

S1-Leitlinie

Intraoperative klinische Anwendung von hämodynamischem Monitoring bei nicht-kardiochirurgischen Patient:innen

der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI)

AWMF-Register Nr.: 001 – 049

Version: 1.0

Zitation der Leitlinie:

Saugel B, et al. S1-Leitlinie Intraoperative klinische Anwendung von hämodynamischem Monitoring bei nicht-kardiochirurgischen Patient:innen, verfügbar unter: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/001-049>

Schlüsselwörter: Hämodynamik, Monitoring, Blutdruck, Herzfrequenz, Schlagvolumen, Herzzeitvolumen, Echokardiographie

Erstellungsdatum: 20.09.2023

Nächste Überarbeitung geplant: Januar 2028

Leitlinienkoordination: Prof. Dr. Bernd Saugel, Prof. Dr. Daniel Reuter,
Prof. Dr. Michael Sander, Prof. Dr. Bettina Jungwirth

Inhaltsverzeichnis

1.	<u>ZUSAMMENSETZUNG DER LEITLINIENGRUPPE</u>	3
2.	<u>DIE WICHTIGSTEN EMPFEHLUNGEN AUF EINEN BLICK</u>	6
3.	<u>BESONDERE HINWEISE.....</u>	7
4.	<u>HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG DER LEITLINIE.....</u>	8
5.	<u>INFORMATIONEN ZU DIESER LEITLINIE</u>	9
5.1.	AUSWAHL DER KERNFRAGEN DER LEITLINIE	9
5.2.	KONSENSUSFINDUNG.....	9
5.3.	KONSENSUSEINSTUFUNG	9
5.4.	GELTUNGSBEREICH UND ANWENDERZIELGRUPPE	10
5.5.	DARSTELLUNG DES BEZUGS ZU ANDEREN LEITLINIEN.....	10
6.	<u>ALLGEMEINE GRUNDSÄTZE DIESER LEITLINIE</u>	12
7.	<u>FRAGEN UND EMPFEHLUNGEN</u>	14
8.	<u>REDAKTIONELLE UNABHÄNGIGKEIT</u>	46
8.1.	FINANZIERUNG DER LEITLINIE.....	46
8.2.	DARLEGUNG VON UND UMGANG MIT INTERESSENKONFLIKTEN.....	46
9.	<u>REFERENZEN.....</u>	48
	<u>ANHANG 1: ERKLÄRUNG VON INTERESSEN UND UMGANG MIT</u>	
	<u>INTERESSENKONFLIKTEN</u>	62

1. Zusammensetzung der Leitliniengruppe

Prof. Dr. Thorsten Anneck

Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin, Klinikum der Universität Witten/Herdecke, Kliniken der Stadt Köln, Krankenhaus Köln-Merheim, Köln

Prof. Dr. Berthold Bein

Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, Asklepios Klinik St. Georg, Hamburg

Dr. Moritz Flick

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Zentrum für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg

PD Dr. Matthias Göpfert

Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin, Alexianer St. Hedwig Kliniken Berlin GmbH, Berlin

Prof. Dr. Matthias Grünewald

Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Evangelisches Amalie Sieveking Krankenhaus, Hamburg

Dr. Marit Habicher

Klinik für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin und Schmerztherapie, Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen

Prof. Dr. Bettina Jungwirth

Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Ulm, Ulm

Dr. Tilo Koch

Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie, Philipps-Universität Marburg, Marburg

Dr. Karim Kouz

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Zentrum für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg

PD Dr. Agnes Meidert

Klinik für Anaesthesiologie, Ludwig-Maximilians Universität München, München

Prof. Dr. Gunther Pestel

Klinik für Anästhesiologie, Universitätsmedizin Mainz, Mainz

Prof. Dr. Jochen Renner

Klinik für Anästhesie und Operative Intensivmedizin, Städtisches Krankenhaus Kiel, Kiel

Prof. Dr. Daniel Reuter

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie, Universitätsmedizin Rostock, Rostock

Prof. Dr. Samir Sakka

Klinik für Intensivmedizin, Gemeinschaftsklinikum Mittelrhein gGmbH, Akademisches Lehrkrankenhaus der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Kemperhof und Ev. Stift St. Martin, Koblenz

Prof. Dr. Micheal Sander

Klinik für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin und Schmerztherapie, Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen

Prof. Dr. Bernd Saugel

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Zentrum für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg

Prof. Dr. Sascha Treskatsch

Charité – Universitätsmedizin Berlin, Corporate Member of Freie Universität Berlin and Humboldt-Universität zu Berlin and Berlin Institute of Health, Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin, Berlin

Dr. Amelie Zitzmann

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie, Universitätsmedizin Rostock, Rostock

Beteiligte Fachgesellschaften

Diese S1-Leitlinie wurde vom Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI) am 29.09.2023 verabschiedet.

Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI)

Neuwieder Str. 9

90411 Nürnberg

Tel.: +49 911 93378-0

www.dgai.de

dgai@dgai-ev.de

2. Die wichtigsten Empfehlungen auf einen Blick

- Die intraoperative Blutdrucktherapie soll anhand des mittleren arteriellen Blutdrucks gesteuert werden.
- Intraoperativ soll der mittlere arterielle Blutdruck über 65 mmHg gehalten werden.
- Schlagvolumen/Herzzeitvolumen-Monitoring kann bei Patient:innen mit einem hohen Risiko für Komplikationen oder bei Patient:innen, die sich einer Operation mit hohem Risiko unterziehen müssen, angewendet werden.

3. Besondere Hinweise

Die Medizin unterliegt einem fortwährenden Entwicklungsprozess, sodass alle Angaben, insbesondere zu diagnostischen und therapeutischen Verfahren, immer nur dem Wissensstand zum Zeitpunkt der Drucklegung der Leitlinie entsprechen können. Benutzer:innen bleiben selbst verantwortlich für jede diagnostische und therapeutische Maßnahme.

In dieser Leitlinie sind eingetragene Warenzeichen (geschützte Warennamen) nicht besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus dem Fehlen eines entsprechenden Hinweises nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

4. Hintergrund und Zielsetzung der Leitlinie

Die Überwachung und Therapie der Herz-Kreislauffunktion (hämodynamisches Monitoring und Management) sind Grundsäulen der perioperativen anästhesiologischen Behandlung. Das übergeordnete Ziel der hämodynamischen Therapie ist die Aufrechterhaltung der Organfunktionen durch die Sicherstellung von adäquatem Perfusionsdruck, Blutfluss und Sauerstoffangebot. Hierdurch sollen perioperative Komplikationen verhindert werden, die weiterhin ein großes Problem in der perioperativen Medizin darstellen. So zeigten international prospektiv erhobene Daten von elektiv-chirurgischen Patient:innen, dass die Rate an perioperativen Komplikationen mit knapp 20% weiterhin sehr hoch ist.^{1,2} Perioperative Komplikationen nehmen einen erheblichen Einfluss auf die Langzeitmorbidity (und somit auch auf die Lebensqualität) und Sterblichkeit.³ Das heißt im Umkehrschluss, dass die Vermeidung von perioperativen Komplikationen durch eine Optimierung der Herz-Kreislauffunktion zu einem langfristig besseren Behandlungsergebnis beitragen kann. In den letzten zwei Dekaden wurden zudem die technischen Möglichkeiten zur Überwachung der Herz-Kreislauffunktion – insbesondere zur weniger invasiven Messung von Schlag- und Herzzeitvolumen – deutlich erweitert.⁴⁻⁶

Die Zielsetzung dieser Leitlinie war, die für die tägliche klinische Praxis wichtigen Fragen zum intraoperativen hämodynamischen Monitoring und Management zu identifizieren, in einer Leitliniengruppe zu diskutieren und auf Basis des aktuellen Wissensstandes zu beantworten.

5. Informationen zu dieser Leitlinie

5.1. Auswahl der Kernfragen der Leitlinie

Unsere Grundannahme war, dass die Auswahl von Themen mit hoher Relevanz für die klinische Praxis durch Expert:innen, die sich klinisch und wissenschaftlich intensiv mit einem Spezialgebiet auseinandersetzen, nicht repräsentativ für alle klinisch tätigen Anästhesiolog:innen sein kann. Daher haben wir im Vorfeld an drei Universitätskliniken (Gießen, Hamburg und Rostock) alle Weiterbildungsassistent:innen und Fachärzt:innen für Anästhesiologie digital befragt, welches die für sie wichtigsten Fragen rund um das intraoperative hämodynamische Monitoring und Management sind. Die Antworten dienten als Grundlage zur Formulierung der Kernfragen, die innerhalb der Leitliniengruppe diskutiert und beantwortet wurden.

