

## **S3-Leitlinie**

# **Intravasale Volumentherapie bei Erwachsenen**

### **AWMF-Registernummer 001 - 020**

Herausgeber: Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (federführend)  
Roritzerstraße 27  
90419 Nürnberg

Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und Viszeralchirurgie (DGAV)  
Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI)  
Deutsche Gesellschaft für Chirurgie (DGCH)  
Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe (DGGG)  
Deutsche Gesellschaft für Innere Medizin (DGIM)  
Deutsche Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin (DGIIN)  
Deutsche Gesellschaft für Kardiologie (DGK)  
Deutsche Gesellschaft für Neurointensiv- und Notfallmedizin (DGNI)  
Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU)  
Deutsche Gesellschaft für Pflegewissenschaft (DGP)  
Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG)  
Deutsche Gesellschaft für Urologie (DGU)  
Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI)  
Deutsche Sepsis-Gesellschaft (DSG)

Korrespondenzadresse: Univ.-Prof. Dr. med. Gernot Marx, FRCA  
Direktor der Klinik für Operative Intensivmedizin und  
Intermediate Care  
Uniklinikum RWTH Aachen  
Pauwelsstr. 30  
52074 Aachen

## Gesamtkoordination

Univ.-Prof. Dr. med. Gernot Marx, FRCA  
Direktor der Klinik für Operative Intensivmedizin und Intermediate Care  
Uniklinikum RWTH Aachen  
Pauwelsstr. 30  
52074 Aachen

## Autoren und Koordinatoren der Kapitel

Prof. Dr. med. Michael Bauer (DSG)  
Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin  
Universitätsklinikum Jena  
Am Klinikum 1  
07747 Jena

*Kap. 6 (Koordinator des Kapitels), themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Dr. Sylvia Bele (DGNI)  
Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie  
Universitätsklinikum Regensburg  
Franz-Josef-Strauß-Allee 11  
93053 Regensburg

*Kap. 4, themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Ass-Prof. Dr. rer. medic. Irmela Gnass, MScN. (DGP)  
Institut für Pflegewissenschaft und -praxis  
Paracelsus Medizinische Privatuniversität  
Strubergasse 21  
A-5020 Salzburg

*Kap. 2, themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Dr. Carsten Hobohm (DIVI)  
Klinik für Neurologie  
Carl-von-Basedow Klinikum Saalekreis gGmbH  
Weisse Mauer 52  
06217 Merseburg

*Themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Prof. Dr. med. Uwe Janssens (DGK)  
Medizinische Klinik I – Kardiologie  
St.-Antonius-Hospital  
Dechant Decker-Str. 8  
52249 Eschweiler

*Kap. 6, themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Prof. Dr. med. Stefan Kluge (DGIIN und DGIM)  
Klinik für Intensivmedizin  
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf  
Martinistr. 52  
20246 Hamburg

*Kap. 1, Kap. 3, themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Univ.-Prof. Dr. med. Peter Kranke (DGAI)  
Zentrum und Poliklinik für Anästhesiologie  
Universitätsklinikum Würzburg  
Oberdürrbacher Str. 6  
97080 Würzburg

*Kap. 4 (Koordinator des Kapitels), Kap. 6 (Koordinator des Kapitels), themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Univ.-Prof. Dr. med. Gernot Marx (DGAI)  
Klinik für Operative Intensivmedizin und Intermediate Care  
Uniklinik RWTH Aachen  
Pauwelsstr. 30  
52074 Aachen

*Kap. 1 (Koordinator des Kapitels), Kap. 4 (Koordinator des Kapitels), themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

PD Dr. med. Waltraut M. Merz, MSc (DGGG)  
Zentrum für Geburtshilfe und Frauenheilkunde  
Universitätsklinikum Bonn  
Venusberg Campus 1  
Gebäude 31  
53127 Bonn

*Kap. 4, Kap. 5, themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

PD Dr. Heidi Niehaus (DGTHG)  
Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie  
Universitätsmedizin Göttingen  
Robert-Koch-Str. 40  
37075 Göttingen

*Kap. 6, themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Prof. Dr. Michael Sander (DIVI)  
Klinik für Anästhesiologie, Operative Intensivmedizin und Schmerztherapie  
Rudolf-Buchheim-Strasse  
35392 Giessen

