myokardinsuffizienz notwendig werden.

Die Volumensubstitution bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten sollte anhand formulierter Zielparameter erfolgen. Ob kristalloide oder kolloidale Volumenersatzlösungen in der Kardiochirurgie zu bevorzugen sind, kann anhand der gegebenen Evidenz zum jetzigen Zeitpunkt nicht abschließend beurteilt werden.

In der nationalen kardiochirurgischen intensivmedizinischen Praxis werden aber als erste Wahl künstliche kolloidale Lösungen, vor allem mittelmolekulare Hydroxyethylstärkederivate, bevorzugt eingesetzt. Als zweite Wahl des Volumenersatzes werden kristalloide Lösungen verwendet. Zum Plasmavolumenersatz wird Humanalbumin von 50% der kardiochirurgischen Intensivstationen nicht mehr eingesetzt (Kastrup et al. 2007).

Auch wenn bis zum heutigen Zeitpunkt keine großen randomisierten Studien vorliegen, die den Einfluss von kolloidalen Volumenersatzmitteln in der multifaktoriellen Genese eines postoperativen Nierenversagens bei kardiochirurgischen Patienten ausreichend untersuchten, sollte zur Minimierung von postoperativen renalen Komplikationen, mit Verweis auf die Hypothese eines hyperonkotisch bedingten Nierenversagens, der Einsatz von hochmolekularen, hochsubstituierten oder hyperonkotischen kolloidalen Volumenersatzmitteln wie HAES 200/0.5 (10% und 6%), HAES 200/0.62 (10% und 6%), HAES 450/0.7 (6%), Albumin 10% oder 20% vermieden werden. Auch sollte die Verwendung von harnstoffvernetzten Gelatinelösungen aufgrund des hohen Kalium- und Calciumgehaltes restriktiv erfolgen (Ragaller et al. 2001) (Tab. 5, Abb. 3).

Hinsichtlich balancierter kristalloider und kolloidaler Lösungen ermöglicht die aktuell vorliegende Evidenz noch keine definitive Beurteilung in Bezug auf relevante Outcome-Parameter wie Mortalität und Verweildauer. Die Daten der vorliegenden Studien legen aber einen positiven Einfluss auf den Säure-Basen-Status durch balancierte Lösungen nahe (Boldt et al. 2007 und 2009).

### **Postoperative Kreislaufdysfunktion**

Eine postoperative kardiale Kreislaufdysfunktion kann durch einen bereits präoperativ vorgeschädigten und funktionseingeschränkten Ventrikel bedingt sein. Ursächlich für eine solche Funktionseinschränkung können Mikrozirkulationsstörungen, eine hypertensive Herzerkrankung, kongestive Verläufe einer KHK, hypertrophe obstruktive und nonobstruktive Kardiomyopathien und dilatative Kardiomyopathien sein.

Folgende Surrogatparameter, adaptiert nach den Kriterien eines Low-cardiac-output-Syndroms von Swan et al. (1970) und El-Banayosy et al. (1994) weisen auf eine Kreislaufinsuffizienz hin:

- ScvO<sub>2</sub> < 60 % bei SaO<sub>2</sub> 98%
- Mittlerer arterieller Druck < 60 mmHg
- Urinausscheidung < 0,5 ml/h, länger als eine Stunde bestehend
- Plasmalaktat > 2,0 mmol/l
- Periphere Vasokonstriktion mit verzögerter Rekapillarierungszeit bzw. kühlen Extremitäten im Sinne einer Zentralisation

Generell steht die kardiale Frequenz- und Rhythmusoptimierung bei einer postoperativen Kreislaufinsuffizienz an erster Stelle. Zu den häufigsten kardialen Rhythmusstörungen nach kardiopulmonalem Bypass gehören Vorhofflimmern, Sinustachykardien und Sinusbradykardien, ventrikuläre Arrhythmien mit ektopen Erregungszentren, ventrikuläre Tachykardien und AV-Blockierungen ersten, zweiten und dritten Grades (Pezella et al. 2004). Die Bedeutsamkeit einer schnellen adäquaten Rhythmusoptimierung wird durch eine erhöhte Inzidenz thrombembolischer Komplikationen, eine Verlängerung der Verweildauer auf der Intensivstation und damit konsekutiv höheren Behandlungskosten deutlich (Knotzer et al. 2004).

Zur differenzierten Evidenz-basierten Therapie kardialer Rhythmusstörungen erfolgt der Verweis auf bestehende Leitlinien:

- ACC/AHA Guideline Update for Coronary Artery Bypass Graft Surgery (Eagle et al. 2004)
- ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure (Dickstein et al. 2008)
- ACC/AHA/ESC Guidelines for the management of patients with atrial fibrillation – Executive Summary (Fuster et al. 2006)
- Guidelines on the prevention and management of de novo atrial fibrillation after cardiac and thoracic surgery (Dunning et al. 2006)
- Guideline for resuscitation in cardiac arrest after cardiac surgery (Dunning et al. 2009)

Neben der Frequenz- und Rhythmusoptimierung sollte initial bei klinischen Hinweisen einer postoperativen Kreislaufdysfunktion eine orientierende Bewertung des Volumenstatus anhand des zentralen Venendruckes erfolgen, auch wenn dieser per se aufgrund seiner methodenimmanenten Limitationen im Vergleich zu Messparametern des erweiterten hämodynamischen Monitorings keine geeignete Messgröße zur Beurteilung der kardialen Vorlast und der Volumenreagibilität darstellt.

Ein Anstieg des ZVD im postoperativen Verlauf oder im Vergleich zu intraoperativen Werten, im Besonderen ein akuter Anstieg, sollte den diagnostischen Ausschluss eines hämodynamisch relevanten Perikardergusses oder eines lokal begrenzten tamponierenden Hämatoms mittels einer Echokardiographie (TTE/TEE) nach sich ziehen.

Bei einem Abfall des ZVD im Vergleich zum intra- respektive postoperativen Ausgangswert sollte ein intravasaler Volumenmangel durch Testung der Reagibilität auf eine Vorlasterhöhung ausgeschlossen werden. Die positive oder negative hämodynamische Reaktion einer Volumengabe zur Vorlastoptimierung kann durch eine Autotransfusion anhand eines Anheben der Beine ('passive leg raising') orientierend abgeschätzt werden (Kyriakides et al. 1994 und Lafanechère et al. 2006).

Klinische Zielpunkte bei der Gabe von Volumen sind die Herzfrequenz, das Urinvolumen und der Blutdruck. Grundlegendes Prinzip muss die Optimierung der myokardialen Vorlast sein. Wird nach Gabe von maximal 10 ml/kg Körpergewicht einer kolloidalen oder kristalloiden Lösung eine hämodynamische Stabilisierung erreicht, sollte eine zeitnahe Therapieevaluierung anhand formulierter Zielparameter erfolgen.

Lässt sich durch eine vorübergehende Vorlasterhöhung durch ein Anheben der Beine oder eine Volumengabe keine hämodynamische Stabilität erzielen, ist eine orientierende transthorakale oder transösophageale echokardiographische Untersuchung indiziert. Mit Hilfe dieser semiinvasiven Untersuchungstechnik lassen sich restriktive Veränderungen des Myokards sowie segmentale Wandbewegungsstörungen bei neu aufgetretenen Ischämien, die ursächlich zu einer postoperativen Kreislaufdysfunktion beitragen können, schnell und gut diagnostizieren und dokumentieren.

Zusätzlich ist beim weiterhin instabilen Patienten ein 12-Kanal-EKG zum Ausschluss einer ischämischen Komponente, eine intermittierende Messung der ScvO<sub>2</sub> zur Beurteilung des Sauerstoffangebotes und des -verbrauches, eine Bestimmung der Laktatkonzentration sowie eine engmaschige Bilanzierung indiziert.

Zusammenfassend steht bei der initialen Behandlung einer postoperativen Kreislaufdysfunktion die Optimierung der kardialen Vorlast, die Frequenz- und Rhythmusoptimierung und die Therapieevaluierung anhand formulierter Zielparameter an erster Stelle. Bei weiterbestehender hämodynamischer Instabilität sollte eine Diagnostik zugrundeliegender pathophysiologischer Mechanismen, mit dem Ausschluss kausaler Ursachen, die einer spezifischen Therapie bedürfen, erfolgen. Nach initial orientierender Diagnostik anhand der Echokardiographie kann die Entscheidung hinsichtlich des Einsatzes eines erweiterten hämodynamischen Monitorings und der Gabe positiv inotroper und/oder vasoaktiver Substanzen getroffen werden (Tab 6, Abb. 4).

## **Linksherzinsuffizienz**

Liegt einer schweren hämodynamischen Verschlechterung, im Sinne eines Low-cardiac-output-Syndroms (LCOS), keine länger vorbestehende Herzinsuffizienz und eine nur mäßig eingeschränkte präoperative ventrikuläre Funktion zugrunde, ist von einer normalen myokardialen  $\beta$ -Adrenorezeptoren-Anzahl und -Funktion des Myokards auszugehen. Die Therapie sollte hier primär auf eine Arbeitsentlastung des Herzens mit gleichzeitiger Steigerung der Kontraktilität mit einer Normalisierung der Vorlast und Ökonomisierung der Nachlast zielen. Die positive pharmakologische inotrope Unterstützung sollte sich in dieser Situation an einem Stufenkonzept einer Katecholamingabe mittlerer Wirkstärke mit Dobutamin und höherer Wirkstärke mit Adrenalin orientieren. Eine Reduktion der Vorlast kann durch eine Gabe eines venös wirkenden Vasodilatators wie Nitroglycerin, eine kombinierte Senkung der Vor- und Nachlast mit der Gabe des venös und arteriell wirkenden Vasodilatators Natriumnitroprussid erzielt werden.

Diese therapeutischen Ansätze werden nach den Evidenz-basierten ESC-Guidelines zur Therapie der akuten Herzinsuffizienz empfohlen (Dickstein et al. 2008) und können als klinischer Status quo in der Behandlung des Linksherzversagens in der kardiochirurgischen Intensivmedizin nach Umfrageergebnissen in Frankreich und Deutschland (Bastien et al. 2005 und Kastrup et al. 2007) betrachtet werden.

Der Einsatz der  $\alpha$ - und  $\beta$ -sympathomimetischen Katecholamine wird jedoch durch deren positiv chronotrope, peripher-vaskulär konstringierende und arrhythmogene Wirkung limitiert. Mit zu berücksichtigen ist der prinzipiell erhöhte Sauerstoff- und Energieverbrauch bei Substanzen, denen ein positiv inotroper adrenerger Wirkungsmechanismus zugrunde liegt.

Nach Beendigung der extrakorporalen Zirkulation befindet sich das Herz in einer besonders vulnerablen Situation, in der Steigerung der kardialen Pumpfunktion nicht mit einem Anstieg des myokardialen Sauerstoffverbrauchs einhergehen sollte.

In dieser klinischen Situation kann der Einsatz von PDE-III-Hemmern vorteilhaft sein. Durch ihre rezeptorunabhängige Steigerung der myokardialen Kontraktilität, mit nur einer geringen Steigerung des  $O_2$ -Verbrauchs aufgrund der Reduktion des systolischen Ventrikelfadius und ihrer ebenfalls cAMP vermittelten direkten Wirkung auf den vaskulären Tonus mit der daraus resultierenden vasodilatierenden Komponente können sie singulär eingesetzt das Herzzeitvolumen und den Schlagvolumenindex, bei moderaten chronotropen Effekten, wirksam erhöhen.