5.2. Konsensusfindung

Eine finale Abstimmung der einzelnen Empfehlungen dieser Leitlinie erfolgte unter Berücksichtigung der individuellen Interessenskonflikte der Mitglieder der Leitliniengruppe (Anhang 1) mit Hilfe eines Online-Abstimmungstools.

5.3. Konsensuseinstufung

Die Stärke des Konsensus ergibt sich aus der verwendeten Formulierung entsprechend der Abstufung in folgender Tabelle.

Empfehlung für eine Maßnahme/Intervention	Empfehlung gegen eine Maßnahme/Intervention	Beschreibung
“soll“	“soll nicht“	starke Empfehlung
“sollte“	“sollte nicht“	Empfehlung
“kann“ / “ist unklar“	“kann verzichtet werden“ / “ist unklar“	Empfehlung offen

5.4. Geltungsbereich und Anwenderzielgruppe

Diese Leitlinie richtet sich an Anästhesiolog:innen in Klinik und Praxis und andere medizinische Fachrichtungen, die an der intraoperativen klinischen Anwendung von hämodynamischem Monitoring bei nicht-kardiochirurgischen Patient:innen beteiligt sind. Darüber hinaus soll die Leitlinie Kostenträgern und politischen Entscheidungsträgern zur Orientierung dienen.

5.5. Darstellung des Bezugs zu anderen Leitlinien

Die vorliegende Leitlinie steht in engem Bezug zu anderen Leitlinien, die Aspekte des hämodynamischen Monitorings und Managements auf ihre spezifischen Belange abbilden. Hier sind insbesondere die deutschsprachigen S3-Leitlinien „Intensivmedizinische Versorgung herzchirurgischer Patient:innen – Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf“, „Intravasale Volumentherapie bei Erwachsenen“, sowie die Gemeinsame Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Deutschen Gesellschaft für Chirurgie und

Deutschen Gesellschaft für Innere Medizin „Präoperative Evaluation erwachsener Patienten vor elektiven, nicht herz-thoraxchirurgischen Eingriffen“ zu nennen. Ebenso finden sich Anlehnungen an die internationalen Leitlinien der European Society of Cardiology und European Society of Anaesthesiology and Intensive Care “2022 ESC Guidelines on cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery: Developed by the task force for cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care (ESAIC)”, sowie die Consensus Statements der ESICM “Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine”. Nicht alle Empfehlungen sind hierbei deckungsgleich. Dies ist damit zu begründen, dass sich die jeweiligen Anforderungen an hämodynamisches Monitoring und Management bei unterschiedlichen klinischen Umständen unterscheiden.

6. Allgemeine Grundsätze dieser Leitlinie

Integrative Beurteilung hämodynamischer Variablen: Die einzelnen Variablen des hämodynamischen Monitorings stellen oft nur eine Beurteilung von Teilaspekten der eigentlichen Herz-Kreislauffunktion dar, nämlich der Aufrechterhaltung einer adäquaten Sauerstoffversorgung der Endorgane. Grundsätzlich unterstreicht die Leitliniengruppe daher, dass im Zuge der intraoperativen hämodynamischen Evaluation von Patient:innen die einzelnen Komponenten des hämodynamischen Monitorings immer nur Bausteine in der Gesamtevaluation der klinischen Situation darstellen können. Innerhalb des hämodynamischen Monitorings ist, je nach Komplexität der perioperativen kardiovaskulären Situation, eine Skalierung des Einsatzes der zur Verfügung stehenden Überwachungsverfahren erforderlich. Dies reicht vom nicht-invasiven Basismonitoring bei allen bis zum Einsatz des Pulmonalarterienkatheters bei hochselektierten Patient:innen, bei denen gezielt die pulmonal-vaskuläre Strombahn therapeutisch beeinflusst werden soll. Weiter müssen die Ergebnisse des apparativen Monitorings stets im Kontext mit Befunden der körperlichen Untersuchung und Ergebnissen anderer diagnostischer Verfahren sowie des chirurgischen Kontextes interpretiert werden. Interdisziplinäre Kommunikation ist in diesem Zusammenhang von herausragender Bedeutung.

Plausibilität und Bedeutung des Rohsignals einer Messung: Wenn möglich, ist neben einer numerischen Darstellung hämodynamischer Messergebnisse die Anzeige des Rohsignals der Messung zu fordern, um zum einen Artefakte (z.B. gedämpfte Druckkurven) zu erkennen, zum anderen aber auch weiterführende diagnostische Informationen aus dem Rohsignal ableiten zu können.

Kontinuität von Messungen: Kontinuierliche Messungen von hämodynamischen Variablen sind prinzipiell anzustreben und intermittierenden Messungen vorzuziehen.

Vermeidung von Invasivität: Eine Reduktion bzw. Vermeidung von invasiven Methoden des hämodynamischen Monitorings ist im Sinne einer Verbesserung des Risiko-Nutzen Verhältnisses anzustreben. Jede Verringerung der Invasivität muss allerdings immer kritisch gegen einen potenziellen Verlust von Messgenauigkeit gegenüber invasiven Methoden abgewogen werden.

Kontinuität von hämodynamischen Therapiestrategien: Überwachungs- und Therapiestrategien sollten interdisziplinär und bereichsübergreifend etabliert werden, um so durch Kontinuität eine optimale Behandlungseffektivität zu erreichen. Ein Beispiel hierfür ist die Verankerung von hämodynamischen Therapiekonzepten im ERAS (Enhanced Recovery after Surgery)-Konzept.⁷

7. Fragen und Empfehlungen

1) Wie soll das Blutdruckmonitoring mittels Oszillometrie durchgeführt werden?

Empfehlung 1: Die oszillometrische Blutdruckmessung soll – wenn möglich – am Oberarm erfolgen.

Empfehlung 2: Zur oszillometrischen Blutdruckmessung soll eine für den Umfang des Oberarms passende Manschettengröße gewählt und die Manschette ohne Kontakt zum Olecranon eng um den Oberarm angelegt werden.

Empfehlung 3: Bei der oszillometrischen Blutdruckmessung soll die Oberarmmanschette auf Herzhöhe positioniert sein und keine externe Kompression oder Manipulation der Manschette während der Messung erfolgen.

Empfehlung 4: Für Patient:innen in Allgemeinanästhesie sollte die oszillometrische Blutdruckmessung alle 3 Minuten erfolgen. Das Messintervall für die oszillometrische Blutdruckmessung soll den klinischen Gegebenheiten angepasst werden.

Die automatisierte Oszillometrie ist die perioperativ am häufigsten verwendete Methode zur nicht-invasiven Messung des arteriellen Blutdrucks (im Folgenden werden die Begriffe „arterieller Blutdruck“ und „Blutdruck“ synonym verwendet; wenn nicht der arterielle, sondern ein anderer Blutdruck (z.B. der zentralvenöse Blutdruck) gemeint ist, wird dieser eindeutig benannt). Allerdings ist die Oszillometrie keine direkte „Messung“ des Blutdrucks im eigentlichen Sinne. Bei der oszillometrischen Blutdruckmessung wird die Arterie (z.B. Arteria brachialis) durch den Druck einer luftgefüllten Manschette okkludiert und durch graduelles Ablassen des Manschettendrucks wieder eröffnet. Während dieses Messvorgangs erzeugt die Pulswelle in der okkludierten bzw. teilokkludierten Arterie Oszillationen, die durch das

Gewebe an die luftgefüllte Manschette weitergegeben werden. Die hierdurch in der Manschette hervorgerufenen Oszillationen der Luft werden schließlich durch einen elektronischen Drucksensor im Messgerät aufgezeichnet (sog. Oszillogramm). Die Oszillationen beginnen oberhalb des systolischen arteriellen Blutdrucks, erreichen um den mittleren arteriellen Blutdruck ihr Maximum und fallen zum diastolischen arteriellen Blutdruck hin wieder ab. Die maximale Oszillationsamplitude beträgt dabei nur ca. 1-4 mmHg.⁸ Basierend auf dem Oszillogramm wird mittels gerätespezifischer, populationsbasierter Algorithmen der Blutdruck abgeschätzt.⁹ Viele Algorithmen setzen den mittleren arteriellen Blutdruck an den Punkt der maximalen Amplitude – der vergleichsweise einfach identifiziert werden kann – und messen diese Komponente des Blutdrucks deshalb am genauesten.⁹ Andere Algorithmen bestimmen primär den systolischen und diastolischen arteriellen Blutdruck und leiten daraus den mittleren arteriellen Blutdruck ab. Die Algorithmen werden von den Geräteherstellern meist nicht offengelegt.