*Kap. 6, themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. Norbert Senninger (DGAV)  
Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie  
Universitätsklinikum Münster  
Albert-Schweitzer-Campus 1  
48149 Münster

*Kap. 4, Kap. 5, themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Univ.-Prof. Dr. med. Christian Waydhas (DGOÜ)  
Chirurgische Klinik und Poliklinik  
Berufsgenossenschaftliches Universitätsklinikum Bergmannsheil Bochum  
Bürkle-de-la-Camp-Platz 1  
44789 Bochum

Medizinische Fakultät der  
Universität Duisburg-Essen

*Kap. 2, themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Dr. med. Rene Wildenauer (DGCH)  
Klinik für Allgemeinchirurgie  
Universitätsklinikum Würzburg  
Oberdürrbacher Str. 6  
97080 Würzburg

*Kap. 1, Kap. 3, themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

Univ.-Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Kai Zacharowski (DGAI)  
Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie  
Universitätsklinikum Frankfurt  
Theodor-Stern-Kai 7  
60590 Frankfurt/Main

*Kap. 2 (Koordinator des Kapitels), themenübergreifende Empfehlungen und Statements*

## Inhaltsverzeichnis

Gesamtkoordination	ii
Autoren und Koordinatoren der Kapitel	ii
Inhaltsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	vii
Abbildungsverzeichnis	vii
Abkürzungsverzeichnis	viii
A. Rationale und Ziele	x
A1: Einleitung	x
A2: Ausgangslage	xi
A3: Anforderungen an die Leitlinie	xii
A4: Ziele der Leitlinie	xii
A5: Anwenderzielgruppe	xiii
B: Methodik	xiv
B1: Literaturrecherche und Auswahl der Evidenz	xiv
Systematische Literaturrecherche	xiv
Auswahl der identifizierten Literatur	xiv
B2: Bewertung und Extraktion der Evidenz	xv
B3: Formulierung und Konsentierung der Empfehlungen und Statements	xv
Formulierung der Empfehlungen und Statements	xv
Konsensfindung	xvi
Empfehlungsgrade (GoR)	xvi
B4 Verbreitung und Implementierung	xvii
B5: Qualitätsindikatoren und Evaluierung	xviii
B6: Gültigkeit und Aktualisierung	xviii
B7: Finanzierung und Darlegung möglicher Interessenkonflikte	xviii
Finanzierung der Leitlinie	xviii
Darlegung von und Umgang mit potenziellen Interessenkonflikten	xix
Übergreifende Empfehlungen / Statements:	1

Kapitel 1: Diagnose des Volumenmangels	4
Kapitel 2: Therapie in der Nüchternphase	24
Kapitel 3a: Unterschiede zwischen Kolloiden und Kristalloiden bei peri-interventionellen Patienten	26
Kapitel 3b: Unterschiede zwischen Kolloiden und Kristalloiden bei ICU-Patienten	32
Kapitel 4a: Unterschiede zwischen den Kolloiden bei peri-interventionellen Patienten	35
Kapitel 4b: Unterschiede zwischen verschiedenen Kolloiden bei ICU-Patienten	41
Kapitel 5a: Unterschiede zwischen den Kristalloiden bei peri-interventionellen Patienten	43
Kapitel 5b: Unterschiede zwischen den Kristalloiden bei ICU-Patienten	46
Kapitel 6a: Steuerung der Volumentherapie bei peri-interventionellen Patienten	48
Kapitel 6b: Steuerung der Volumentherapie bei ICU-Patienten	51
Literaturverzeichnis	58

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Entwicklungsstufen von Leitlinien gemäß AWMF (4).....	x
Tabelle 2: Klassifizierung der Konsensstärke (12).....	xvi
Tabelle 3: AWMF-Schema zur Formulierung von Empfehlungen in Abhängigkeit von der Empfehlungsstärke (12) .....	xvii

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: AWMF-Algorithmus zur Formulierung von Leitlinienempfehlungen (12).....	xvii
---	------