Bei Patienten mit akuter, perioperativer Exazerbation oder durch die Operation ausgelöste Dekompensation einer schweren chronischen Herzinsuffizienz, bedingt durch eine dilatative Kardiomyopathie, ischämische Kardiomyopathie oder fortgeschrittenen Klappenvitien, ist eine differierende kardiale Ausgangssituation zu erwarten.

Die schwere chronische Herzinsuffizienz mit den Veränderungen im neurohumoralen System bedingt Veränderungen der Regulationsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems und damit die therapeutische Beeinflussbarkeit nachhaltig. Wesentlich sind davon die Rezeptorensysteme betroffen. Die damit verbundene konsekutive Down-Regulation von kardialen  $\beta$ -Rezeptoren, hat ein vermindertes Ansprechen auf endogene und exogene Katecholamine zur Folge.

Die Effektivität einer Katecholamintherapie wird auch durch eine häufig bis zum Operationstag weitergeführte  $\beta$ -Blockertherapie limitiert. Hier weisen Katecholamine mit sowohl  $\alpha$ - als auch  $\beta$ -mimetischen Effekten ungünstige Eigenschaften auf. Bei Patienten zeigte sich hier aufgrund des in dieser Situation dominanten  $\alpha$ -mimetischen Effekts ein erhöhter periphervaskulärer Widerstand mit einem konsekutiv erniedrigtem Herzzeitvolumen (Vroom 1998). Wobei darauf zu verweisen ist, dass die Rezeptoraffinität des jeweiligen  $\beta$ -Blockers dabei einen entscheidende Rolle spielt (Metra et al. 2002). Alternativ zur Stufentherapie mit Katecholaminen kann in diesen Situationen der alleinige Behandlungsansatz mit einem PDE-III-Hemmer effektiv sein.

Hinsichtlich des neuen Kalzium-Sensitizer Levosimendan liegt aus den letzten Jahren eine umfangreiche Anzahl von Veröffentlichungen für den klinischen Einsatz in der Kardiochirurgie vor (Tasouli et al. 2007, DeHert et al. 2008, Levin et al. 2008 und Landoni et al. 2009). Als klinisch verfügbarer Kalziumsensitizer erzielt Levosimendan seine positiv-inotrope Wirkung direkt, d.h. ohne Vermittlung eines 'second messengers', wie cAMP, durch Sensibilisierung des kardiospezifischen Troponin C für Kalzium. Levosimendan begünstigt die kalziumabhängige Umkonfigurierung des Troponin-Komplexes, was die Ausbildung von Aktin-Myosin-Querbrücken-Ankoppelungen erleichtert und damit zu einer höheren Kraftentwicklung der kontraktilen Elemente der Herzmuskelzelle führt. Dieser Vorgang ist von der intrazellulären Kalziumkonzentration abhängig und findet daher nur in der Systole statt. Da die Amplitude des Kalziumgradienten nicht verändert wird, kommt es zu keiner Beeinträchtigung der Relaxationsphase, d.h. Levosimendan beeinflusst die diastolische Funktion nicht negativ. Es kommt im Vergleich zu allen anderen Katecholaminen zu keinem oder einem nur schwach ausgeprägten Mehrverbrauch von Sauerstoff.

### **Zielorientierte Therapie**

Nach Konsensusmeinung des Expertengremiums ist eine Vorlastoptimierung die Grundvoraussetzung für eine medikamentöse oder apparative Therapie der Linksherzinsuffizienz. Werden nach einer Vorlastoptimierung die angestrebten hämodynamischen Zielwerte nicht erreicht, ist nach Konsensusmeinung des Expertengremiums eine Therapie mit positiv inotropen Mitteln indiziert. Die Auswahl der Substanz richtet sich nach der patientenindividuellen Situation.

Je nach Grad der Linksherzinsuffizienz und deren Auswirkungen auf den globalen und regionalen Kreislauf können orientierend 4 klinische Situationen resultieren (Tab. 7, Abb. 5):

- Der hypovoläme Patient weist eine Tachykardie und eine inadäquate Ventrikelfüllung auf. Bei Vorliegen eines linksventrikulären enddiastolischen Flächenindex  $< 5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ , alternativ eines pulmonalarteriellen Verschlussdruckes (PAOP)  $< 5 \text{ mmHg}$  oder eines intrathorakalen Blutvolumenindex  $< 750 \text{ ml}/\text{m}^2$  sollte der primäre therapeutische Ansatz in einer Optimierung der kardialen Vorlast liegen.  
Bei kardiochirurgischen Patienten liegt in der frühen postoperativen Phase häufig ein relativer oder absoluter Volumenmangel vor. Dieser kann zahlreiche Ursachen haben: 'capillary leak' nach HLM, ungenügender Ersatz von Blutverlusten während der OP oder durch Drainageverluste auf der Intensivstation oder durch präoperative Diuretikabehandlung. Durch eine vorübergehende Myokardinsuffizienz ist unter Umständen in dieser Situation eine erhöhte Vorlast notwendig.
- Bei Vorliegen eines geringeren Volumendefizits mit einem linksventrikulären enddiastolischen Flächenindex  $< 7 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ , alternativ eines pulmonalarteriellen Verschlussdruckes (PAOP)  $< 10 \text{ mmHg}$  oder eines intrathorakalen Blutvolumenindex  $< 850 \text{ ml}/\text{m}^2$  sollte eine vorsichtige Volumenzufuhr ('volume challenge') unter Beachtung der hämodynamischen Auswirkungen erfolgen. So sollte die Volumenzufuhr bei einem deutlichen Anstieg der Vorlastparameter, die ohne einen adäquaten Effekt auf das Herzzeitvolumen oder den systemischen Blutdruck bleiben, beendet werden. Hier besteht die Gefahr einer konsekutiven Kontraktilitätsabnahme bei Überschreiten der optimalen Vorlast.  
Zusätzlich zu einer Vorlastoptimierung sollte eine inotrope Unterstützung des linken Ventrikels erfolgen. Orientierend am mittleren arteriellen Blutdruck ist der Einsatz von Dobutamin, bei einem MAP  $< 60 \text{ mmHg}$ , oder eines PDE-III-Inhibitors, bei einem MAP  $> 60 \text{ mmHg}$ , zu empfehlen. Wichtig ist hierbei die ausreichende Volumengabe, da es bei einer Nachlastsenkung zu einem weiteren Abfall des Perfusionsdruckes kommen kann. Bei einer systemischen Hypotension kann die Kombination mit einem Vasopressor erforderlich sein. Bei unzureichender hämodynamischer Stabilisierung bei diesen Therapieansätzen oder bei Vorliegen einer gravierenden Hypotension ist der Einsatz von Adrenalin indiziert.
- Der Patient mit einer ausreichenden Vorlast mit einem linksventrikulären enddiastolischen Flächenindex  $> 9 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ , alternativ eines pulmonalarteriellen Verschlussdruckes (PAOP)  $> 15 \text{ mmHg}$  oder eines intrathorakalen Blutvolumenindex  $> 1000 \text{ ml}/\text{m}^2$  sollte orientierend am mittleren arteriellen Blutdruck der Einsatz von Dobutamin oder eines PDE-III-Inhibitors erfolgen. Zur Gegenregulation einer systemischen Hypotension und zur Erhöhung der koronaren Perfusion ist die Gabe von Noradrenalin zu erwägen. Beim Vorliegen einer gravierenden Hypotension ist der initiale Einsatz von Adrenalin angezeigt. Zeigt der Patient auch nach Gabe von Dobutamin oder eines PDE-III-Hemmers keine entscheidende Verbesserung seines LCOS ist die inotrope Supplementierung mit Adrenalin indiziert. Insbesondere bei vermuteter Down-Regulation der adrenergen  $\beta$ -Adrenorezeptoren ist die Kombination von Adrenalin mit einem PDE-III-Hemmer sinnvoll. Bei ausgeprägtem LCOS ist eine Gabe von Levosimendan zu erwägen. Nach ACVB-Operationen ist zu diesem Zeitpunkt auch eine IABP-Implantation zu erwägen.
- Bei einem hypervolämen Patient mit einer deutlich erhöhten Vorlast, mit einem linksventrikulären enddiastolischen Flächenindex  $> 11 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ , alternativ eines pulmonalarteriellen Verschlussdruckes (PAOP)  $> 20 \text{ mmHg}$  oder eines intrathorakalen Blutvolumenindex  $> 1200 \text{ ml}/\text{m}^2$ , sollte als primäres Ziel zusammen mit einer pharmakologischen Kreislaufunterstützung ein Volumenentzug sein. Als adjuvante Therapieformen können Verfahren der Hämofiltration/Hämodialyse eingesetzt werden. Die hämodynamische Stabilisierung sollte mit Dobutamin oder

einem PDE-III-Hemmer erfolgen, auch hier kann eine zusätzliche Adrenalingabe, die Kombination von Adrenalin mit einem PDE-III-Hemmer oder Levosimendan indiziert sein.

Nach Erreichen eines suffizienten arteriellen Mitteldrucks und einer hämodynamischen Stabilität kann die Senkung der Vor- beziehungsweise der Nachlast des Herzens in Erwägung gezogen werden. Die Modulation des peripheren Gesamtwiderstandes sollte in Hinsicht einer Arbeitsentlastung des Herzens, aber auch einer Aufrechterhaltung eines ausreichenden Perfusionsdruckes mit der Gabe von Vasodilatoren wie Nitroglycerin oder Natriumnitroprussid und von Vasopressoren wie Noradrenalin erfolgen.

### **Rechtsherzinsuffizienz**

Bestehen klinisch Hinweise auf ein rechtsventrikuläres Versagen, dass eine Inzidenz von 0,04 - 1% nach kardiochirurgischen Eingriffen aufweist (Kaul et al. 2000), ist eine invasive Diagnostik indiziert. Das diagnostische Werkzeug der Wahl ist die Echokardiographie. Die Kombination aus kleinem, gut kontrahierendem linken Ventrikel und großem, akinetischen rechten Ventrikel ist pathognomonisch für die akute rechtsventrikuläre Insuffizienz.

Zur Abschätzung der rechtsventrikulären Vorlast werden üblicherweise der zentralvenöse (ZVD) bzw. rechtsatriale (RAP), selten der rechtsventrikuläre enddiastolische Druck (RVEDP) verwendet. Werte über 10 cm H<sub>2</sub>O gelten als Indikator einer guten, niedrigere Werte als Indikator einer schlechten Ventrikelfüllung. Viele Untersuchungen belegen jedoch, dass der ZVD das enddiastolische Volumen und damit die rechtsventrikuläre Vorlast häufig nicht korrekt widerspiegelt.

Der individuelle Volumenbedarf zur Vorlastoptimierung eines Patienten lässt sich aber letztlich nur durch eine Volumenbelastung austarieren, die unter engem hämodynamischen Monitoring erfolgen sollte. Wenn unter Volumengabe lediglich der rechtsatriale Füllungsdruck ansteigt ohne konsekutive Zunahme des Herzminutenvolumens, ist eine weitere Volumentherapie sicher nicht indiziert. Hinsichtlich des angestrebten zentralvenösen Druckes kann als Orientierung dienen, dass eine Volumengabe bei einem ZVD unter 10 mmHg indiziert ist und ein ZVD bis 15 mmHg sinnvoll sein kann. Eine Volumentherapie ist nicht indiziert, wenn bei hohem Füllungsdruck rechts und niedrigem Herzzeitvolumen bereits eine systemische arterielle Hypotension vorliegt (Wagner et al. 2002).