Die Wahl der adäquaten Manschettengröße in Relation zum Oberarmumfang ist für eine korrekte Messung essenziell. Bei der Verwendung einer zu kleinen Manschette wird der Blutdruck überschätzt, bei der Verwendung einer zu großen Manschette wird der Blutdruck unterschätzt.¹⁰ Die Manschette soll ohne Kontakt zum Olecranon passend um den Arm gelegt werden, um eine zirkuläre Kompression zu ermöglichen. Die Oberarmmanschette soll bei der Messung auf Herzhöhe positioniert sein. Externe Kompression, Erschütterung oder Muskelaktivität während der Messung führen zu Artefakten.

Befindet sich die Manschette während der Messung über Herzhöhe, werden aufgrund hydrostatischer Höhenunterschiede falsch niedrige Blutdruckwerte gemessen.¹¹ Befindet sich die Manschette während der Messung unter Herzhöhe, werden aufgrund hydrostatischer Höhenunterschiede falsch hohe Blutdruckwerte gemessen.¹¹

Generell gilt für die Oszillometrie, dass niedrige Blutdruckwerte systematisch überschätzt werden und hohe Blutdruckwerte systematisch unterschätzt werden.¹²⁻¹⁴ Dies führt unter Umständen zu einem verspäteten Erkennen von Hypo- bzw. Hypertension.

Für Patient:innen in Allgemeinanästhesie sollte die Messung alle 3 Minuten erfolgen. Wird eine engmaschigere Überwachung für notwendig erachtet, ist ein kontinuierliches Verfahren angezeigt. Das Messintervall für die oszillometrische Blutdruckmessung soll den klinischen Gegebenheiten angepasst werden.

2) Bei welchen Patient:innen soll die Blutdruckmessung kontinuierlich erfolgen?

Empfehlung: Eine kontinuierliche Blutdruckmessung soll bei allen Patient:innen durchgeführt werden, die aufgrund von anästhesiologischen oder operativen Maßnahmen oder aufgrund von Begleiterkrankungen ein Risiko für Hypo- bzw. Hypertensions-assoziierte Komplikationen haben.

Die kontinuierliche Messung des Blutdrucks kann invasiv mit einem arteriellen Katheter (Referenzmethode, Goldstandard) oder nicht-invasiv (z.B. mittels Fingercuff-Methode) erfolgen.

Eine kontinuierliche Blutdruckmessung ermöglicht die Detektion und damit auch eine unmittelbare Therapie von schnell auftretender Hypotension oder Hypertension. Die kontinuierliche Blutdruckmessung kann somit helfen, das Auftreten von Blutdruckschwankungen und intraoperativer Hypotension zu reduzieren.¹⁵⁻¹⁹

Die Entscheidung für eine kontinuierliche Blutdruckmessung sollte in Abhängigkeit des operativen und Patient:innen-individuellen Risikos für Blutdruckschwankungen getroffen werden.²⁰ Operationen, bei denen eine engmaschige Blutdruckmessung erfolgen soll, sind u.a. intrakranielle und gefäßchirurgische Operationen, Operationen in sitzender Lagerung sowie Operationen mit zu erwartender Hypotension (z.B. durch Blutungen). Patient:innen-individuelle Faktoren für eine kontinuierliche Blutdruckmessung sind u.a. kardiovaskulär vorerkrankte Patient:innen bzw. Patient:innen mit einem hohen Risiko für kardiovaskuläre Komplikationen, ein erhöhter intrakranieller Druck (mit der Gefahr für einen zu niedrigen zerebralen Perfusionsdruck), sowie Ruptur-gefährdete Aneurysmen.

Unabhängig von den zuvor genannten Indikationen für eine kontinuierliche Blutdruckmessung, kann diese auch bei Patient:innen indiziert sein, bei denen eine

intermittierende Blutdruckmessung mittels Blutdruckmanschette ungenau oder schwierig durchführbar ist (z.B. schwere Adipositas).^{21,22}

Es gibt somit prinzipiell viele Indikationen, den arteriellen Blutdruck kontinuierlich zu messen. Um die Grundlage für eine breite Anwendung der kontinuierlichen Blutdruckmessung zu legen, geht die Aufforderung an alle Medizintechnik entwickelnden Unternehmen, messgenaue und wirtschaftlich sinnvolle Messmethoden zur nicht-invasiven kontinuierlichen Blutdruckmessung zu entwickeln.

3) Wie soll die kontinuierliche Blutdruckmessung erfolgen?

Empfehlung 1: Die kontinuierliche Blutdruckmessung sollte mit einem arteriellen Katheter erfolgen.

Empfehlung 2: Bei geeigneten Patient:innen kann ein nicht-invasives kontinuierliches Verfahren verwendet werden.

Die direkte intraarterielle Blutdruckmessung mit einem arteriellen Katheter ist die klinische Referenzmethode (Goldstandard) zur Messung des arteriellen Blutdrucks.²³ Bei korrekter Anwendung ist die intraarterielle Blutdruckmessung (per definitionem) das genauere Messverfahren als nicht-invasive Blutdruckmessmethoden. Bei Messdiskrepanzen zwischen korrekt angewendeter intraarterieller Blutdruckmessung und nicht-invasiver Blutdruckmessung soll die intraarterielle Blutdruckmessung für Therapieentscheidungen verwendet werden.

Der Einsatz der intraarteriellen Blutdruckmessung lässt sich durch den kontinuierlichen Messcharakter, die Messgenauigkeit und die Möglichkeit der Entnahme von arteriellem Blut rechtfertigen. Schwere Komplikationen, die mit der Anlage eines arteriellen Katheters einhergehen können, sind sehr selten.²⁴⁻²⁶ Der kontinuierliche Messcharakter erlaubt es, Blutdruckveränderungen in Echtzeit zu verfolgen und therapeutische Maßnahmen umgehend einzuleiten. Nicht-invasive Blutdruckmessmethoden weisen insbesondere bei Patient:innen mit hohem Volumenumsatz oder Vasopressorbedarf und bei sehr hohen oder sehr niedrigen Blutdruckwerten Messungenauigkeiten auf,^{12,27,28} sodass hier eine intraarterielle Blutdruckmessung präferiert werden sollte. Bei Patient:innen mit niedrigem oder mittlerem perioperativen Risiko kann ein nicht-invasives kontinuierliches Verfahren zur Blutdruckmessung verwendet werden.

4) Soll die Anlage des arteriellen Katheters zur intraarteriellen Blutdruckmessung vor Einleitung der Allgemeinanästhesie erfolgen?

Empfehlung: Die Anlage eines arteriellen Katheters soll bei bestehender Indikation für eine intraarterielle Blutdruckmessung vor der Narkoseeinleitung erfolgen.

Hypotension während der Narkoseeinleitung ist häufig und mit postoperativen Komplikationen assoziiert.^{29,30} Im Gegensatz zu Hypotension während der Operation ist Hypotension während der Narkoseeinleitung hauptsächlich auf das anästhesiologische Management zurückzuführen und damit antizipierbar.³¹ Hypotension während der Narkoseeinleitung soll aufgrund der Assoziation von Hypotension und Komplikationen vermieden werden.^{30,32-35} Bei der oszillometrischen Blutdruckmessung bleibt Hypotension aufgrund des intermittierenden Messcharakters der oszillometrischen Blutdruckmessung bzw. der systematischen Überschätzung von niedrigen Blutdruckwerten durch die Oszillometrie oft unerkannt.^{12,16,17,19} In einer randomisiert kontrollierten Studie mit 242 nicht-herzchirurgischen Patient:innen konnte gezeigt werden, dass eine kontinuierliche intraarterielle Blutdruckmessung – im Vergleich zur oszillometrischen Blutdruckmessung – die Dauer und Schwere von Hypotension während der Narkoseeinleitung deutlich reduziert.¹⁶ Bei bestehender Indikation für eine intraarterielle Blutdruckmessung soll daher die Anlage des arteriellen Katheters bereits vor der Narkoseeinleitung erfolgen und in der Einleitungsphase nicht durch ein intermittierendes, nicht-invasives Messverfahren ersetzt werden.¹⁶

5) Welches Gefäß soll für die Anlage des arteriellen Katheters genutzt werden?