## Abkürzungsverzeichnis

95%-KI	95%-Konfidenzintervall
$\chi$	Kalibrationsfaktor unkalibrierten Pulskonturaalyse, „Chi“
$\Delta$	Differenz zwischen zwei Werten, „Delta“
ARDS	Akutes Respiratorisches Distress-Syndrom
AUC	Fläche unter der Kurve
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin:
DGAV	Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und Viszeralchirurgie
DGCH	Deutsche Gesellschaft für Chirurgie
DGGG	Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe
DGIM	Deutsche Gesellschaft für Innere Medizin
DGIIN	Deutsche Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin
DGK	Deutsche Gesellschaft für Kardiologie
DGNI	Deutsche Gesellschaft für Neurointensiv- und Notfallmedizin
DGOU	Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie
DGP	Deutsche Gesellschaft für Pflegewissenschaft
DGTHG	Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie
DGU	Deutsche Gesellschaft für Urologie
dIVC	Veränderung des Vena cava inferior Durchmessers
DIVI	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin
DM	Durchmesser / Diameter
DO <sub>2</sub> (I)	Sauerstoffangebot(-Index)
DSG	Deutsche Sepsis-Gesellschaft
DSt	down slope time
EMA	Europäische Arzneimittel-Agentur (European Medicines Agency)
FTc	Korrigierte Flusszeit des aortalen Blutflusses
GEDV(I)	Globales enddiastolische Volumen(-Index)
GEF	Globale Ejektionsfraktion
GIN	Guidelines International Network
HES	Hydroxyethylstärke
HI	Herzindex
HZV	Herzzeitvolumen
ICU	Intensivtherapiestation
IFOM	Institut für Forschung in der Operativen Medizin
ITTV	intrathorakales Thermovolumen



ITBV(I)	intrathorakales Blutvolumen(-Index)
IVC	Vena cava inferior
Kap.	Kapitel
kgKG	Kilogramm Körpergewicht
LVDA(I)	Linksventrikuläre diastolische Fläche (Index)
LVEDV(I)	Linksventrikuläres enddiastolisches Volumen (Index)
MAP	arterieller Mitteldruck
max.	maximal
min.	minimal
MTt	mean transit time
NGC	National Guidelines Clearinghouse
O <sub>2</sub> ER	Sauerstoffextraktionsrate
PAK	Pulmonalarterienkatheter
PAOP	Pulmonalarterieller Okklusionsdruck
PEEP	positiver endexpiratorischer Druck
PLR	Passives Anheben der Beine / passive leg raising
PP-Var.	Pulsdruck-Variation
PPW	positiv prädiktiver Wert
PRAC	Pharmacovigilance Risk Assessment Committee der EMA
PTV	pulmonales Thermovolumen
ROC	Receiver Operator Characteristic
SAP	systolischer arterieller Druck
ScvO <sub>2</sub>	Zentral-venöse Sauerstoffsättigung
SPV	systolische Druck-Variation
SV(I)	Schlagvolumen(-Index)
SVV	Schlagvolumen-Varianz
TEE	transösophageale Echokardiografie
TTE	transthorakale Echokardiografie
VO <sub>2</sub> (I)	Sauerstoffverbrauch(Index)
VTI	Geschwindigkeits-Zeit-Intervall
ZVD	Zentraler Venendruck

## A. Rationale und Ziele

### A1: Einleitung

Medizinische Leitlinien geben systematisch entwickelte Informationen und Instruktionen zum diagnostischen und therapeutischen Vorgehen bei bestimmten Gesundheitsproblemen (1). Sie definieren das Standardvorgehen zu einer Fragestellung und dienen als Orientierung für medizinisches Personal und Patienten (2). Leitlinien leisten einen wichtigen Beitrag zur rationalen und transparenten Entscheidungsfindung in der medizinischen Versorgung und sollen durch Wissensvermittlung zu einer besseren Versorgung beitragen.