Zur Quantifizierung der Nachlast des rechten Ventrikels existiert bislang kein akzeptierter und klinisch messbarer Parameter. Der pulmonalarterielle Mitteldruck (MPAP) spiegelt die rechtsventrikuläre Nachlast zwar klinisch meist ausreichend genau wider, bei Schwankungen des HZV, aber auch bei Änderung der Herzgröße treten jedoch Probleme auf: So ist nach LaPlace die Nachlast eines dilatierten rechten Ventrikels mit dünner Wand bei gleichem PAP größer als die Nachlast eines kleinen rechten Ventrikels mit dicker Wand. Neben dem PAP wird häufig der pulmonale Gefäßwiderstand (PVR) als indirektes Maß der rechtsventrikulären Nachlast verwendet.

Die Berechnung setzt die Platzierung eines PAK voraus, da sowohl der PAP, das HZV als auch der pulmonalkapilläre Verschlussdruck (PAOP) bekannt sein müssen. Auch der PVR kann eine Zunahme der rechtsventrikulären Wandspannung infolge einer Ventrikeldilatation nicht erfassen und unterschätzt daher Änderungen der Nachlast. Hinzu kommt, dass bei einem Abfall des HZV infolge verschlechterter Kontraktilität rechnerisch der PVR zunimmt, ohne dass sich die Wandspannung des rechten Ventrikels geändert haben muss.

Auch die Messung der rechtsventrikulären Auswurffraktion mittels 'fast-response'-Thermodilutionstechnik stellt jedoch kein ideales Maß für die rechtsventrikuläre Kontraktilität dar. So ist bekannt, dass ein Anstieg der Vorlast auch bei konstanter Kontraktilität die Auswurffraktion erhöht. Umgekehrt sinkt die Auswurffraktion bei Anstieg der rechtsventrikulären Nachlast. Die Auswurffraktion reflektiert daher nur unter konstanten Lastbedingungen Änderungen der rechtsventrikulären Kontraktilität (Zwissler 2000).

Ziel der Therapie ist es ein Low-cardiac-output-Syndrom zu verhindern. Primär sollte eine Reduktion des erhöhten pulmonalvaskulären Widerstandes erfolgen, die myokardiale

Sauerstoffzufuhr verbessert und der myokardiale Sauerstoffverbrauch gesenkt werden. Zusätzlich ist eine adäquate Vorlast sicherzustellen und der koronare Perfusionsdruck durch einen ausreichenden Aortendruck sicherzustellen (Wagner et al. 2002). Inotropika, die selektiv den rechten Ventrikel beeinflussen, gibt es nicht. Zur Verbesserung der Kontraktilität werden daher bei Rechtsherzversagen dieselben Substanzen eingesetzt wie bei akuter Linksherzinsuffizienz. Jede positiv inotrope Stimulation des Myokards steigert jedoch auch dessen O<sub>2</sub>-Verbrauch. Hinzu kommt die bei Dopamin und Adrenalin in höherer Konzentration auftretende pulmonale Vasokonstriktion, so dass der positiv inotrope Effekt dieser Substanzen durch eine dosisabhängige Vasokonstriktion in der pulmonalen Strombahn konterkariert werden kann (Wagner et al. 2002). Im Einzelfall kann sich dadurch das Verhältnis von O<sub>2</sub>-Angebot und -bedarf sogar verschlechtern. Trotz dieser Bedenken sind Katecholamine bei akutem RV-Versagen häufig unverzichtbar (Zwissler 2000).

Eine sinnvolle Ergänzung bei der Therapie mit positiv inotropen Substanzen stellen Phosphodiesterase-III-Hemmer dar, die sowohl eine positiv inotrope Wirkung als auch einen relaxierenden Effekt auf die glatte Gefäßmuskulatur hervorrufen (Jenkins et al. 1997, Hachenberg et al. 1997). Hieraus ergibt sich aber auch die potenzielle Nebenwirkung eines arteriellen Blutdruckabfalls, die bei Patienten mit akuter pulmonaler Hypertonie und Rechtsherzversagen mit systemischer Hypotension rasch zum Unterschreiten eines kritischen Sytemdrucks führen kann. Daher kommt der Einsatz von Phosphodiesterase-III-Inhibitoren in dieser Situation nur unter größter Vorsicht in Betracht, zumal der Effekt, wenn er einmal eingetreten ist, aufgrund der langen Halbwertszeit dieser Substanzgruppe, lange persistiert (Wagner et al. 2002).

### **Rechtsventrikulärer Infarkt**

Im Vergleich zum linken Ventrikel zeichnet sich die rechte Herzkammer durch eine geringere Empfindlichkeit auf eine Ischämie aus. Zu dieser geringeren Vulnerabilität tragen eine geringere Muskelmasse, eine geringere Arbeitsbelastung, ein ausgeglicheneres Verhältnis von O<sub>2</sub>-Angebot und -verbrauch und eine ausgeprägtere kollaterale Kapillarversorgung bei (Kaul et al. 2000).

Die Therapieprinzipien bei einem rechtsventrikulären Infarkt umfassen eine Rhythmusoptimierung und eine adäquate Vorlast. Eine Metaanalyse zeigte ein 2,7-fach erhöhtes Risiko für ventrikuläre Rhythmusstörungen und ein 3,4-fach erhöhtes Risiko für AV-Blockierungen bei einer rechtsventrikulären Beteiligung eines Hinterwandinfarktes (Metha et al. 2001). Der kompromittierte rechte Ventrikel weist unter ischämischen Bedingungen ein relativ fixes Schlagvolumen auf. Somit sind Bradyarrhythmien deletär für ein adäquates biventrikuläres HZV, auch bei Bestehen einer regulären atrioventrikulären Synchronizität.

Eine Volumengabe zur Vorlastoptimierung des rechten Ventrikels muss vorsichtig erfolgen. Eine zu schnelle oder zu großzügige Volumengabe führt zu einer überproportionalen Zunahme des RVEDP ohne Zunahme des Schlagvolumens. Die Größenzunahme des rechten Ventrikels ist durch das Perikard begrenzt, so dass bei einer Volumenbelastung das Risiko einer Septumdeviation besteht. Zusätzlich führt eine rechtsventrikuläre Dilatation zu einer Zunahme der Wandspannung, so dass es zu einer kritischen rechtsventrikulären Koronarperfusion, trotz der biphasischen Durchblutung in Systole und Diastole, kommen kann.

Inotropikum der Wahl bei der Therapie eines LCOS auf Basis eines rechtsventrikulären Infarktes ist Dobutamin (Goldstein 2002). Von Vorteil ist bei dieser Substanz die geringe Auswirkung auf die rechtsventrikuläre Nachlast.

Bei Bestehen einer ausgeprägten systemischen Hypotension sollte der hochdosierte Einsatz von Vasopressoren hinsichtlich der damit einhergehenden pulmonalen Vasokonstriktion zurückhaltend erfolgen. Stattdessen sollte die Indikation zur Implantation einer IABP mit konsekutiver diastolischer Augmentation zur Verbesserung der Koronarperfusion erfolgen (Heß 2004).

Eine Vorlastsenkung durch Vasodilatoren und Diuretika ist bei einem rechtsventrikulären Infarkt primär kontraindiziert. Auch der Einsatz von Beta-Blockern und Kalzium-Antagonisten

sollte, aufgrund ihrer negativ chronotropen und negativ dromotropen Wirkung, zurückhaltend erfolgen.

### **Pulmonaler Hypertonus nach kardiochirurgischen Eingriffen**

Im Gegensatz zu den inhalativen Vasodilatoren ist der Einsatz intravenöser Vasodilatoren in der klinischen Praxis in den Hintergrund getreten (Kastrup et al. 2007). Hauptgrund für die mangelnde klinische Akzeptanz intravenöser Vasodilatoren bei der Therapie des Rechtsherzversagens sind deren potentielle Nebenwirkungen. So erweitert keiner der Vasodilatoren die Lungenstrombahn selektiv. Meist kommt es gleichzeitig zu einer Gefäßdilatation im Systemkreislauf mit konsekutivem Blutdruckabfall und damit zu einer Beeinträchtigung der Organperfusion. Intravenöse Vasodilatoren erweitern auch Gefäße in Lungenarealen, die wegen einer Minderbelüftung nicht zur Oxygenierung des Blutes beitragen und daher der hypoxisch pulmonalen Vasokonstriktion unterliegen.

Die inhalative Zufuhr von Vasodilatoren über die Atemwege steigert deren lokale Effektivität und minimiert systemische Nebenwirkungen. Sowohl Stickstoffmonoxid (NO) als auch Prostanoiden induzieren nach Inhalation eine selektive pulmonale Vasodilatation. So zeigte sich in mehreren Studien eine signifikante Abnahme des MPAP und des PVR ohne Veränderung des SVR und des MAP bei Applikation von NO (Lindberg et al. 1994, Fullerton et al. 1996 und Bender et al. 1997) und bei Prostanoiden (Theodoraki et al. 2002, Langer et al. 2003 und De Wet et al. 2003) bei kardiochirurgischen Patienten.

Die inhalative NO-Gabe ist bislang mit Ausnahme von Neugeborenen mit primärer pulmonaler Hypertension nicht für den klinischen Einsatz zugelassen. Jeder Anwender muss daher im besonderen Maße über deren potentielle Nebenwirkungen informiert sein.

Zusammenfassend kann der Therapieansatz einer inhalativen Gabe von selektiven pulmonalen Vasodilatoren wie Prostanoiden oder NO bei Bestehen eines therapierefraktären Rechtsherzversagens im Rahmen eines Heilversuches nach Konsensusmeinung des Expertengremiums in Erwägung gezogen werden. Die Empfehlung dieser Substanzen ohne Zulassung für die ausgewiesenen Indikationen begründet sich auf das Vorliegen von Studiendaten und der großen bestehenden klinischen Erfahrung beim Einsatz dieser Substanzen.

Die Therapieempfehlungen zur Behandlung des Rechtsherzversagens basieren auf Konsensusmeinung des Expertengremiums. Es werden analog zu den Empfehlungen drei hämodynamische Ausgangssituationen aufgeschlüsselt (Tab. 8, Abb. 6):

- Im Falle eines niedrigen rechtsventrikulären Füllungsvolumens im TEE oder eines Quotienten von PAOP zu ZVD  $> 1$  sollte der vorsichtige Versuch einer Volumengabe erfolgen.  
Bleibt dieser Ansatz erfolglos, ist die medikamentöse Therapie indiziert. Bei normotensiven Patienten ist die Gabe eines Vasodilatators gerechtfertigt. Bleibt dieser Therapieansatz erfolglos, ist die Gabe von Inotropika gerechtfertigt. Bei hypotensiven Patienten ist primär die positiv inotrope Unterstützung angezeigt.
- Im Falle einer rechtsventrikulären Volumenbelastung mit Zeichen einer rechtsventrikulären Dilatation im TEE oder eines Quotienten von PAOP zu ZVD  $< 1$  respektive einem schnellen Anstieg dieses Quotienten sollte bei normotensiven Patienten mit einem MAP  $> 70$  bis  $80$  mmHg primär eine Steigerung der Inotropie mit Dobutamin und/oder einem PDE-III-Hemmer erfolgen. Supplementierend sollte eine Nachlastsenkung mit einem Vasodilatator wie Nitroglycerin in Erwägung gezogen werden. Ist die Kombination Dobutamin mit NTG und/oder PDE-III-Hemmer nicht erfolgreich, sollte auf Adrenalin, gegebenenfalls mit Nitroglycerin und/oder PDE-III-Hemmer, umgestellt werden.  
Bei Bestehen eines pulmonalen Hypertonus und/oder eines therapierefraktären Rechtsherzversagens kann die inhalative Gabe eines Prostanoids oder von NO zusätzlich zu einer positiv inotropen Therapie in Erwägung gezogen werden.