Empfehlung: Ein arterieller Katheter sollte primär in die Arteria radialis gelegt werden.

Die in der Anästhesiologie und Intensivmedizin verwendeten arteriellen Katheter sind insgesamt mit einem geringen Risiko für Komplikationen durch die Katheteranlage verbunden.²⁴⁻²⁶ Bei der Anlage des arteriellen Katheters in die Arteria radialis treten im Vergleich zur Anlage in die Arteria brachialis und Arteria femoralis weniger Komplikationen auf.²⁵ So traten in einer retrospektiven Analyse von über 60.000 arteriellen Katheteranlagen im operativen Setting 2,7 vaskuläre oder neurologische Komplikationen pro 10.000 Katheteranlagen in die Arteria radialis auf – und 9,0 bzw. 12,3 pro 10.000 Katheteranlagen in die Arteria femoralis bzw. Arteria brachialis.²⁵ Zusätzlich ist die Arteria radialis aufgrund der arteriellen Kollateralversorgung der Hand, der guten Zugänglichkeit im klinischen Alltag und der einfachen Möglichkeit der Kompression bei Blutungskomplikationen für die Anlage eines arteriellen Katheters zu bevorzugen. Arterielle Katheter mit einem geringeren Durchmesser (20 G) sind mit weniger Komplikationen assoziiert als Katheter mit einem größeren Durchmesser (18 G).²⁵ Die Anlage von arteriellen Kathetern sollte in ultraschallgesteuerter Punktionstechnik durchgeführt werden.³⁶⁻³⁸

6) Welche Fehlerquellen müssen bei der intraarteriellen Blutdruckmessung berücksichtigt werden?

Empfehlung 1: Das Messsystem der intraarteriellen Blutdruckmessung soll immer auf ein korrektes Positionieren des Druckabnehmers bzw. auf einen korrekten Nullabgleich überprüft werden.

Empfehlung 2: Das intraarterielle Blutdrucksignal soll immer auf Dämpfungsphänomene überprüft werden.

Um eine korrekte intraarterielle Blutdruckmessung zu gewährleisten, muss das Messsystem korrekt benutzt werden. Häufige Fehlerquellen müssen bekannt sein und sollen beseitigt werden.³⁹

Das Messsystem muss korrekt abgeglichen werden, um für hydrostatistische Druckdifferenzen zwischen dem Druckabnehmer und dem Referenzniveau (i.d.R. dem rechten Vorhof⁴⁰) zu korrigieren.³⁹ Pro 10 cm Höhenunterschied zwischen Druckabnehmer und Referenzniveau resultiert ein Blutdruckunterschied von ca. 7,5 mmHg. Beim „Leveln“ wird der Druckabnehmer auf der Höhe des Referenzniveaus positioniert. Bei Lageänderungen von Patient:innen relativ zum Druckabnehmer muss dieser gleichsinnig mitbewegt werden. Beim „Nullen“ wird ein flüssigkeitsgefüllter Schlauch (oft auch „Nullleitung“ genannt) mit dem freien Ende am Körper auf Höhe des Referenzniveaus angebracht und anschließend ein Nullabgleich durchgeführt. Die Verwendung einer Nullleitung kann insbesondere bei Patient:innen, bei denen während der Operation der Druckabnehmer aufgrund von eingeschränkter Sicht auf die Patient:innen nicht exakt positioniert werden kann, vorteilhaft sein.⁴¹ Bei Lageänderungen von Patient:innen relativ zum Druckabnehmer muss ein erneuter Nullabgleich durchgeführt werden.

Das Messsystem soll engmaschig auf Dämpfungsphänomene – z.B. mittels Fast-Flush-Test – untersucht werden.^{39,42} Ein unterdämpftes Messsystem kann zu einer Überschätzung des systolischen arteriellen Blutdrucks und zu einer Unterschätzung des diastolischen arteriellen Blutdrucks führen.³⁹ Häufige Gründe für ein unterdämpftes Messsystem sind zusätzlich eingebaute Schlauchverlängerungen oder Dreiwegehähne. Ein überdämpftes Messsystem hingegen kann zu einer Unterschätzung des systolischen arteriellen Blutdrucks und zu einer Überschätzung des diastolischen arteriellen Blutdrucks führen.³⁹ Häufige Gründe für ein überdämpftes Messsystem sind ein zu niedriger Druck im angeschlossenen Druckbeutel, Luft im Messsystem, Thromben im Katheter, abgeknickte Schläuche bzw. Katheter oder ein an der Gefäßwand anliegender Katheter. Dämpfungsphänomene haben zudem einen negativen Einfluss auf die Messgenauigkeit von Pulskonturanalyse-Monitoren.^{39,43}

Das komplette Messsystem inkl. dem an das Messsystem angeschlossenen Druckbeutel samt Tropfkammer muss luftfrei sein, um eine Überdämpfung des Messsystems zu vermeiden. Zudem stellt Luft innerhalb des Messsystems eine potenzielle Gefahr für Luftembolien dar. Luft in der Nullleitung führt zu einem systematischen Messfehler.³⁹ In dem an das Messsystem angeschlossenen Druckbeutel soll stets ein Druck von ca. 300 mmHg vorliegen, um einen minimalen Fluss innerhalb des Messsystems zu gewährleisten – dies beugt einer Thrombosierung des Katheters vor.³⁹

7) Wie muss die Lagerung von Patient:innen bei der Blutdruckmessung berücksichtigt werden?

Empfehlung 1: Insbesondere während Lagerungswechsel sollte der Blutdruck engmaschig oder besser kontinuierlich gemessen werden.

Empfehlung 2: Bei allen Lagerungen, bei denen das übliche Referenzniveau „rechter Vorhof“ tiefer liegt als die Schädelbasis, soll der nicht-invasiv gemessene mittlere arterielle Blutdruck um die hydrostatische Druckdifferenz korrigiert bzw. das Referenzniveau der kontinuierlichen arteriellen Blutdruckmessung auf Schädelbasis-Höhe festgelegt werden.

Verschiedene intraoperative Lagerungen (z.B. sitzende Lagerung, Bauchlagerung, Seitenlagerung und entsprechende Modifikationen) gehen mit einem erhöhten Risiko für intraoperative Hypotension einher.⁴⁴⁻⁴⁶ Bei der Lagerung mit erhöhtem Oberkörper liegt eine wesentliche Ursache für diese Hypotension in der Umverteilung des Blutvolumens von zentralen in periphere Kompartimente mit einem konsekutiven Abfall der kardialen Vorlast. Bei Flanken- und Bauchlagerung, speziell bei der sog. Concorde-Lagerung (Bauchlagerung mit erhöhtem Oberkörper), kann es zu Behinderungen des venösen Rückstroms durch Kompression der Vena cava inferior kommen. Auch die Aufhebung der Lagerung kann zu einem Blutdruckabfall führen. Daher sollte während eines Lagerungswechsels eine engmaschige oder besser eine kontinuierliche Blutdruckmessung genutzt werden.⁴⁷

Außerdem kommt es bei allen Lagerungsformen, bei denen der Kopf höher liegt als das übliche Referenzniveau „rechter Vorhof“, zu einer hydrostatisch bedingten Druckdifferenz zwischen dem zentralen und dem zerebralen mittleren arteriellen Blutdruck. Daher soll bei diesen Operationen der Zielwert beim nicht-invasiv

gemessenen mittleren arteriellen Blutdruck um die hydrostatische Druckdifferenz korrigiert bzw. das Referenzniveau der kontinuierlichen arteriellen Blutdruckmessung auf Schädelbasis-Höhe festgelegt werden, um den Blutdruck im Circulus arteriosus cerebri zu erfassen.^{48,49} Die entsprechende Maßnahme sollte im Narkoseprotokoll dokumentiert werden. Im Gegensatz dazu sollte bei Kopftieflagerung der Zielwert nicht korrigiert werden bzw. die Vorhofebene als Referenzniveau verbleiben, da der mittlere arterielle Blutdruck auf Höhe des Gehirns durch die Lagerung höher ist.⁵⁰

Bei der Seitenlagerung sollte die oszillometrische Blutdruckmessung am oben liegenden Arm erfolgen. Auch hierbei ist eine ggf. vorhandene hydrostatische Druckdifferenz zu berücksichtigen.