Die Entwicklung muss in einem systematischen, unabhängigen und transparenten Prozess erfolgen (3). In diesem Prozess werden gemäß den AWMF-Vorgaben drei Stufen unterschieden (4):

**Tabelle 1: Entwicklungsstufen von Leitlinien gemäß AWMF (4)**

Stufe 1: Expertengruppe	Eine repräsentativ zusammengesetzte Expertengruppe der Fachgesellschaft(5) erarbeitet im informellen Konsens eine Empfehlung, die vom Vorstand der Fachgesellschaft(5) verabschiedet wird.
Stufe 2: Formale Evidenzrecherche oder formale Konsensusfindung	Die Leitlinienentwicklung basiert auf formal bewerteten Aussagen der wissenschaftlichen Literatur (S2e) oder die Beratung und Verabschiedung der Leitlinie basiert auf einem der folgenden bewährten formalen Konsensusverfahren: nominaler Gruppenprozess, Delphimethode oder Konsensuskonferenz.
Stufe 3: Leitlinien mit allen Elementen systematischer Entwicklung	Die Leitlinienentwicklung umfasst die systematische Recherche und Bewertung der Literatur, die Klassifikation von Studien und Empfehlungen nach den Kriterien der evidenzbasierten Medizin und die formale Konsensusfindung.

Bei der vorliegenden Leitlinie handelt es sich um eine Leitlinie der Stufe 3.

**A2: Ausgangslage**

Die intravasale Volumen- und Flüssigkeitstherapie ist ein Grundpfeiler der stationären Behandlung erwachsener Patienten. Sie betrifft alle Bereiche und Situationen, in denen die orale bzw. enterale Flüssigkeitszufuhr den Flüssigkeitsbedarf nicht decken kann. Die erhebliche quantitative Bedeutung der intravasalen Volumentherapie begründet sich allein schon daraus, dass die überwiegende Mehrheit der ca. 20 Mio. jährlich in Deutschland (6) stationär behandelten Patienten zumindest vorübergehend einer intravasalen Volumentherapie bedürfen – z.B. peri-operativ bzw. peri-interventionell, wenn Nüchternheit medizinisch indiziert ist, oder wenn die enterale Flüssigkeitsresorptionsrate die notwendige Substitutionsrate unterschreitet, z. B. im Schock, bei großen Flüssigkeitsumsätzen im Rahmen großer Operationen oder bei reduzierter enteraler Resorption als Folge von anhaltendem Erbrechen oder schweren Durchfällen.

Durch einige multizentrische Studien der letzten Jahre ist außerdem eine intensive Diskussion um Nutzen und Schaden der bisherigen, pathophysiologisch fundierten Therapiekonzepte entstanden.

Diese intensive Diskussion hat nicht zuletzt zur Eröffnung eines Pharmakovigilanz-Verfahrens über die Verwendung von Hydroxyethylstärke durch die Europäische Arzneimittel-Agentur EMA im November 2012 geführt, d.h. während der de-novo Entwicklungsphase der vorliegenden Leitlinie. Der Ausschuss für Risikobewertung im Bereich der Pharmakovigilanz (PRAC) rät vom Einsatz bei Patienten mit Sepsis und Verbrennungen ab (7) und hat 2017 zu der Initiierung von zwei Studien im perioperativen Bereich und bei Traumapatienten in der Prähospitalphase geführt.

Die Empfehlungen der AWMF-S3 Leitlinie Volumentherapie bei Erwachsenen haben zu einer deutlichen Versachlichung der Diskussion, Reduktion der Verunsicherung von Ärztinnen und Ärzten, sowie evidenzbasierten Änderungen im klinischen Alltag geführt. Hier ist als Beispiel die Anwendung des evidenzbasierten Lagerungsmanövers zur Autotransfusion zur Indikation und Steuerung einer Volumentherapie anstelle der traditionellen Verwendung des nicht evidenzbasierten zentralen Venendrucks zu nennen. Bei diesem Beispiel hat die Leitlinie zu einer Translation der Evidenz von der Literatur zum Patienten induziert. Das formulierte Statement S-4 zur Durchführung von prospektiven Studien im Bereich Volumentherapie hat z.B. zur Initialisierung der randomisierten kontrollierten internationalen Multicenterstudie GENIUS zur Sicherheit und Effektivität von balanzierter Gelatine bei septischen Patienten (NCT02715466) geführt. In diese Studie wurde die Empfehlungen der S-3 Leitlinie Volumentherapie umfangreich umgesetzt worden, unverzüglicher Studieneinschlusses und die Anwendung der in der Leitlinie konsentierten Maßnahmen und Zielparameter zur Indikation/Steuerung einer Volumentherapie.