Behandlungsziel sollte nicht ein möglichst niedriger PAP oder PVR sein, sondern eine optimale Verminderung des Quotienten aus PVR und SVR, mit maximaler Unterstützung des rechten Ventrikels ohne signifikanten Abfall von O<sub>2</sub>-Zufuhr und Blutdruck (MAP > 60 mmHg).

- Hypotensive Patienten mit einem MAP < 70 mmHg mit hoher rechtsventrikulärer Vorlast befinden sich im dekompensierten Rechtsherzversagen. Hier ist eine maximale inotrope Stimulation angezeigt. Initial kann die Therapie mit Dobutamin und einem PDE-III-Hemmer in Kombination mit Noradrenalin erfolgen. Bei einer insuffizienten hämodynamischen Stabilisierung ist Adrenalin Mittel der Wahl, abhängig vom peripheren Widerstand mit oder ohne zusätzliche Gabe von Nitroglycerin.  
Bei Bestehen eines pulmonalen Hypertonus können inhalative Prostanoiden oder NO zum Einsatz kommen.

### **Intraaortale Ballonpumpe**

Die intraaortale Gegenpulsation ist heute in der Herzchirurgie ein Routineverfahren der Kreislaufunterstützung bei Versagen der linksventrikulären Funktion.

Der Einsatz bei einem postoperativen Low-Cardiac-Output-Syndrom bzw. bei einem intra- oder postoperativen Myokardinfarkt nach aortokoronaren Bypassoperationen so wie nach Klappeneingriffen ist der klassische Indikationsbereich in der Herzchirurgie. Die IABP wird in der Mehrzahl der Fälle noch intraoperativ implantiert, um das Weaning von der HLM zu erleichtern oder postoperativ auf der Intensivstation bei Verschlechterung der Hämodynamik bzw. zur kardialen Unterstützung nach nicht optimaler Revaskularisation (Möhnle et al. 2002).

Die klassischen Indikationen der IABP-Implantation umfassen ein persistierendes oder sich verschlechterndes Low-cardiac-output-Syndrom unter Therapie mit hochdosierten inotropen oder vasoaktiven Substanzen, eine ST-Hebung und neu aufgetretene Hypokinesie (TEE) ohne Option der chirurgischen oder interventionellen Verbesserung und/oder problematische Anschlußverhältnisse und eine unvollständige Koronarrevaskularisierung (Tab. 9, Abb. 7).

Es wird aber darauf verwiesen, dass zum jetzigen Zeitpunkt keine Evidenz-basierten Indikationskriterien für den Einsatz einer IABP ausgewiesen werden können (Samuels et al. 2001 und Hausmann et al. 2002). Entscheidend für den Einsatz einer IABP nach kardiochirurgischen Eingriffen ist eine ausbleibende hämodynamische Stabilisierung trotz einer steigenden Dosierung positiver inotroper Substanzen respektive eine inadäquate Reaktion auf eine Katecholamintherapie. Es bestehen nur unzureichende Kriterien in der Literatur, welche die Indikationen und den Zeitpunkt einer Implantation einer IABP in der postoperativen Kardiochirurgie definieren. Dabei ist gerade der rechtzeitige Einsatz einer solchen Kreislaufunterstützung entscheidend, um ein Multiorganversagen mit seinen konsekutiven Konsequenzen zu vermeiden.

So zeigte eine systematische Evidenz-basierte Übersichtsarbeit (Baskett et al. 2002), dass der Einsatz einer IABP das Langzeitüberleben von kardiochirurgischen Patienten verbessert.

Eine schwere Aortenklappeninsuffizienz stellt aufgrund der durch die IABP erhöhten Regurgitation eine Kontraindikation dar. Bei thorakalen und abdominellen Aortenaneurysmen kann es bei dem Einführen des intraortalen Ballonkatheters zu Fehlpositionen, Abscheren von thrombotischem Material sowie Gefäßperforationen kommen. Bei schwerer pAVK ist die Durchblutung des Beines distal der Insertion des Katheters gefährdet. Eine gering ausgeprägte Aortenklappeninsuffizienz sowie eine gering ausgeprägte pAVK stellen relative Kontraindikationen dar; hier sollte im Einzelfall der Nutzen der IABP gegenüber dem potenziellen Risiko abgewogen werden. Eine weitere relative Kontraindikation zur Insertion des Ballonkatheters stellt das Vorhandensein einer Gefäßprothese in der Leiste dar. Alternativ besteht in diesen Fällen die Option einer transthorakalen Implantation einer IABP.

Die Häufigkeit von vaskulären Komplikationen bei femoraler Implantation einer IABP wird in der Literatur mit 6%–33% angegeben; die meisten Studien hierzu basieren jedoch auf Daten, die vor mehreren Jahren oder über einen Zeitraum von vielen Jahren erhoben wurden. Die Daten von Kathetern mit kleinerem Außendurchmesser sowie schleusenloser Insertion werden hierbei nicht widergegeben. In den letzten Jahren kann man bei zunehmender Erfahrung der Anwender sowie zunehmendem Einsatz der schleusenlosen Insertion von Ballonkathetern mit kleinem Außendurchmesser eine Abnahme von Komplikationen beobachten (Ferguson et al. 2001).

## **Qualitätsmanagement und Ökonomie**

Unter dem Aspekt der Kostenreduktion im Gesundheitssystem hat die Intensivmedizin eine besondere Bedeutung. In Krankenhäusern der Maximalversorgung werden für die Intensivstationen annähernd 20% des Gesamtetats aufgewendet, obwohl nur ca. 5% aller Krankenhauspatienten in diesem Bereich behandelt werden (Barckow 2000). Somit gehören die Intensivstationen neben den Operationseinheiten zu den teuersten Abteilungen einer Klinik. Eine Befragung unter deutschen anästhesiologisch geführten Intensivstationen zeigte, dass ein Behandlungstag abhängig von der Bettenzahl und der Versorgungsstufe der Klinik (ohne Einbeziehung der Abschreibung für die Investitionskosten der apparativen Ausstattung) ca. 900 Euro (874 – 1.889 Euro) kostet (Prien et al. 2002). Ähnliche Ergebnisse wurden von Jacobs et al. (2004) auch für britische Intensivstationen ermittelt.

In Anbetracht von annähernd 100.000 kardiochirurgischen Patienten (Kalmár et al. 2004), die in ca. 1.000 Intensivbetten in Deutschland pro Jahr behandelt werden, wird die ökonomische Dimension der kardiochirurgischen Intensivmedizin deutlich. 5%-10% dieser Patientenpopulation sind Problempatienten, die eine längere intensivmedizinische Versorgung benötigen und eine 30-Tage-Mortalität von 30% bis 35% aufweisen (Kuhn et al. 2000, Isgro et al. 2002) und dabei 48% der Kosten der intensivmedizinischen Behandlung in der Kardiochirurgie verursachen (Bashour et al. 2000).

Um die unter ökonomischem Aspekt angestrebte Reduktion der Therapiekosten sinnvoll zu erzielen, ist eine Kosten-Effektivitäts-Analyse unter besonderer Berücksichtigung Evidenz-basierter Therapieformen durchzuführen (Schleppers 2001). Als generelle Zielstellung gilt es dabei, eine optimale Behandlung zu angemessenen finanziellen Bedingungen zu fördern und unnötige oder gar schädliche Therapiemaßnahmen auszuschließen.

Die Leitlinien der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Unter Berücksichtigung der regionalen Besonderheiten sollten sie in klinikinterne Richtlinien bzw. Standard Operating Procedures (SOPs) integriert werden (Martin et al. 2003). Der Notwendigkeit von Leitlinien bzw. Standards im Interesse der Therapiesicherheit für die Patienten und das medizinische Personal ist mittlerweile unumstrittener Konsens (Roeder et al. 2003). Dabei ist es zunächst nicht so entscheidend, welches Konzept zur Anwendung kommt, sondern dass ein Konzept konsequent genutzt wird, und die sich daraus ergebenden Entscheidungs- und Handlungsabläufe klar und nachvollziehbar definiert sind (Payen et al. 1990). Die ökonomischen Vorteile der Anwendung von Leitlinien und Standards ohne Verschlechterung der Ergebnisqualität sind mittlerweile vielfach bestätigt (Kern et al. 1999, Pronovost et al. 2003 und Meade et al. 2001) (Tab. 10, Abb. 8).

Im Rahmen des Qualitätsmanagements ist es erforderlich, sowohl die Umsetzung der Leitlinien als auch deren Aktualität zu überprüfen. Leitlinien müssen in definierten Zeitabständen an den jeweils aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisstand angepasst werden.

Die Implementierung von diagnostischen und/oder therapeutischen Leitlinienempfehlungen in institutionsgebundene klinische Standards ist ohne Berücksichtigung nationaler und regionaler Gegebenheiten nicht realisierbar. So ist auf lokaler Ebene eine problem- und prozessorientierte, arbeitsplatzspezifische Ausarbeitung im Konsens aller Beteiligten Voraussetzung (local tailoring). Die konsequente Umsetzung von Leitlinien bzw. Standards erfordert somit die Schulung des Personals in deren Anwendung.

Die Arbeitsgruppe von Pilon et al. (1997) zeigte, dass die Implementierung eines Protokolls zur BGA-Abnahme, das sich nicht an festen zeitlichen Vorgaben orientiert, sondern an klinischen Indikationen, zu einer gesteigerten Effizienz, ohne Beeinflussung der Dauer einer mechanischen Beatmung oder des klinischen Outcomes, gemessen an der Mortalität auf der Intensivstation, führen kann.

Auch Mehari et al. (1997) wiesen anhand von 100 postoperativen kardiochirurgischen Patienten nach Implementierung einer Leitlinie einen rationelleren Umgang bezüglich der Indikationen und damit Abnahmehäufigkeit von Blutgasanalysen nach. Die Umsetzung des Leitlinien-Algorithmus führte zu einer Reduktion der Abnahmefrequenz von Blutgasanalysen um 17%. Grundvoraussetzung zur Umsetzung des Algorithmus war das kontinuierliche Monitoring mit der Pulsoxymetrie. Die Zeitdauer der mechanischen Ventilation reduzierte sich signifikant nach Implementierung der Leitlinie zur BGA-Abnahme von durchschnittlich 13,7 Stunden auf 10,9 Stunden.

Es liegen bis zum jetzigen Zeitpunkt nur wenige ökonomische Untersuchungen bezüglich der Verfahren des erweiterten hämodynamischen Monitorings in der Intensivmedizin vor, so dass fundierte Aussagen hinsichtlich der Kosteneffektivität dieser Monitoring-Verfahren nur begrenzt möglich sind.

Hinsichtlich der Nutzung der transösophagealen Echokardiographie in der Kardiochirurgie zeigten jedoch mehrere Publikationen, dass der intra- und/oder postoperative Einsatz dieses Monitoring-Verfahrens effektiv und kosteneffizient gestaltet werden kann (Benson et al. 1995, Ionescu et al. 2001 und Fanshawe et al. 2002).

Ein mit zu berücksichtigender Faktor bei der ökonomischen Kalkulationen der Nutzung der Echokardiographie ist der initial hohe Aufwand der Mitarbeiterschulung hinsichtlich dieses Monitoring-Verfahrens.