8) Anhand welcher Komponente des arteriellen Blutdrucks soll die Blutdrucktherapie gesteuert werden?

Empfehlung: Die intraoperative Blutdrucktherapie soll anhand des mittleren arteriellen Blutdrucks gesteuert werden.

Der systolische arterielle Blutdruck wird als der maximale Aortendruck definiert, der erreicht wird, nachdem der linke Ventrikel in der Systole Blut in die Aorta ausgestoßen hat. Der systolische arterielle Blutdruck wird hauptsächlich durch das linksventrikuläre Schlagvolumen und die Dehnbarkeit der arteriellen Gefäße bestimmt.⁵¹ Während der Entspannung und Wiederauffüllung des linken Ventrikels sinkt der Aortendruck nach Schluss der Aortenklappe auf einen Tiefpunkt, der als diastolischer arterieller Blutdruck bezeichnet wird.^{52,53} Der diastolische arterielle Druck hängt von der arteriellen Compliance (Steifigkeit), der Herzfrequenz sowie dem Widerstand im Gefäßsystem ab. Der mittlere arterielle Blutdruck entspricht der Fläche unter der arteriellen Blutdruckkurve während eines Herzzyklus.

Eine retrospektive Datenbankstudie zeigte, dass die Stärke der Assoziationen zwischen Organschädigung (akutes Nierenversagen, Myokardschaden) und Hypotension ähnlich stark sind, wenn man Hypotension anhand des mittleren arteriellen Blutdrucks oder des systolischen arteriellen Blutdrucks definiert.⁵⁴ Die Assoziation zwischen Organschädigung und Hypotension, definiert anhand des diastolischen arteriellen Blutdrucks, war dagegen sehr schwach.⁵⁴

Die intraoperative Blutdrucktherapie soll anhand des mittleren arteriellen Blutdrucks gesteuert werden, da der mittlere arterielle Blutdruck den Einfluss-Blutdruck („inflow pressure“) für die meisten Organsysteme darstellt. Außerdem ist die Messung des mittleren arteriellen Blutdrucks weniger vom Messort abhängig als die Messung des

systolischen und diastolischen arteriellen Blutdrucks, weil sich der mittlere arterielle Blutdruck entlang des Arterienbaumes nur in geringem Maße ändert – während der systolische arterielle Blutdruck in Richtung Peripherie progressiv ansteigt und der diastolische arterielle Blutdruck abfällt.⁵⁵

9) Welcher Blutdruck-Zielwert soll angestrebt werden?

Empfehlung: Intraoperativ soll der mittlere arterielle Blutdruck über 65 mmHg gehalten werden.

In einer Reihe retrospektiver Datenbankstudien konnte gezeigt werden, dass niedrige Blutdruckwerte während einer Operation mit Organschädigung assoziiert sind.^{30,32-35,54,56-61} Die Assoziation von Hypotension mit Organschädigung ist dabei abhängig von der Schwere und Dauer der Hypotension.^{30,32-35,54,56-61} Auf Populationsebene steigt das Risiko für eine akute Nieren- und Myokardschädigung bei Werten des mittleren arteriellen Blutdrucks unter 60-70 mmHg und Werten des systolischen arteriellen Blutdrucks unter 90-100 mmHg deutlich an.⁵⁴ Optimale intraoperative Blutdruck-Zielwerte für einzelne Patient:innen sind allerdings unklar. Es liegen nur wenige randomisiert-kontrollierte Studien zu einem zielgerichteten intraoperativen Blutdruckmanagement vor.⁶²⁻⁶⁴

In einer monozentrischen Studie führte ein intraoperativer Zielwert für den mittleren arteriellen Blutdruck von ≥ 75 mmHg – im Vergleich zu ≥ 60 mmHg – bei 458 Hochrisiko-Patient:innen nicht zu einer Reduktion der Inzidenz eines kombinierten primären Endpunktes aus akutem Myokardschaden, akutem Nierenversagen, kardiovaskulären Komplikationen, oder Tod.⁶² Ebenso zeigte die POISE-3 Studie⁶⁴ bei mehr als 7000 Patient:innen keinen relevanten Unterschied in der Inzidenz schwerer kardiovaskulärer Komplikationen zwischen Patient:innen, die zu einem Hypotension-vermeidenden Blutdruckmanagement mit intraoperativem Zielwert für den mittleren arteriellen Blutdruck von ≥ 80 mmHg oder einem Hypertension-vermeidenden Blutdruckmanagement mit intraoperativem Zielwert für den mittleren arteriellen Blutdruck von ≥ 60 mmHg randomisiert wurden.⁶⁴

Da präoperative Blutdruckprofile eine hohe inter-individuelle Variabilität aufweisen,²⁹ wird vermutet, dass ein individualisiertes Blutdruckmanagement Hypotensions-assoziierte Komplikationen reduzieren könnte. In einer kleinen multizentrischen Studie mit 198 nicht-herzchirurgischen Patient:innen reduzierte ein individualisiertes Blutdruckmanagement (basierend auf einem einzelnen präoperativen systolischen arteriellen Blutdruckwert) – im Vergleich zu einem Routine-Blutdruckmanagement – die Inzidenz eines kombinierten primären Endpunktes (systemisches inflammatorisches Response Syndrom und Organdysfunktion mindestens eines Organsystems innerhalb einer Woche nach der Operation).⁶³

Aufgrund der Assoziation von intraoperativer Hypotension und Organschädigung auf Populationsebene soll der mittlere arterielle Blutdruck während einer Operation über 65 mmHg bzw. der systolische arterielle Blutdruck über 90-100 mmHg gehalten werden.^{23,65} Derzeit laufende große Studien werden weitere Evidenz zu absoluten (ClinicalTrials.gov: NCT04884802) oder individuellen Blutdruck-Zielwerten (ClinicalTrials.gov: NCT05416944)⁶⁶ schaffen.

Intraoperative Hypertension bei nicht-kardiochirurgischen Patient:innen ist unzureichend untersucht. Bisher gibt es keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen intraoperativer Hypertension und postoperativem Organschaden.⁶⁷ Es gibt somit keine ausreichende Evidenz, um einen generellen oberen Grenzwert für den Blutdruck zu empfehlen, ab dem eine Therapie eingeleitet werden sollte.

10) Welcher Herzfrequenz-Zielwert soll angestrebt werden?

Empfehlung 1: Eine Bradykardie soll therapiert werden, wenn diese mit einer klinisch relevanten Hypotension, Minderperfusion bzw. Einschränkung des Sauerstoffangebots einhergeht.

Empfehlung 2: Bei dem Vorliegen einer Tachykardie soll ein Volumenmangel ausgeschlossen werden.

Die Herzfrequenz bestimmt zusammen mit dem Schlagvolumen das Herzzeitvolumen und ist damit eine wichtige Determinante des Sauerstoffangebots.⁶⁸ Generell ist eine Bradykardie als eine Herzfrequenz <60 Schläge/Minute definiert⁶⁹, eine Tachykardie als eine Herzfrequenz >100 Schläge/Minute⁷⁰. Diese populationsbasierten Grenzwerte werden in der Regel auch perioperativ angewendet – für individuelle Patient:innen sind sie allerdings nur von eingeschränktem Nutzen und aktuell nicht evidenzbasiert. Absolute Grenzwerte für individuelle Patient:innen können daher derzeit nicht angegeben werden.

Perioperative Bradykardien sind häufig⁷¹ und oft durch die Allgemeinanästhesie,⁷²⁻⁷⁴ vasoaktive Substanzen⁷⁵ oder die Operation⁷⁶ selbst bedingt. Eine Bradykardie kann zu einer Hypotension⁷⁷ und einer kritischen Verminderung des Sauerstoffangebots führen, wenn die frequenzbedingte Reduktion des Herzzeitvolumens nicht durch eine Erhöhung des Schlagvolumens kompensiert werden kann.⁷⁸ Eine Erhöhung der Herzfrequenz führt bei niedrigem Herzzeitvolumen in der Regel zu einer Erhöhung des Sauerstoffangebots.