### **A3: Anforderungen an die Leitlinie**

Die Leitlinie muss folgenden Anforderungen gerecht werden:

- Auf der Basis der aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse und der bewährten Praxis hilft die Leitlinie bei der Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen.
- Sie ermöglicht eine gute intravasale Volumentherapie bei der überwiegenden Mehrzahl der stationär behandelten Erwachsenen.
- Sie wird stetig auf ihre Aktualität geprüft und regelmäßig an den aktuellen Kenntnisstand adaptiert.
- Die regelmäßige Diskussion mit allen Beteiligten (Ärzte, Pflegepersonen, Patienten und Angehörige) macht Ziele und Vorgehen bei der intravasalen Volumentherapie transparent.
- Ein einziges Idealkonzept ist angesichts der vielfältigen Situationen, in denen die intravasale Volumentherapie angewendet wird, nicht möglich.

### **A4: Ziele der Leitlinie**

Das Ziel der Leitlinie ist die **Verbesserung der Versorgungsqualität bei der Volumentherapie von stationär behandelten, peri-interventionellen oder kritisch kranken erwachsenen Patienten**. Eine optimale Volumentherapie umfasst die richtige Indikationsstellung (Diagnose des Volumenmangels), die Applikation der richtigen Dosis (Steuerung der Volumentherapie) und die Wahl der am besten geeigneten Infusionslösung für den jeweiligen Patienten. Für jeden dieser drei Bereiche gibt es konkurrierende Konzepte. Ziel der Leitlinie ist es, eine wirksame, richtig dosierte und Nutzen-Risiko-optimierte (d. h. effiziente) Volumentherapie auf der Basis der aktuellen Evidenz zu befördern, und dadurch Volumenmangelzustände bei erwachsenen Patienten in Kliniken aller Versorgungsstufen optimal zu behandeln.

Die Empfehlungen der Leitlinie sollen zur Verbesserung der Struktur- und Prozessqualität in den Kliniken beitragen und die Ergebnisqualität verbessern helfen. Deshalb kann und soll die Leitlinie in akuten Behandlungssituationen sowie in Diskussionen zu lokalen Protokollen und in Qualitätszirkeln etc. genutzt werden.

Die Leitlinie möchte zur Diskussion des Themas Volumentherapie anregen, deshalb sind Kritik und Verbesserungsvorschläge ausdrücklich erwünscht. Idealerweise sollen Änderungsvorschläge prägnant zusammengefasst und mit Literatur belegt an den Herausgeber weitergeleitet werden.

Die Leitlinie bezieht sich nicht auf die Verwendung von Infusionen bei Patienten ohne Volumenmangel (z. B. im Rahmen der parenteralen Ernährung, der Korrektur von Störungen

des Elektrolyt- oder Säure-Basen-Haushaltes, der Nutzung von Infusionen als Trägerlösungen für die Medikamentenapplikation). Ebenfalls bezieht sich die Leitlinie nicht auf die Therapie mit Blutprodukten, hier verweist die Leitliniengruppe auf die entsprechende Querschnittsleitlinie der Bundesärztekammer.

### ***A5: Anwenderzielgruppe***

Die Leitlinie wendet sich in erster Linie an medizinische Fachkräfte, die mit einem oder mehreren Aspekten der Durchführung einer intravasalen Volumentherapie (Diagnostik, Wahl der Lösung, Therapiesteuerung) bei stationären Patienten im Sinne der o.g. Zieldefinition betraut sind. Dies trifft besonders auf ärztliches und pflegerisches Personal zu.

In zweiter Linie wendet sich die Leitlinie an Angehörige anderer medizinischer Berufsgruppen sowie Patienten und deren Angehörige, die sich über die evidenzbasierte intravasale Volumentherapie bei stationär behandelten Erwachsenen informieren möchten.