Malbrain et al. (2005) führten eine Kostenschätzung verschiedener invasiver und nichtinvasiver Techniken zur Messung des Herzzeitvolumens durch. Die Schätzung basierte auf den Kosten der Monitoringgeräte, der Röntgenkontrollen, den Verbrauchsartikeln und den Lohnkosten der ärztlichen und pflegerischen Belegschaft. Die errechneten Kosten für das erweiterte hämodynamische Monitoring je Tag und Patient waren für den PAK am kostengünstigsten. Die Gesamtkosten, errechnet mit unterschiedlicher Gewichtung der aufgeführten Einzelkomponenten waren für den PAK und die transpulmonale Thermodilution nahezu äquivalent. Es ist aber fraglich, ob dieser Ansatz einer vergleichbaren Kostenkalkulation für Verfahren des erweiterten hämodynamischen Monitorings reliable Rückschlüsse zulässt, zumal in den Berechnungen von einer Einsatzzeit von bis zu 15 Tagen ausgegangen wurde.

Hinsichtlich der Kosteneffektivität der einzelnen invasiven Monitoring-Verfahren kann somit zum jetzigen Zeitpunkt, basierend auf der veröffentlichten Datengrundlage, noch keine Beurteilung erfolgen.

Unabhängig von der bestehenden Kontroverse über den idealen Volumenersatz in der postoperativen Kardiochirurgie sind auch bezüglich des Gebrauches von künstlichen und natürlichen kolloidalen Lösungen im Vergleich zu kristalloiden Lösungen ökonomische Abwägungen zu treffen.

Kristalloide Lösungen mit verstoffwechselbaren Anionen sind in ökonomischer Hinsicht gegenüber Lösungen ohne verstoffwechselbare Anionen, NaCl 0,9% oder Glucose 5% vergleichbar und sollten somit zur perioperativen Volumentherapie bevorzugt eingesetzt werden.

Hinsichtlich der Wahl von künstlichen kolloidalen Lösungen führt der Einsatz von HAES 130/0,4 im Vergleich zu Gelatine zu höheren Kosten, ist aber durch eine längere intravasale Verweildauer und einen größeren Volumeneffekt sinnvoll (Adams et al. 2005) und in der Bilanz als kostenneutral zu betrachten (Boldt et al. 2001).

Im Vergleich zu künstlichen kolloidalen Lösungen ist der Einsatz von 5-prozentigem Humanalbumin zum primären Einsatz in der perioperativen Volumentherapie mit nahezu dreifach höheren Kosten verbunden und damit aus ökonomischen Gründen ineffizient (Tab. I).

Tab. I Kosten für die Volumensubstitution von 2 l intravasalem Volumen mittels kristalloider oder kolloidaler Plasmaersatzlösungen *		
Jonosteril	(0,50 € je 500 ml)	4,00 €
Ringer-Lösung	(0,60 € je 500 ml)	4,80 €
NACL 0,9 %	(0,50 € je 500 ml)	4,00 €
Glucose 5 %	(0,40 € je 500 ml)	3,20 €
HAES 130/0,4 6%	(3,70 € je 500 ml)	14,80 €
Gelatine 4%	(2,60 € je 500 ml)	10,40 €
Humanalbumin 5%	(7,30 € je 250 ml)	58,40 €

\* Den Berechnungen wurden Apothekenpreise einer deutschen Universitätsklinik im Jahr 2005 zugrunde gelegt.

Die Kosten einer Therapie mit positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen weisen in den in der Intensivmedizin gebräuchlichen Standarddosierungen erhebliche Unterschiede auf (Tab. II).

Tab. II Kosten für den Einsatz positiv inotroper oder vasoaktiver Substanzen über 24 h für einen Patienten mit 85 kg Körpergewicht in durchschnittlicher Dosierung *	
Adrenalin (Dosislaufrate 0,01 µg/kgKG/min)	0,90 €
Dobutamin (Dosislaufrate 10 µg/kgKG/min)	7,50 €
Enoximon (Dosislaufrate 5 µg/kgKG/min)	120,00 €
Milrinon (Dosislaufrate 0,5 µg/kgKG/min)	120,00 €
Levosimendan (Dosislaufrate 0,2 µg/kgKG/min)	1.720,00 €

\* Den Berechnungen wurden Apothekenpreise einer deutschen Universitätsklinik im Jahr 2005 zugrunde gelegt. Levosimendan ist nur über die internationale Apotheke erhältlich.

Veröffentlichte Analysen hinsichtlich der Effektivität und der Kosteneffizienz von positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen in der Kardiochirurgie liegen bisher nicht vor. Kosten- und Outcome-Analysen bei der Behandlung der Herzinsuffizienz in der internistischen Intensivmedizin mit neueren Substanzgruppen wie den Phosphodiesterasen-Hemmern oder Kalziumsensitizern im Vergleich zu Katecholaminen kommen zu divergierenden Ergebnissen bei der Bewertung der Kosteneffizienz in Relation zum Patienten-Outcome (Cleland et al. 2003, Yamani et al. 2001).

Cleland et al. (2003) untersuchten die Kosteneffektivität von Levosimendan im Vergleich zu Dobutamin bei Patienten mit einem Low-cardiac-output-Syndrom basierend auf den Daten der randomisierten doppelblinden LIDO-Studie (Follath et al. 2002). Die Kosten der Therapie mit den positiv inotropen oder vasoaktiven Substanzen betrug für die 24-stündige Behandlungsdauer für die Dobutaminingruppe durchschnittlich ca. 40 €, für die Levosimendangruppe beliefen sich die Kosten auf durchschnittlich ca. 1000 €.

Nach sechs Monaten zeigte sich eine um 11% geringere Mortalitätsrate in der Levosimendangruppe im Vergleich zur Dobutaminingruppe. Trotz des Überlebensvorteils für die Levosimendangruppe zeigten sich keine Unterschiede in der Häufigkeit der Wiederaufnahme und der Länge des sich anschließenden Klinikaufenthaltes zwischen den Gruppen in den ersten sechs Monaten des follow-up. Die größere Anzahl von überlebenden Patienten in der Levosimendangruppe führte somit trotz initial höheren Behandlungskosten zu einer geringeren Ressourceninanspruchnahme über einen sich anschließenden Zeitraum von sechs Monaten.

Die Arbeitsgruppe von Yamani et al. (2001) untersuchte retrospektiv 329 Patienten mit einer akut exazerbierten chronischen Herzerkrankung, die einer Therapie mit inotropen oder

vasoaktiven Substanzen bedurften. 81,7% der Patienten erhielten eine inotrope Therapie mit Dobutamin und 18,3% der Patienten erhielten den Phosphodiesterase-Hemmer Milrinon. Beide Patientengruppen wiesen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Mortalität, der klinischen Komplikationen und der Aufenthaltsdauer im Krankenhaus auf. Die durchschnittlichen Therapiekosten je Patient beliefen sich in der Dobutaminingruppe auf  $45\pm 10$  US\$ im Vergleich zu  $1855\pm 350$  US\$ in der Milrinongruppe.

Die Arbeitsgruppe von Polonen et al. (2000) zeigte in einer prospektiven randomisierten klinischen Studie, dass eine initiale zielorientierte Therapie mit einer gemischtvenösen Sättigung  $> 70\%$  und einer Laktatkonzentration  $\leq 2,0$  mmol/l innerhalb von acht Stunden nach Aufnahme auf die Intensivstation zu einer signifikanten Reduktion der Gesamtaufenthaltsdauer des Patientenkollektivs der Interventionsgruppe um einen Tag im Median im Vergleich zur Kontrollgruppe führte. Die Verweildauer betrug in der Interventionsgruppe im Median 6 Tage (Range 4-64 Tage), in der Kontrollgruppe resultierte eine Verweildauer von 7 Tagen im Median (Range 2-93 Tage).

Als Morbiditätsparameter wurden in dieser Studie die Inzidenz von Organdysfunktionen bei ITS- und Krankenhausentlassung ausgewiesen. In der Interventionsgruppe wiesen bei Krankenhausentlassung zwei Patienten eine Organdysfunktion auf. In der Kontrollgruppe wiesen vier Patienten eine zentralnervöse, fünf Patienten eine hepatische, drei Patienten eine renale und ein Patient eine respiratorische Organdysfunktion auf.

Eine zielorientierte Therapie ( $SvO_2 > 70\%$ , Laktat  $< 2,0$  mmol/l) bei kardiochirurgischen Patienten kann somit zu einer geringeren Morbidität und zu einer verkürzten Krankenhausverweildauer führen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es keine abschließende Evidenzgrundlage für die Bevorzugung eines einzigen optimalen Konzeptes zum hämodynamischen Monitoring und zur Therapie mit positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen in der Behandlung von postoperativen kardiochirurgischen Intensivpatienten gibt.

Die angemessene Auswahl von positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen und die Verwendung von Verfahren des erweiterten hämodynamischen Monitorings sind nicht nur unter therapeutischen sondern auch unter ökonomischen Aspekten von Bedeutung. Die konsequente Anwendung von Leitlinien bzw. deren Umsetzung in klinikinternen Standards oder SOPs kann Kosten reduzieren. Klare Indikationsstellungen sowie klinische Behandlungspfade vermitteln Hilfen zur Entscheidungsfindung nicht nur im Bezug auf das therapeutische Vorgehen sondern auch im Hinblick auf eine kosteneffiziente Therapie mit maximalem Benefit für den Patienten. Die endgültige Entscheidungsfindung erfolgt jedoch grundsätzlich im Interesse des individuellen Patienten, sollte bei Abweichungen von den Standardtherapien aber begründet werden.

Im Rahmen der Aktualisierung der Leitlinie wird auch die Eignung der empfohlenen Therapieansätze und Zielparameter für die Definition konkreter Indikatoren zur Beobachtung der Prozess- und Ergebnisqualität zu prüfen sein.

## Tabellen 1-10: Evidenzbasierte Empfehlungen

<b>Tabelle 1: Evidenz-basierte Empfehlungen Basismonitoring</b>	<b>Evidenz-Grad</b>	<b>Empfehlungs-Grad (GoR)</b>
Zur kontinuierlichen EKG-Überwachung sollen zur Arrhythmie- und Ischämiediagnostik die Ableitungen II und V5 oder alternativ II und V3 oder II und V4 oder sofern technisch möglich V3, V4 und V5 verwendet werden.	C	A
Ein ST-Segment-Monitoring wird bei jeder EKG-Überwachung empfohlen.	D	0
Bei Intensivpatienten wird ein 12-Kanal-EKG mit Dokumentation bei stationärer Aufnahme und im Verlauf der ersten drei postoperativen Tage des ITS-Aufenthaltes einmal täglich empfohlen. Ab dem 3. Tag einer Weiterbehandlung auf ITS erfolgt die Indikation nach der jeweiligen klinischen Situation.	D	0
Das kontinuierliche Monitoring mittels der Pulsoxymetrie detektiert das Auftreten klinisch inapparenter O <sub>2</sub> -Entsättigungen und soll daher als kontinuierliches Monitoringverfahren eingesetzt werden.	A	A
Eine kontinuierliche invasive Blutdruckmessung soll nach kardiochirurgischen Eingriffen obligat sein, da nichtinvasive Messungen unzureichend präzise und diskontinuierlich sind.	C	A
Der ZVD kann trotz methodenimmanenter Limitationen wichtige Informationen über akute Veränderungen der rechtsventrikulären Compliance und/oder des Volumenstatus liefern und kann daher kontinuierlich gemessen werden.	D	0
Eine Temperaturmessung kann kontinuierlich erfolgen. Bei diskontinuierlicher Messmethodik wird mindestens ein 4-stündliches Intervall empfohlen.	D	0
Die Bilanzierung kann in den ersten 24 h in einem 1-stündlichen Intervall erfolgen, danach in Abhängigkeit des klinischen Zustandes des Patienten in 4-stündlichen Intervallen.	D	0
Eine BGA sollte zügig nach Aufnahme auf die ITS, bei Auftreten einer kardiopulmonalen Instabilität oder bei Veränderung der Ventilationsparameter innerhalb eines Zeitintervalls von 30 min erfolgen. Bei einer FIO <sub>2</sub> ≥ 0,6 wird eine BGA alle 4 Stunden, sonst mindestens alle 8 Stunden, empfohlen.	D	B
Die ScvO <sub>2</sub> bildet Verlaufsänderungen der SvO <sub>2</sub> ausreichend gut ab und kann alternativ verwendet werden. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass eine ScvO <sub>2</sub> im Normbereich nicht für SvO <sub>2</sub> -Normwerte beweisend ist.	C	0