Perioperative Tachykardien können z.B. durch einen Volumenmangel, eine unzureichende Narkosetiefe bzw. Analgesie oder eine systemische Inflamationsreaktion ausgelöst werden. Durch eine kritische Verkürzung der Diastole

kann es zu einem unzureichenden myokardialen Sauerstoffangebot bei gleichzeitig erhöhtem Verbrauch kommen. Dies ist vor allem bei Patient:innen mit einer diastolischen Funktionsstörung oder Herzinsuffizienz zu berücksichtigen.⁷⁸⁻⁸⁰ Eine intraoperative Tachykardie kann daher mit einem erhöhten Risiko für myokardiale Ischämien einhergehen.

11) Bei welchen Patient:innen sollen Schlagvolumen/Herzzeitvolumen überwacht werden?

Empfehlung: Schlagvolumen/Herzzeitvolumen-Monitoring kann bei Patient:innen mit einem hohen Risiko für Komplikationen oder bei Patient:innen, die sich einer Operation mit hohem Risiko unterziehen müssen, angewendet werden.

Prinzipiell empfehlen wir, das Schlagvolumen und das Herzzeitvolumen auf die individuelle Körperoberfläche zu indizieren (Schlagvolumenindex, Herzindex), um somit die Vergleichbarkeit der Messwerte interindividuell zu ermöglichen. Die Entscheidung, ob das Schlagvolumen/Herzzeitvolumen gemessen werden sollte, sollte sich nach dem Risiko für intra- und postoperative Komplikationen richten.⁸¹ Das Risiko für Komplikationen ergibt sich aus Patient:innen-spezifischen und Operations-spezifischen Risikofaktoren. Patient:innen-spezifische Risikofaktoren sind z.B. die einer Operation zugrunde liegende Diagnose, das Alter und kardiovaskuläre oder pulmonale Vorerkrankungen.⁸¹⁻⁸³ Operations-spezifische Risikofaktoren sind z.B. die Invasivität des Eingriffs, das Risiko für einen hohen Blutverlust, oder eine Notfallindikation.^{82,84} Die Einschätzung des individuellen Risikos ist häufig komplex, da viele Faktoren berücksichtigt werden müssen. Es gibt eine Reihe von Scores, die zur Abschätzung des perioperativen Risikos verwendet werden sollten.⁸⁵⁻⁸⁷

Je höher das Patient:innen-spezifische und Operations-spezifische Risiko, desto eher sollten Schlagvolumen/Herzzeitvolumen überwacht werden. Insbesondere bei Patient:innen mit einem hohen Risiko für perioperative Komplikationen kann eine Schlagvolumen/Herzzeitvolumen-basierte Therapie das Risiko für Komplikationen reduzieren.^{88,89} Das alleinige Messen des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens kann das postoperative Outcome nicht verbessern.⁹⁰

12) Welcher Zielwert für Schlagvolumen/Herzzeitvolumen soll angestrebt werden

Empfehlung 1: Zielwerte für Schlagvolumen/Herzzeitvolumen sollen für Patient:innen individuell definiert werden.

Empfehlung 2: Das Schlagvolumen/Herzzeitvolumen soll im Kontext mit klinischen und metabolischen Zeichen einer Hypoperfusion interpretiert werden.

Empfehlung 3: Es soll keine routinemäßige Maximierung von Schlagvolumen/Herzzeitvolumen erfolgen.

Die Regulation des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens erfolgt entsprechend des metabolischen Bedarfs. Die Therapiesteuerung anhand des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens sollte daher unter Berücksichtigung von Variablen des Sauerstoffangebots und -verbrauchs (z.B. Sauerstoffsättigung, Hämoglobinkonzentration, zentralvenöse Sauerstoffsättigung, Laktat) erfolgen. Der Zielwert für das Herzzeitvolumen sollte somit das Herzzeitvolumen sein, das für individuelle Patient:innen in der jeweiligen klinischen Situation ein ausreichendes Sauerstoffangebot ermöglicht. Als Ruhewert wird ein Herzindex von 2,1-3,3 l/min/m² bei gesunden Erwachsenen angegeben. Dabei ist der Ruhewert abhängig von Alter, Geschlecht und Vorerkrankungen.^{91,92}

Die Anwendung von hämodynamischen Therapiekonzepten, in denen Variablen des Blutflusses (Schlagvolumen/Herzzeitvolumen) eine zentrale Rolle einnehmen, resultierten mehrheitlich in einer Reduktion von postoperativen Komplikationen (z.B. Infektionen, Organschädigungen).^{88,93,94} Die meisten Blutfluss-gesteuerten hämodynamischen Therapiekonzepte zielen auf eine Patient:innen-individuelle Maximierung des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens ab.⁹⁴ In zwei kleinen

randomisiert-kontrollierten Studien konnte ein intraoperatives Anstreben des individuellen präoperativen Herzindexwertes bzw. des Herzindexwertes nach Narkoseeinleitung postoperative Komplikationen reduzieren.^{95,96} Optimale Zielwerte für Schlagvolumen/Herzzeitvolumen bleiben allerdings unklar, und hängen vermutlich von dem Ausmaß des operativen Traumas und systemischer Inflammation ab.⁹⁷ Das Anstreben von Patient:innen-individuellen, maximalen (OPTIMISE II Studie;⁹⁸ Ergebnisse präsentiert auf EBPOM World Congress of Prehabilitation Medicine 2023 in London am 06.07.2023) oder „supranormalen“ Werten wird nicht empfohlen.⁹⁹⁻¹⁰¹

13) Welche Tests sollen zur Einschätzung der Volumenreagibilität verwendet werden?

Empfehlung 1: Zur Evaluation der Volumenreagibilität bei kontrolliert beatmeten Patient:innen sollen dynamische Vorlastvariablen (z.B. Pulsdruckvariation oder Schlagvolumenvariation) verwendet werden.

Empfehlung 2: Falls dynamische Vorlastvariablen nicht verwendet werden können, sollten Schlagvolumen/Herzzeitvolumen-basierte Tests mit einer Flüssigkeits-Challenge durchgeführt werden.

Empfehlung 3: Statische Vorlastvariablen (z.B. zentralvenöser Druck), sollen nicht für die Einschätzung der Volumenreagibilität verwendet werden.

Empfehlung 4: Auch bei volumenreagiblen Patient:innen soll die Indikation einer Volumentherapie individuell in der Zusammenschau der gesamten Hämodynamik und klinischer Befunde getroffen werden.

Die Einschätzung von Volumenreagibilität ist ein wichtiger Baustein in der Volumentherapie.^{102,103} Volumenreagibilität bedeutet, dass sich durch einen Flüssigkeitsbolus das Schlagvolumen/Herzzeitvolumen steigern lässt.¹⁰⁴⁻¹⁰⁶ Die Anwendung der Testverfahren zur Beurteilung der Volumenreagibilität erfolgt in Abwägung der klinischen Situation und unter Beachtung der verfahrensimmanenten Limitationen. Grundsätzlich gilt es, sowohl Volumenmangel als auch Volumenüberladung zu vermeiden.¹⁰⁷

Pulsdruckvariation (PPV) und Schlagvolumenvariation (SVV) sind dynamische Vorlastvariablen. PPV und SVV resultieren aus der Herz-Lungen-Interaktion und können bei kontrollierter Beatmung mit ausreichend hohen Tidalvolumina (mindestens

8 ml/kg) und Sinusrhythmus zur Vorhersage der Volumenreagibilität genutzt werden.¹⁰⁸⁻¹¹¹

Die Grenzwerte zur Unterscheidung zwischen volumenreagibel und nicht-reagibel werden in der Literatur für die PPV im Mittel von 11% (Spannweite 8-15%) und für die SVV im Mittel von 11% (Spannweite 7,5-15,5%) angegeben.¹¹² Um diese Grenzwerte existiert eine Grauzone (9-13%), in der die Vorhersagefähigkeit der Volumenreagibilität eingeschränkt ist.¹¹³ PPV und SVV-Werte $\leq 8\%$ sprechen gegen eine Volumenreagibilität und Werte $\geq 14\%$ für eine Volumenreagibilität. Auch bei volumenreagiblen Patient:innen soll die Indikation einer Volumentherapie individuell in der Zusammenschau der gesamten Hämodynamik und klinischer Befunde getroffen werden; Volumenreagibilität ist nicht mit Volumenbedarf gleichzusetzen.