## **B: Methodik**

### ***B1: Literaturrecherche und Auswahl der Evidenz***

#### Systematische Literaturrecherche

Für die Revision der vorliegenden Leitlinie wurde die bei der de-novo Erstellung verwandten Strategien für eine systematische Literaturrecherche zur Diagnostik und Behandlung eines Volumenmangels übernommen. Diese Recherchestrategien wurden bei der de-novo Entwicklung am 17.04.2012 von der gesamten Leitliniengruppe konsentiert. Die Literaturrecherche wurde in den Datenbanken Medline (via PubMed), Embase und Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL) durchgeführt (14.08.2017). Am 31.07.2019 wurde eine Nachrecherche durchgeführt, der Schwerpunkt lag hierbei vor allem auf dem Kapitel 2. Neben medizinischen Schlagworten (Medical Subject Headings / MeSH), ergänzt durch eine Freitextsuche, wurden Studienfilter genutzt, um relevante systematische Übersichtsarbeiten / Metaanalysen, (nicht-) randomisierte kontrollierte Studien, prospektive Kohortenstudien sowie diagnostische Studien (u. a. Querschnittstudien) in deutscher und englischer Sprache und mit einem Publikationszeitraum von 1995 bis zur Durchführung der Recherche zu identifizieren. Das Datum und die Trefferzahl der Initial- sowie der Nachrecherche wurden dokumentiert (s. Leitlinienreport).

Zusätzlich konnte jedes Mitglied der Leitliniengruppe weitere, durch die systematische Recherche nicht erfasste Studien zum Einschluss in die Evidenzbasis vorschlagen. Alle systematisch recherchierten und individuell vorgeschlagenen Studien durchliefen den u. g. Screening-, Extraktions- und Bewertungsprozess.

#### Auswahl der identifizierten Literatur

Von zwei voneinander unabhängigen Experten (ein Methodiker, ein Kliniker) wurden alle recherchierten Publikationen auf die Erfüllung der vorab definierten Einschlusskriterien (s. Leitlinienreport) geprüft. Jegliche Verletzung von Einschlusskriterien führte zum Ausschluss der Publikation. Das Screening erfolgte auf Ebene der Titel/Abstracts für alle in der Recherche identifizierten Publikationen sowie auf Volltextebene für die im Titel-/ Abstractscreening eingeschlossenen Arbeiten.

Bei übereinstimmender Einschätzung durch die Experten erfolgte der Ein- bzw. Ausschluss, bei abweichender Einschätzung wurde Konsens hergestellt durch Diskurs zwischen den Experten. Sofern dies nicht gelang, entschied die Koordinationsgruppe über Ein- oder Ausschluss. Das Flowchart zur Studienselektion ist im Leitlinienreport dargestellt.

**B2: Bewertung und Extraktion der Evidenz**

Jede nach dem Volltextscreening eingeschlossene Studie wurde durch den klinischen Experten einer oder mehreren Schlüsselfragen zugeordnet. Die methodische Bewertung erfolgte anhand der NICE Methodology Checklist (8) (s. Leitlinienreport). Die Checklisten können im Leitliniensekretariat angefordert werden.

Methodische Mängel wurden in den Evidenztabelle aufgeführt. Zudem wurde der Evidenzgrad (engl. level of evidence, LoE) auf Basis der Checklisten gemäß der Klassifikation des Oxford Centre for Evidence-based medicine (CEBM - Version 2009 (9)) festgelegt. Zur Vereinfachung künftiger Aktualisierungen und für eine bessere Vergleichbarkeit wurde auch die Graduierung nach Version 2011 (10) aufgeführt (s. Leitlinienreport).

Anschließend wurden Evidenztabelle in a priori konsentierten Extraktionsvorlagen erstellt, die alle für die Infusionstherapie und Studienmethodik relevanten Daten der jeweiligen Publikation sowie die Schlussfolgerungen der Autoren und eigene Schlussfolgerungen des Methodenteams enthielten (s. Leitlinienreport). Die Datenextraktion, die Bewertung der Studienmethodik und die Qualitätssicherung dieser Arbeitsschritte erfolgten wechselseitig durch einen klinischen und einen methodischen Experten, so dass alle eingeschlossenen Studien unter beiden Aspekten eingehend analysiert und ausgewertet wurden. Bei Unstimmigkeiten war derselbe Konsensfindungs-Diskurs wie für das Ein-/Ausschluss-Screening vorgesehen.