<b>Tabelle 2: Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Echokardiographie</b>	<b>Evidenz-Grad</b>	<b>Empfehlungs- Grad (GoR)</b>
Bei Patienten, die akute anhaltende hämodynamische Störungen aufweisen, die nicht auf eine initiale Therapie reagieren und bei denen die ventrikuläre Funktion und ihre Determinanten unklar sind, ist die Echokardiographie zur Diagnosesicherung in der perioperativen Periode sinnvoll und verbessert das klinische Outcome.	D	B
Die TEE bietet im Vergleich zur TTE vor allem bei beatmeten postoperativen Patienten diagnostische Vorteile und sollte bei diesen Patienten bevorzugt eingesetzt werden.	D	B
Die TEE in der perioperativen Periode ist sinnvoll und sollte durchgeführt werden, um das klinische Outcome bei Patienten, die ein erhöhtes Risiko myokardialer Ischämien oder eines Infarktes aufweisen, zu verbessern.	D	B
Die Erfassung des Herzzeitvolumens mittels der Echokardiographie kann mit der Doppler-Methode und der Flächenbestimmung durchströmter Areale im Vergleich zu Verfahren, die das Thermodilutionsprinzip nutzen, genauso zuverlässig erfolgen und sollte zur diskontinuierlichen HZV-Bestimmung alternativ eingesetzt werden.	B	B
Bei Nutzung der TTE und TEE soll die Dokumentation der Untersuchung erfolgen.	D	A

<b>Tabelle 3: Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Transpulmonale Thermodilution und Pulskonturanalyse</b>	<b>Evidenz-Grad</b>	<b>Empfehlungs- Grad (GoR)</b>
Die Pulskonturanalyse bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten (ACVB) zeigt eine gute Übereinstimmung zum Referenzverfahren der pulmonalarteriellen Thermodilution und kann zum erweiterten hämodynamischen Monitoring eingesetzt werden.	C	0
Die Messung des ITBV scheint bezüglich der Einschätzung der kardialen Vorlast der Messung des ZVD und des PAOP mittels PAK überlegen zu sein.	C	0

Unter Beachtung der methodenimmanenten Limitationen sind die Parameter der Schlagvolumenvariationen (Stroke volume variation / SVV) und der Pulsdruckvariation (PPV) dem zentralen Venendruck (ZVD) und dem pulmonalkapillären Verschlussdruck (PAOP) als Prädiktoren der Volumenreagibilität überlegen und können daher die Diagnostik sinnvoll ergänzen.	C	0
--	---	---

<b>Tabelle 4: Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Pulmonalarterienkatheter</b>	<b>Evidenz-Grad</b>	<b>Empfehlungs-Grad (GoR)</b>
Der Einsatz eines PAK bei kardiochirurgischen Patienten mit einem geringen perioperativen Risiko wird als nicht notwendig erachtet.	C	B
Der PAK kann eingesetzt werden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zur Differenzierung der Ursache und Steuerung der Therapie eines schweren LCOS</li> <li>- Zur Differenzierung zwischen links- oder rechtsventrikulärer Dysfunktion</li> <li>- Zur Differenzierung und Steuerung einer pulmonalen Hypertonie</li> <li>- Bei kardiochirurgischen Hoch-Risikopatienten mit komplexem Eingriff</li> </ul>	D	0

<b>Tabelle 5: Evidenz-basierte Empfehlungen Volumentherapie</b>	<b>Evidenz-Grad</b>	<b>Empfehlungs-Grad (GoR)</b>
Bei der Verwendung kristalloider Lösungen können balancierte Vollelektrolytlösungen bevorzugt werden.	D	0
Ein Vorteil für hypertone kristalloide Lösungen ist im Vergleich zu isotonen oder nähungsweise äquivalenten isotonen kristalloiden Lösungen nicht belegt.	A-	0
Bei der Wahl künstlicher Kolloide können bevorzugt HAES-Derivate mit einem mittleren MW von 130 KD (6%) oder succinylierte Gelatinepräparate verwendet werden.	D	0
Zum Volumenersatz bei kardiochirurgischen Patienten können sowohl HAES als auch Humanalbumin eingesetzt werden. Ein medizinischer Vorteil des teureren Albumins gegenüber mittelmolekularen HAES-Präparaten (6%) ist zum jetzigen Zeitpunkt wissenschaftlich nicht belegt.	D	0
Der Einsatz von hochmolekularen, hochsubstituierten oder hyperonkotischen kolloidalen Volumenersatzmitteln wie HAES 200/0.5 (10% und 6%), HAES 200/0.62 (10% und 6%), Albumin 10% oder 20% ist zu vermeiden.	D	0

<b>Tabelle 6: Evidenz-basierte Empfehlungen postoperative Kreislaufdysfunktion</b>	<b>Evidenz-Grad</b>	<b>Empfehlungs-Grad (GoR)</b>
Bei klinischem Verdacht auf eine Perikardtamponade ist die chirurgische Intervention Mittel der Wahl. In Zweifelsfällen muss eine Echokardiographie zur Diagnosesicherung erfolgen.	C	A
Zur Abschätzung der akuten Volumenreagibilität soll vor Volumengabe ein Anheben der Beine durchgeführt werden.	B	A

<b>Tabelle 7: Evidenz-basierte Empfehlungen Linksherzinsuffizienz</b>	<b>Evidenz-Grad</b>	<b>Empfehlungs-Grad (GoR)</b>
Eine Vorlastoptimierung ist die Grundvoraussetzung für eine medikamentöse oder apparative Therapie der Linksherzinsuffizienz.	D	A
Werden nach einer Vorlastoptimierung die Zielwerte nicht erreicht, ist eine Therapie mit positiv inotropen Mitteln indiziert. Die Auswahl der Substanz richtet sich nach der patientenindividuellen Situation.	D	B
PDE-III-Hemmer sind bei Patienten mit bestehender $\beta$ -Blockade und/oder einer inadäquaten hämodynamischen Reaktion auf eine Dobutamingabe zu bevorzugen.	C	0
Zur Vor- und Nachlastsenkung bei akuter Herzinsuffizienz wird der Einsatz von Nitraten zur Therapie empfohlen.	B	B
Ist ein Vasopressor indiziert, ist Noradrenalin als einziger zugelassener Vasopressor das Mittel der Wahl.	C	A
Den Einsatz von Low-dose-Dopamin zur Prophylaxe oder Therapie eines Nierenversagens ist obsolet.	A	A
Die protektiven Einflüsse von Dopexamin auf die hepato-splanchnikuläre Durchblutung und die Erhöhung der Kreatininclearance bei kardio-chirurgischen Patienten ist nicht nachgewiesen. Die Gabe von Dopexamin wird daher nicht empfohlen.	A	B
Levosimendan soll zur Prävention hämodynamischer Komplikationen bei Patienten mit eingeschränkter LVEF und bei Patienten mit bestehendem LCOS eingesetzt werden. Die empfohlene Dosierung liegt bei 0,1 $\mu\text{g}/\text{kgKG}/\text{min}$ über 24 h. Auf eine Bolusgabe soll verzichtet werden. Aktuell keine Zulassung in Deutschland, daher GoR-Down-Grading.	B	0

<b>Tabelle 8: Evidenz-basierte Empfehlungen Rechtsherzinsuffizienz</b>	<b>Evidenz- Grad</b>	<b>Empfehlungs- Grad (GoR)</b>
Zur Therapie einer Rechtsherzinsuffizienz ist bei adäquatem koronaren Perfusionsdruck die Therapie mit Dobutamin, PDE-III-Hemmer oder Nitroglycerin Mittel der ersten Wahl. Bei unzureichendem Perfusionsdruck ist zusätzlich die Gabe von Noradrenalin indiziert. Bei unzureichendem Erfolg soll die zusätzliche Gabe von Adrenalin erwogen werden.	D	B
Bei Bestehen einer therapierefraktären Rechtsherzinsuffizienz soll die Gabe von inhalativen Vasodilatoren (NO, Prostanoiden) im Rahmen eines Heilversuches in Erwägung gezogen werden.	D	B

<b>Tabelle 9: Evidenz-basierte Empfehlungen IABP</b>	<b>Evidenz- Grad</b>	<b>Empfehlungs- Grad (GoR)</b>
Bei bestehendem LCOS, einer Ischämie oder einer unvollständigen Koronarrevaskularisation und fehlender chirurgischer Korrekturmöglichkeit sollte der frühzeitige Einsatz einer IABP erfolgen.	D	A

<b>Tabelle 10: Evidenz-basierte Empfehlungen Qualitätsmanagement und Ökonomie</b>	<b>Evidenz-Grad</b>
Die Einführung von klinischen Standards kann zu einer Verbesserung der Qualität und zur Steigerung der Effizienz führen.	A
Im Rahmen des Qualitätsmanagements ist es erforderlich, sowohl die Umsetzung der Leitlinien als auch deren Aktualität zu überprüfen. Leitlinien müssen an den jeweils aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisstand angepasst werden.	D
Die Implementierung von diagnostischen und/oder therapeutischen Leitlinienempfehlungen in institutionsgebundene klinische Standards ist ohne Berücksichtigung nationaler und regionaler Gegebenheiten nicht realisierbar. So ist auf lokaler Ebene eine problem- und prozessorientierte, arbeitsplatzspezifische Ausarbeitung im Konsens aller Beteiligten Voraussetzung (local tailoring).	D
Die konsequente Umsetzung von Leitlinien bzw. Standards erfordert die Schulung des Personals in deren Anwendung.	D
Die Implementierung eines Protokolls zur BGA-Abnahme, orientiert an zeitlichen Vorgaben und klinischen Indikationen, kann zur Reduktion der Abnahmefrequenz von Blutgasanalysen führen und damit ökonomische Vorteile bringen.	C
Der klinische Einsatz der Echokardiographie führt zur kosteneffizienten Reduktion des Gebrauchs von Pulmonalarterienkathetern.	D