Die Fähigkeit von PPV und SVV Volumenreagibilität vorherzusagen hat Limitationen, die unter dem Akronym „LIMITS“ zusammengefasst werden können (**L**ow heart rate/respiratory rate ratio; **I**rrregular heart rhythm; **M**echanical ventilation with low tidal volume, **I**ncreased abdominal pressure; **T**horax open, **S**pontaneous breathing) und in der klinischen Praxis beachtet werden sollen.^{114,115}

Können die dynamischen Vorlastvariablen nicht verwendet werden, sollte eine Flüssigkeits-Challenge mit Messung der Flüssigkeits-induzierten Veränderung von Schlagvolumen/Herzzeitvolumen durchgeführt werden, um die Volumenreagibilität einzuschätzen.^{105,116,117} Hierfür wird ein definierter Flüssigkeitsbolus in einem kurzen Zeitraum appliziert und eine Veränderung des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens evaluiert. Ein Anstieg des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens um 10-15% wird dabei als Zeichen der Volumenreagibilität gewertet. Allerdings muss beachtet werden, dass – je nach Größe des Flüssigkeitsbolus – dieses Verfahren gleichzeitig Test und therapeutische Maßnahme ist und auch im Falle einer fehlenden Volumenreagibilität ein Flüssigkeitsbolus verabreicht wird.^{118,119} Außerdem kann in Einzelfällen ein durch

Flüssigkeitsgabe-optimiertes Schlagvolumen zu einem (physiologischen) Abfall der Herzfrequenz führen, so dass es keinen Netto-Effekt für das Herzzeitvolumen gibt. Eine gemeinsame Evaluation des Schlagvolumens und des Herzzeitvolumens ist daher im Rahmen der Beurteilung einer Volumenreagibilität sinnvoll.

Statische druckbasierte und volumetrische Vorlastvariablen, wie zentralvenöser Druck und globales enddiastolisches Volumen, sollen nicht zur Evaluation der Volumenreagibilität verwendet werden, haben aber weiterhin eine Bedeutung in der Beurteilung von Hämodynamik und klinischem Verlauf.¹⁰⁹

14) Wann soll eine intraoperative Echokardiographie durchgeführt werden?

Empfehlung 1: Die Echokardiographie soll bei therapierefraktärer hämodynamischer Instabilität, insbesondere bei unklarer Ätiologie, durchgeführt werden.

Empfehlung 2: Die Echokardiographie kann zur Steuerung einer hämodynamischen Therapie verwendet werden.

Empfehlung 3: Die Echokardiographie soll gespeichert und die Befunde in der Patient:innen-Akte dokumentiert werden.

Mit der Echokardiographie lassen sich direkte pathophysiologische Rückschlüsse auf die hämodynamische Situation und deren Veränderungen ableiten.¹²⁰ Man unterscheidet dabei zwischen der transthorakalen (TTE) und der transösophagealen Echokardiographie (TEE). Im Gegensatz zur semi-invasiven TEE ist die TTE nicht-invasiv und sollte daher bevorzugt eingesetzt werden.^{121,122} Während Operationen kann jedoch eine TTE unmöglich oder die Bildqualität, v.a. bei beatmeten Patient:innen, eingeschränkt sein, so dass eine TEE indiziert ist.¹²³

Mithilfe der Echokardiographie können Determinanten der kardialen Funktion direkt visualisiert werden: Volumenstatus, Kontraktilität bzw. Funktion des rechten und linken Ventrikels, sowie Klappenmorphologie und -funktion. Außerdem können mögliche strukturelle Abnormalitäten/Pathologien, sowie Perikard-/Pleuraergüsse erkannt werden.

Eine intraoperative fokussierte Echokardiographie soll bei therapierefraktärer hämodynamischer Instabilität, insbesondere bei unklarer Ätiologie, durchgeführt werden. Die Echokardiographie beinhaltet nur wenige Untersuchungsschritte, ist zügig durchführbar und kann helfen, die perioperative Therapie zu optimieren. Die

Echokardiographie kann auch zur Indikationsstellung für ein erweitertes hämodynamisches Monitoring, wie z.B. den Einsatz eines Pulmonalarterienkatheters (z.B. bei rechtsventrikulärer Dysfunktion oder pulmonaler Hypertonie) beitragen. Eine Echokardiographie ist nicht zwingend notwendig, wenn eine hämodynamische Instabilität durch eine Therapie entsprechend der Verdachtsdiagnose erfolgreich behandelt werden konnte.

Eine präoperative fokussierte Echokardiographie sollte bei (Notfall-) Patient:innen mit Verdacht auf oder bekannter klinisch relevanter kardiovaskulärer Vorerkrankung durchgeführt werden, um intraoperative Befunde im Rahmen einer hämodynamischen Instabilität besser interpretieren zu können.¹²⁴⁻¹²⁹

Jede Echokardiographie, insbesondere eine TEE,¹²¹ soll von einem adäquat ausgebildetem Untersucher durchgeführt werden. Zudem soll eine Supervisionsstruktur innerhalb der Klinik bestehen.¹³⁰ Die Ausbildung kann durch das DGAI Curriculum „Perioperative fokussierte Echokardiographie (PFE)“¹³¹ sowie das Zertifikat „Transösophageale Echokardiographie“¹³² oder vergleichbare nationale oder internationale Zertifikate nachgewiesen werden.

15) Soll die Urinausscheidung zur Beurteilung der Hämodynamik verwendet werden?

Empfehlung: Die Urinausscheidung soll nicht isoliert zur Diagnose einer Hypovolämie oder hämodynamischen Therapiesteuerung verwendet werden.

Eine normale Urinausscheidung wird häufig als Zeichen eines adäquaten Volumenstatus und Herzzeitvolumens interpretiert. Die Urinausscheidung geht zudem in wesentliche Klassifikationssysteme für akutes Nierenversagen wie RIFLE¹³³, AKIN¹³⁴ und KDIGO¹³⁵ ein. Ein Rückgang der Urinproduktion kann Folge einer Kreislaufinstabilität mit Verminderung der renalen Perfusion sein. Darüber hinaus kann ein erhöhter intra-abdomineller Druck, wie z.B. im Rahmen laparoskopischer Eingriffe, eine vorübergehende Oligo-Anurie induzieren. Daher sollen neben der Überprüfung der Normovolämie bzw. adäquater Volumensubstitution bei Hypovolämie andere mögliche Ursachen einer Oligurie ergründet und ggf. therapiert werden.

Eine intraoperative Oligurie ist bei nicht-herzchirurgischen Patient:innen mit einem postoperativen akuten Nierenversagen assoziiert.^{136,137} Der prädiktive Stellenwert einer intraoperativen Oligurie für ein postoperatives akutes Nierenversagen scheint jedoch gering.¹³⁸ Zusätzlich zeigte eine Metaanalyse von 28 Studien mit 4835 Patient:innen, dass die Aufrechterhaltung eines definierten Urinvolumens die Ausbildung eines akuten Nierenversagens nicht verhindern kann.^{139,140} Eine größere Metaanalyse von 36 Studien und insgesamt 5373 Patient:innen zeigte darüber hinaus, dass die Aufrechterhaltung eines definierten Urinvolumens mit keinem positiven Effekt auf die perioperative Sterblichkeit assoziiert war.¹⁴¹

16) Soll der Laktat-Wert zur Beurteilung der Hämodynamik verwendet werden?

Empfehlung 1: Bei Verdacht auf eine Hypoperfusion oder eine unzureichende Gewebeoxygenierung soll der Laktat-Wert zur Beurteilung der Hämodynamik bestimmt werden.

Empfehlung 2: Ein erhöhter Laktat-Wert soll unter Berücksichtigung möglicher nicht-hämodynamischer Ursachen beurteilt werden.