**B3: Formulierung und Konsentierung der Empfehlungen und Statements**

Allen Leitlinienautoren wurden die Evidenztabelle, die NICE Checklisten und die Originalpublikationen zur Verfügung gestellt, so dass ausreichend Gelegenheit bestand, sich mit der Evidenzbasis vertraut zu machen.

**Formulierung der Empfehlungen und Statements**

Die Autoren der jeweiligen Kapitel sichteten und beurteilten die eingeschlossenen und ihrem Kapitel zugeordneten Studien, und bereiteten diese für die Präsentation während der Konsensuskonferenz vor. Ferner formulierten sie vorläufige Empfehlungen incl. Empfehlungsgrad (GoR, engl. Grade of Recommendation) und Statements. Empfehlungen sind handlungsleitende Sätze mit direktem thematischem Bezug zum Kern der Leitlinie. Statements sind Darlegungen oder Erläuterungen spezifischer Sachverhalte oder Fragestellungen ohne unmittelbare Handlungsaufforderung. Empfehlungen und Statements werden im Rahmen des unten dargestellten formalen Konsensusverfahrens verabschiedet und basieren auf der verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz und Expertenmeinungen (in Anlehnung an (11, 12)).

Die aufbereitete Evidenz, die vorläufigen Empfehlungen incl. GoR sowie die vorläufigen Statements wurden von den Koordinatoren der jeweiligen Kapitel während einer Konsensuskonferenz (24.-25.06.2019) präsentiert und mit allen Anwesenden diskutiert. Stellungnahmen und alternative Formulierungsvorschläge wurden vom Moderator registriert.

### Konsensfindung

Über jedes Statement und jede Empfehlung incl. GoR wurde unter Verwendung eines elektronischen TED-Systems anonym abgestimmt. Bei jedem Statement und jeder Empfehlung konnte bei der ersten Abstimmung ein Konsens erreicht werden. Alle endgültigen Abstimmungsergebnisse sind im Leitlinienreport aufgeführt.

Die Konsensstärke wurde nach folgendem Schema klassifiziert:

**Tabelle 2: Klassifizierung der Konsensstärke (13)**

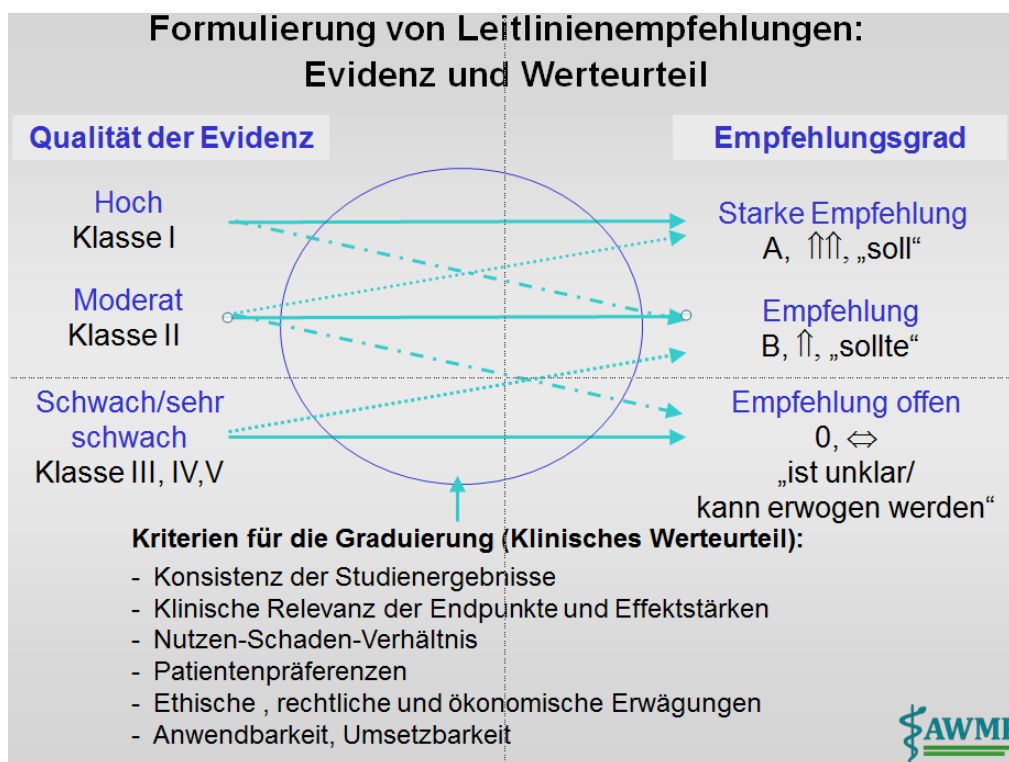
>95% Zustimmung der Teilnehmer	starker Konsens
>75-95% Zustimmung der Teilnehmer	Konsens
>50-75% Zustimmung der Teilnehmer	mehrheitliche Zustimmung
<50% Zustimmung der Teilnehmer	kein Konsens