Der intra- und/oder postoperative Einsatz der transösophagealen Echokardiographie in der Kardiochirurgie ist effektiv und kosteneffizient.	C
Der klinische Einsatz der transösophagealen und transthorakalen Echokardiographie ist mit einem hohen Schulungsbedarf der Mitarbeiter verbunden.	D
Hinsichtlich der Verfahren des erweiterten hämodynamischen Monitorings kann der Pulmonalarterienkatheter im Vergleich zur transpulmonalen Thermodilution als kostenäquivalent betrachtet werden. Es liegt aber noch keine ausreichende Datengrundlage zur Beurteilung der Kosteneffizienz vor.	D
Kristalloide Lösungen mit verstoffwechselbaren Anionen sind in ökonomischer Hinsicht gegenüber Lösungen ohne verstoffwechselbare Anionen, NaCl 0,9 oder Glucose 5% vergleichbar und sollten zur perioperativen Volumentherapie bevorzugt eingesetzt werden.	D
Die Wahl von HAES 130/0,4 für den kolloidalen Volumenersatz führt im Vergleich zu Gelatine zu höheren Kosten, ist aber durch eine längeren intravasale Verweildauer und einen größeren Volumeneffekt sinnvoll und in der Bilanz kostenneutral.	D
Der Einsatz von Humanalbumin zur primären Volumentherapie ist im Vergleich zu künstlichen kolloidalen Plasmaersatzlösungen ökonomisch ineffizient.	D
Eine Therapie mit Levosimendan im Vergleich zu Dobutamin bei einer akut exazerbierten chronischer Herzinsuffizienz ist teuer. Die Therapie mit Levosimendan kann aber zu einer Reduktion der Patientenwiederaufnahmerate und der Krankenhausverweildauer führen und damit bezüglich der 'cost per life-year saved' kosteneffizient sein.	D
PDE-III-Hemmer sind in der Therapie günstiger als Levosimendan, basierend auf der bestehenden Datenlage lassen sich jedoch bezüglich der Kosteneffizienz der beiden Substanzen im Vergleich zueinander noch keine Aussagen treffen.	D
Eine zielorientierte Therapie ( $SvO_2 > 70\%$ , Laktat $< 2,0$ mmol/l) bei kardiochirurgischen Patienten kann zu einer geringeren Morbidität und zu einer verkürzten Krankenhausverweildauer führen.	A

Abb. 1

## Algorithmus Basismonitoring

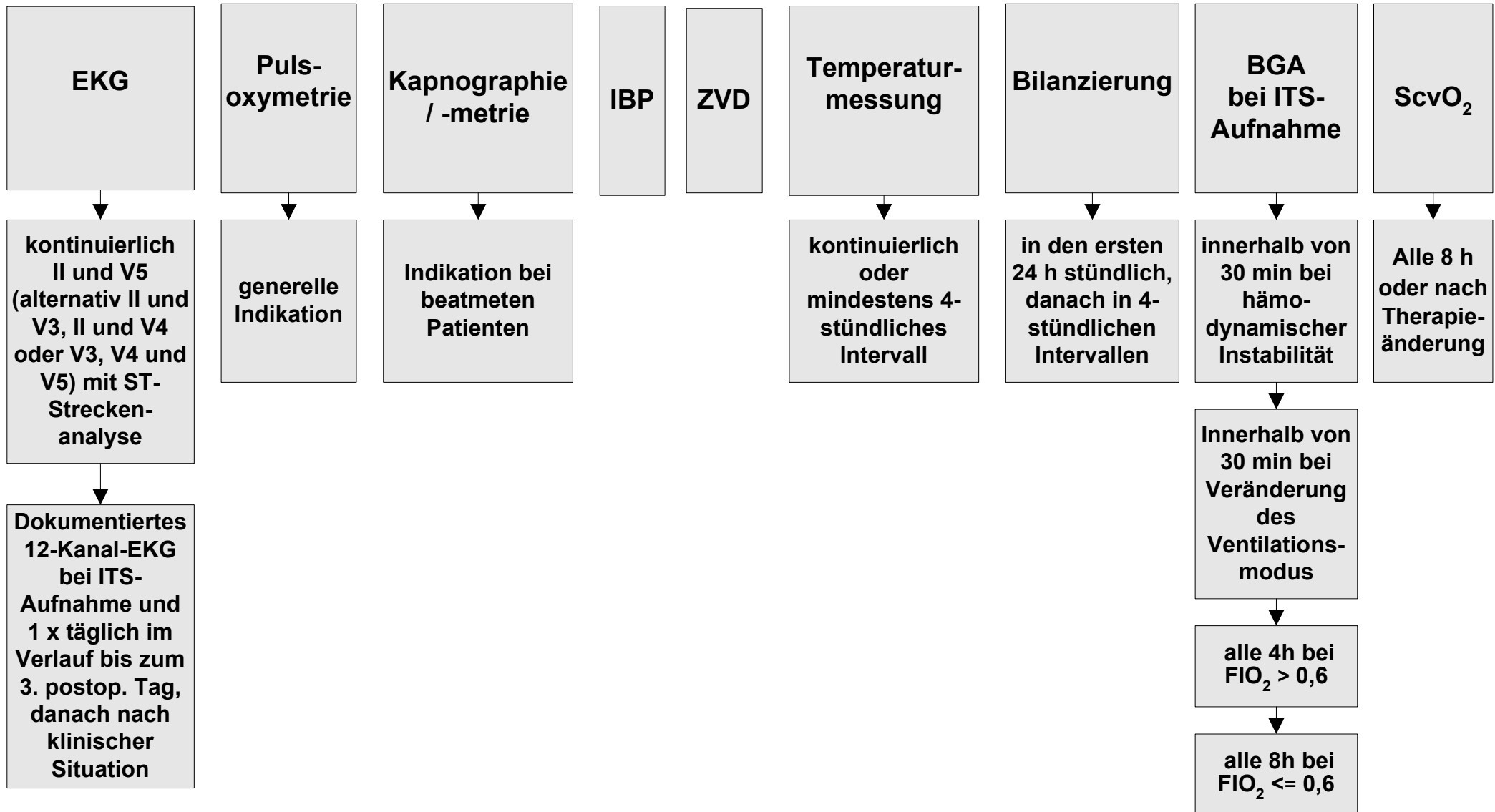


Abb. 2

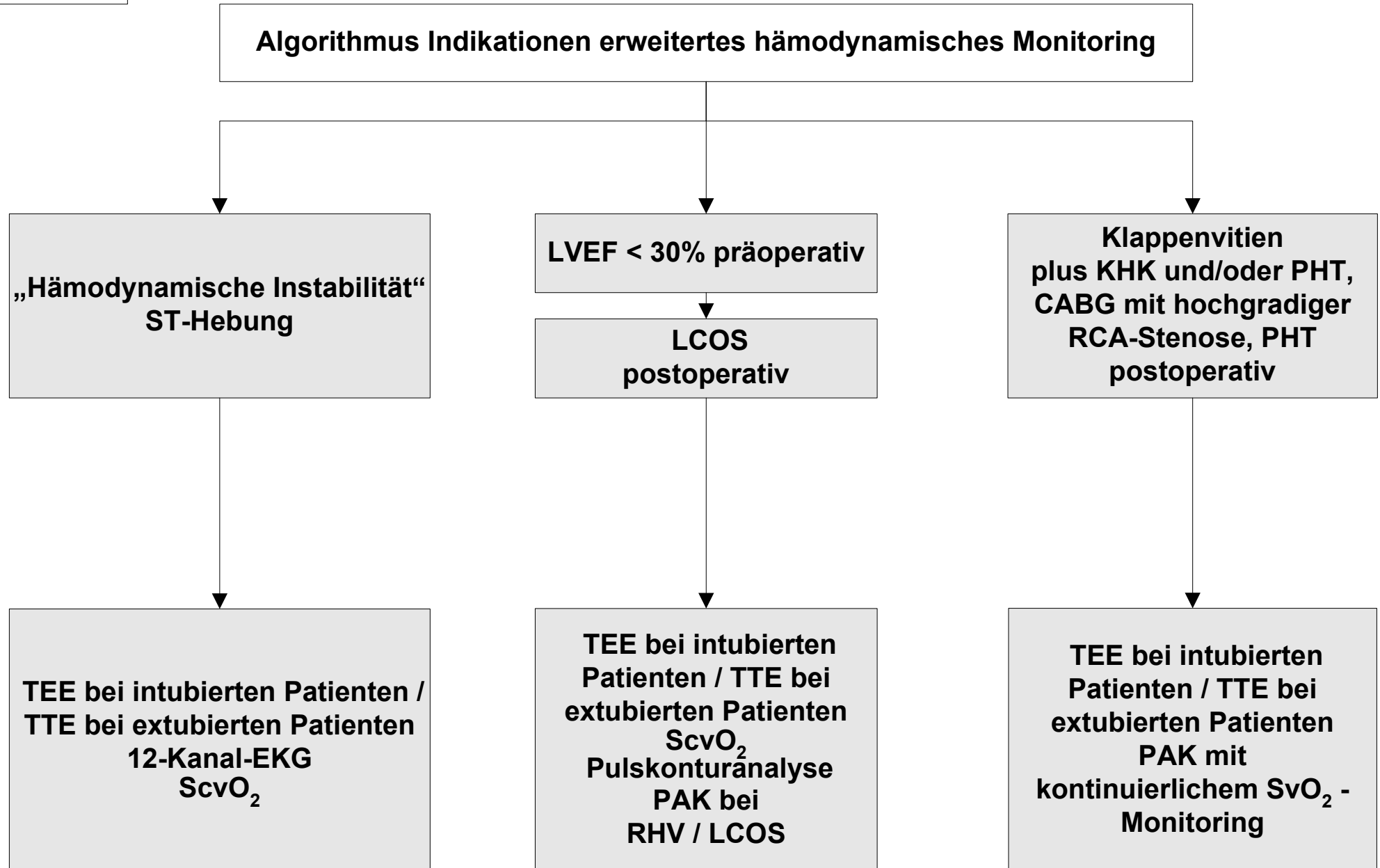
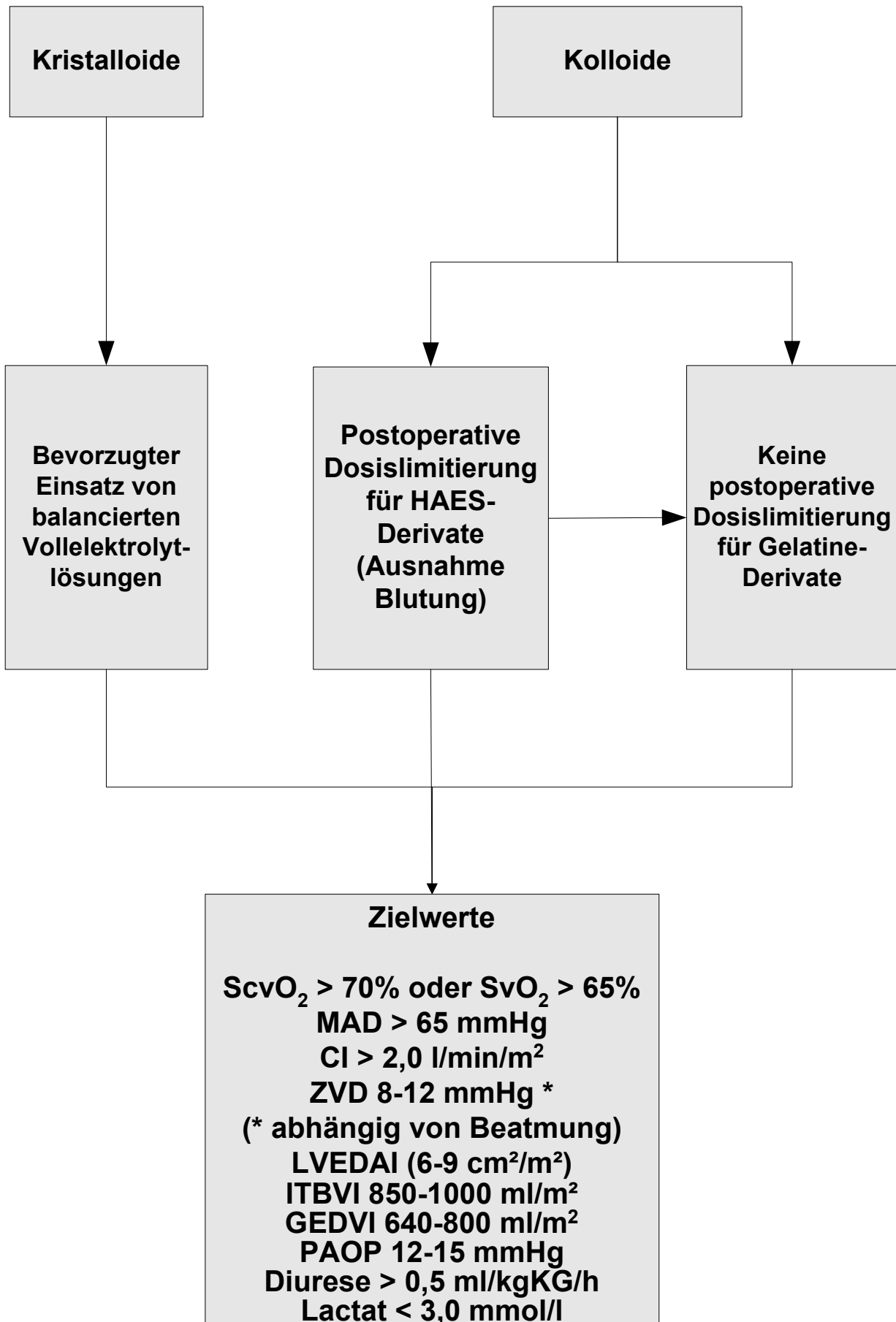
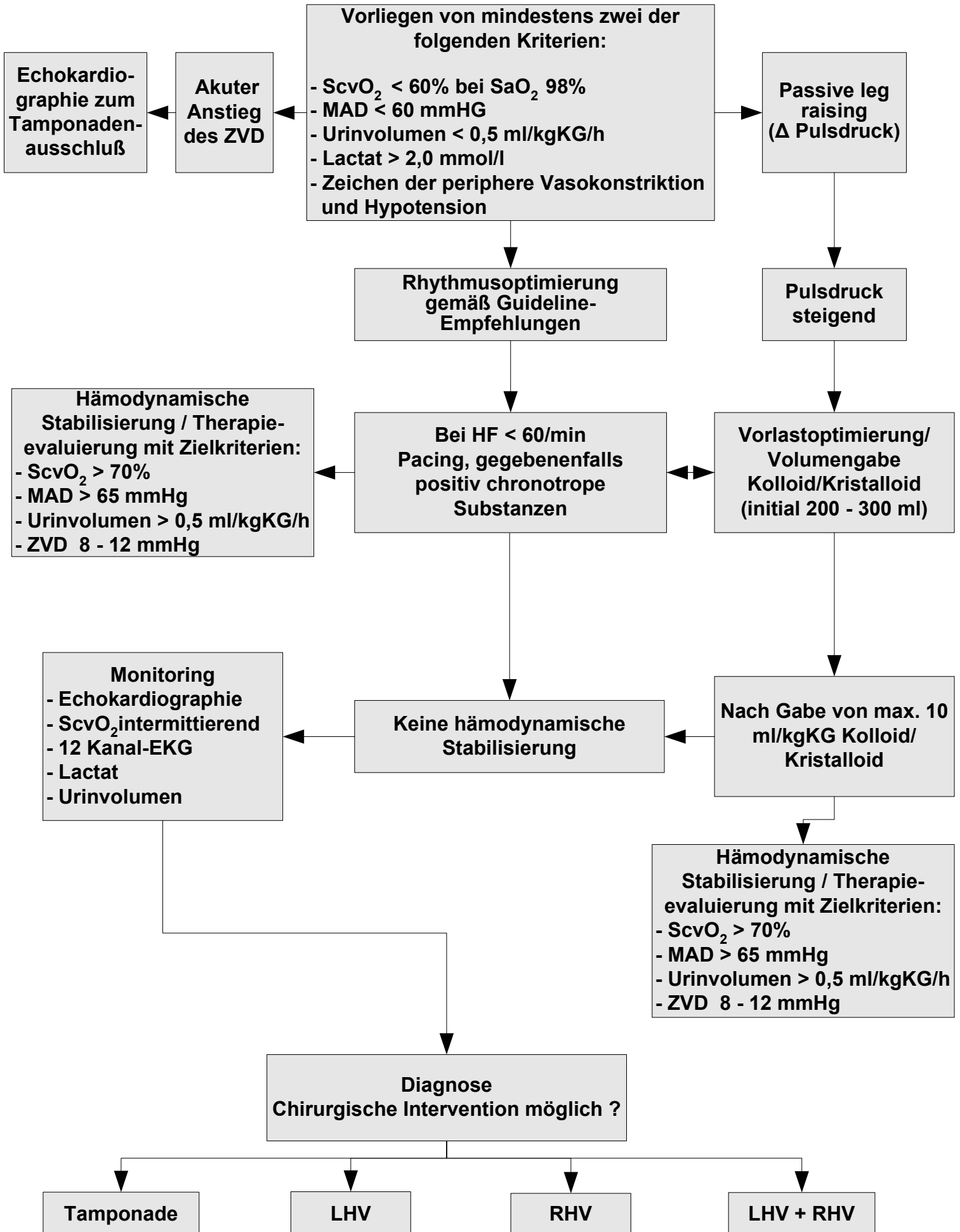