Point-of-care Blutgasanalysen ermöglichen eine bettseitige Laktatmessung aus arteriellem oder venösem Blut. Laktat-Werte >2 mmol/l gelten als pathologisch und sind, insbesondere bei Vorliegen einer Laktazidose, d.h. einer Laktatämie in Zusammenhang mit einem Abfall des pH-Wertes, mit einem schlechten Outcome assoziiert.¹⁴² Während der Zusammenhang zwischen einer Laktatämie und einem schlechten Outcome bei Patient:innen im (septischen) Schock¹⁴²⁻¹⁴⁴ und nach kardiochirurgischen Operationen¹⁴⁵ gut beschrieben ist, gibt es bisher wenige große Studien bei Patient:innen mit nicht-kardiochirurgischen Operationen.¹⁴⁶ Dennoch kann eine perioperative Laktatämie einen anaeroben Stoffwechsel als Folge einer Hypoperfusion, eines unzureichenden Sauerstoffangebots oder einer gestörten Sauerstoffverwertung, anzeigen.^{147,148} Eine perioperative Laktatämie bei Patient:innen mit nicht-kardiochirurgischen Operationen sollte somit, unter Berücksichtigung möglicher Differenzialdiagnosen wie z.B. einer Leberinsuffizienz, Medikamenteneinnahme (z.B. Metformin¹⁴⁹, SGLT-2-Inhibitoren, Linezolid), Thiaminmangel, oder Neoplasien,¹⁵⁰ als Zeichen für eine Hypoperfusion und möglicher Risikofaktor für postoperative Komplikationen gewertet werden. Auch eine regionale Hypoperfusion bei akuten Gefäßverschlüssen sowie ein Laktatanstieg bei Epinephringabe¹⁴⁹ sind differentialdiagnostisch zu bedenken.

Neben einzelnen Laktatmessungen ist die Laktat-Clearance, also der Abfall des Laktats über die Zeit, ein wichtiger prognostischer Faktor. Bei hämodynamischer Instabilität oder vorliegender Laktatämie sollten Laktatmessungen daher in regelmäßigen Intervallen wiederholt werden, z.B. mindestens alle zwei Stunden wie im Schock empfohlen.¹⁵¹ Erhöhtes Laktat ist ein unspezifischer Marker, der immer im Zusammenhang mit hämodynamischen Variablen interpretiert werden sollte.

17) Soll die zentralvenöse Sauerstoffsättigung zur Beurteilung der Hämodynamik verwendet werden?

Empfehlung: Bei Verdacht auf eine Hypoperfusion oder eine unzureichende Gewebeoxygenierung kann die zentralvenöse Sauerstoffsättigung zur zusätzlichen Beurteilung der Hämodynamik bestimmt werden.

Die zentralvenöse Sauerstoffsättigung ($S_{cv}O_2$) kann mittels point-of-care Blutgasanalyse bei in der V. cava superior einliegendem zentralvenösen Katheter bestimmt werden. Die $S_{cv}O_2$ spiegelt das globale Verhältnis von Sauerstoffangebot und Sauerstoffverbrauch wider.¹⁵² Damit besteht ein enger Zusammenhang mit dem Herzzeitvolumen. Gleichzeitig reflektiert die $S_{cv}O_2$ aber auch die Sauerstoffausschöpfung und den Metabolismus.¹⁵³ Auch bei einer normwertigen $S_{cv}O_2$ (>70%) lässt sich eine regionale Hypoperfusion oder Gewebhypoxie nicht sicher ausschließen.¹⁵⁴ Die $S_{cv}O_2$ wird auch durch andere Einflussfaktoren beeinflusst, wie z.B. den arteriellen Sauerstoffgehalt, das Temperaturmanagement und die Sedierung.^{152,155} Eine niedrige $S_{cv}O_2$ ist nicht nur bei kritisch-kranken Patient:innen, sondern auch nach nicht-kardiochirurgischen Operationen, mit einem erhöhten Risiko für Komplikationen assoziiert.^{156,157} Eine randomisiert kontrollierte Studie mit 241 Patient:innen zeigte keinen klinisch relevanten Unterschied in der Rate von postoperativen Komplikationen zwischen einer $S_{cv}O_2$ -gesteuerten Flüssigkeitstherapie im Vergleich zur klinischen Routine bei Patient:innen mit kolorektalen Operationen.¹⁵⁸ Aufgrund der zahlreichen perioperativen Einflussfaktoren ist die $S_{cv}O_2$ relativ unspezifisch für die Beurteilung der Hämodynamik und daher eher als ergänzende Variable denn als Steuerungsparameter für die hämodynamische Therapie zu werten.

18) Welchen Stellenwert hat das Monitoring der Mikrozirkulation mittels Videomikroskopie?

Empfehlung: Das Monitoring der Mikrozirkulation mittels Videomikroskopie soll nicht zur Steuerung der hämodynamischen Therapie eingesetzt werden.

Die Mikrozirkulation beschreibt die Durchblutung in der kleinsten funktionellen Einheit unseres hämodynamischen Systems.¹⁵⁹ Die Funktionalität der Mikrozirkulation ist essentiell für einen suffizienten Sauerstoff- und Nährstoffaustausch und somit die Organfunktion.¹⁵⁹ Die Mikrozirkulation kann regional mittels Videomikroskopie visualisiert und quantifiziert werden. Dieses direkte Monitoring der Mikrozirkulation ist jedoch technisch anspruchsvoll und zeitaufwendig in der Analyse.¹⁶⁰ In der Regel wird die Mikrozirkulation, aufgrund der einfachen Zugänglichkeit, sublingual gemessen.¹⁶⁰ Eine Übertragbarkeit der sublingualen Messungen auf andere Regionen des Körpers ist nicht zwangsläufig gegeben.^{161,162} Die prognostische Bedeutung einer gestörten Mikrozirkulation in Ausmaß und Dauer sind im (septischen) Schock¹⁶³⁻¹⁶⁵ und bei kardiochirurgischen Patient:innen¹⁶⁶⁻¹⁶⁸ gut beschrieben.

Bis zu einem gewissen Grad scheinen die Mikrozirkulation und die Makrozirkulation aneinander gekoppelt zu sein.¹⁶⁹ Störungen der Mikrozirkulation können allerdings auch dann auftreten, wenn die Makrozirkulation adäquat und erhalten zu sein scheint.¹⁷⁰

Bei Patient:innen mit elektiven nicht-kardiochirurgischen Operationen sind Störungen der Mikrozirkulation, insbesondere unabhängig von einer gestörten Makrozirkulation, eher selten.¹⁷¹⁻¹⁷⁴ Weitere Studien sind notwendig, um zu untersuchen, ob und inwieweit gezielte Therapiemöglichkeiten im Sinne der Optimierung der Mikrozirkulation mit einem positiven Effekt verbunden sind.¹⁷⁵

19) Soll die Nahinfrarotspektroskopie zur Beurteilung der Hämodynamik herangezogen werden?

Empfehlung: Nahinfrarotspektroskopie kann ergänzend zur Beurteilung der Hämodynamik herangezogen werden.

Die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) ermöglicht das Messen der regionalen Sauerstoffsättigung in Gefäßen als Surrogat für die Gewebeoxygenierung. Im Gegensatz zur Pulsoxymetrie kann NIRS nicht zwischen arterieller und venöser Sauerstoffsättigung unterscheiden.

Absolute Werte der regionalen Sauerstoffsättigung zeigen eine hohe inter-individuelle Variabilität, sodass häufig relative Veränderungen im Vergleich zu Ausgangswerten berücksichtigt werden.¹⁷⁶⁻¹⁷⁸

NIRS wird am häufigsten zur Überwachung der zerebralen Oxygenierung verwendet. Der Effekt eines perioperativen NIRS-Monitorings auf das postoperative zerebrale Outcome bei Erwachsenen ist nicht abschließend geklärt.¹⁷⁹

NIRS kann auch als somatische Oxymetrie angewendet werden, z.B. zur Messung der Gewebeoxymetrie der Muskeln und der Nieren.¹⁸⁰ Aufgrund unterschiedlicher Ansätze der verschiedenen NIRS-Technologien können die einzelnen verfügbaren Monitoringverfahren nicht uneingeschränkt miteinander verglichen werden.¹⁷⁶

Zusammenfassend ist der Effekt eines perioperativen NIRS-Monitorings auf das postoperative zerebrale Outcome unklar. Darüber hinaus sind die Grenzwerte für eine Intervention und die Interventionen selbst nicht ausreichend untersucht. Hierfür werden prospektive Interventionsstudien benötigt.