Abb. 3

## Algorithmus postoperative Volumentherapie



# Algorithmus postoperative Kreislaufdysfunktion



# Algorithmus Linksherzinsuffizienz

Erweitertes hämodynamisches Monitoring  
TEE / PAK / Pulskonturanalyse

<p>LV-EDAI &lt; 5 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> PAOP &lt; 5 mmHg ITBVI &lt; 750 ml/m<sup>2</sup></p>	<p>LV-EDAI &lt; 7 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> PAOP &lt; 10 mmHg ITBVI &lt; 850 ml/m<sup>2</sup></p>	<p>LV-EDAI &gt; 9 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> PAOP &gt; 15 mmHg ITBVI &gt; 1000 ml/m<sup>2</sup></p>	<p>LV-EDAI &gt; 11 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> PAOP &gt; 20 mmHg ITBVI &gt; 1200 ml/m<sup>2</sup></p>
---	--	---	--

Vorlast-  
optimierung

Vorlast-  
optimierung  
Inotropie-  
steigerung

Inotropie-  
steigerung

Vorlast-  
reduzierung  
Inotropie-  
steigerung

Volumen

Volume-Challenge  
1. Dobutamin oder  
PDE-Hemmer  
2. Adrenalin  
  
Dobutamin ±  
Noradrenalin,  
PDE-Hemmer ±  
Noradrenalin

1. Dobutamin oder  
PDE-Hemmer  
2. Adrenalin  
3. Levosimendan  
  
Dobutamin ±  
Noradrenalin  
PDE-Hemmer ±  
Noradrenalin

1. Adrenalin plus  
PDE-Hemmer  
2. Levosimendan  
  
gegebenenfalls  
vorsichtiger  
Volumenentzug

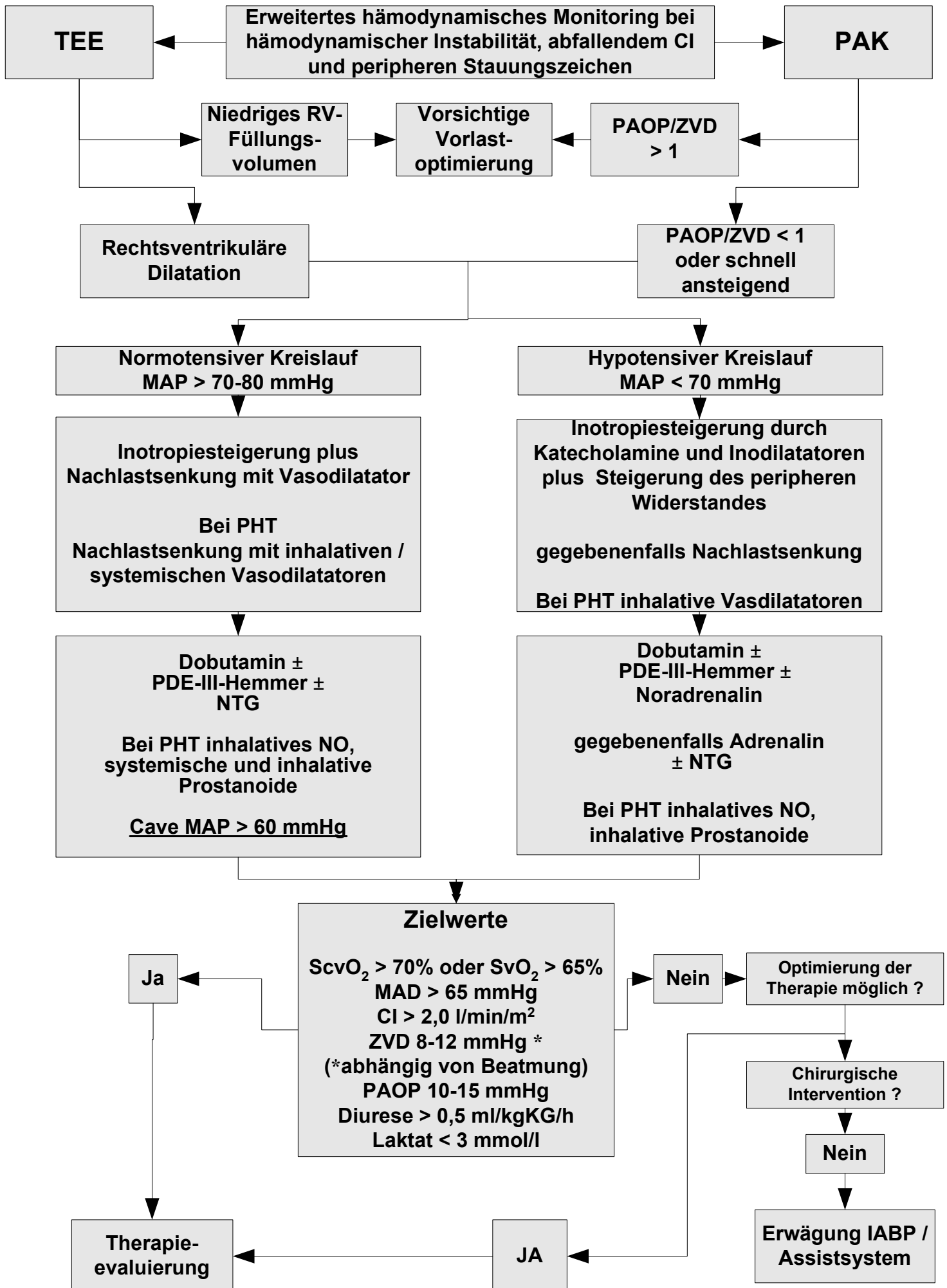
**Zielwerte**

ScvO<sub>2</sub> > 70% oder SvO<sub>2</sub> > 65%  
MAD > 65 mmHg  
CI > 2,0 l/min/m<sup>2</sup>  
ZVD 8-12 mmHg \*  
(\*abhängig von Beatmung)  
LV-EDAI 6-9 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>  
ITBVI 850-1000 ml/m<sup>2</sup>  
GEDVI 640-800 ml/m<sup>2</sup>  
PAOP 12-15 mmHg  
Diurese > 0,5 ml/kgKG/h  
Laktat < 3 mmol/l

IABP / Assist-system ← Chirurgische Intervention? ← Optimierung der Therapie möglich? ← Nein ← Zielwerte erreicht? → Ja → Therapie-evaluierung

Abb. 6

# Algorithmus Rechtsherzinsuffizienz



**Abb. 7**

# Algorithmus IABP