Jede beteiligte Fachgesellschaft hatte unabhängig von der Zahl der Delegierten eine Stimme im Konsensusverfahren.

### Empfehlungsgrade (GoR)

Die Empfehlungsgrade drücken die Wahrscheinlichkeit aus, mit der die empfohlene Handlung einen für den Patienten relevanten positiven Effekt erwarten lässt, bzw. ein negativer Effekt vermieden werden kann. Der durch die Leitlinienautoren vergebene GoR berücksichtigt die methodische Qualität der zugrunde liegenden Studien (LoE), die klinische Relevanz der berichteten Effektivitätsmaße und der beobachteten Effektgrößen, die Konsistenz der Studienergebnisse, die Übertragbarkeit auf die Zielpopulation, die Anwendbarkeit im ärztlichen Alltag, ethische Verpflichtungen und Patientenpräferenzen. Der Zusammenhang zwischen dem LoE und dem GoR sowie die Modifikation dieser Zuordnung durch die anderen genannten Faktoren ist in der folgenden Abbildung dargestellt:



**Abbildung 1: AWMF-Algorithmus zur Formulierung von Leitlinienempfehlungen (13)**

Der vergebene GoR findet seine Entsprechung in der Formulierung der Empfehlungen berücksichtigt, indem „soll“, „sollte“ und „kann“ nach dem folgenden Schema mit den GoR A, B und 0 assoziiert wurden:

**Tabelle 3: AWMF-Schema zur Formulierung von Empfehlungen in Abhängigkeit von der Empfehlungsstärke (13)**

Empfehlungsgrad	Art der Empfehlung	Vokabular
A	starke Empfehlung	soll
B	Empfehlung	sollte
0	offene Empfehlung	kann

## **B4 Verbreitung und Implementierung**

Die Leitlinie wird durch Publikationen in Online-Medien (AWMF-Internetauftritt, Links auf den Homepages von DGAI, etc.), in nationalen Fachjournalen (Anästhesiologie und Intensivmedizin), sowie auf Fachkongressen (DIVI, DAC, ESICM) verbreitet werden.

Seit der de-novo Erstellung sind aus Ressourcen der Leitliniengruppe in ausgewählten Regionen zahlreiche Fortbildungsmaßnahmen in mehreren Kliniken durchgeführt worden, um die Implementierung in diesen Kliniken zu optimieren und Verbesserungspotenziale zu identifizieren.

Die Effekte der Implementierungsmaßnahmen sind durch webbasierte Fragebogen-Interviews in Longitudinaldesign gemessen worden, d.h. vor der ersten Publikation bzw. Fortbildungsmaßnahme und auch danach.

Auch in der vorliegenden Revision sind diese Maßnahmen wiederum geplant.

Mit der Leitlinie wird eine Kurzversion publiziert, die alle Empfehlungen in übersichtlicher Form enthält. Sie wird als A4-Vorlage und als A6-Vorlage zur Herstellung von sog. Kitteltaschenkarten zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus sollen Applikationen für Smartphones produziert werden, die auf den gängigen Betriebssystemen lauffähig sind.

### ***B5: Qualitätsindikatoren und Evaluierung***

Aufgrund der außerordentlich breiten Anwendung von Volumentherapie in verschiedensten klinischen Situationen ist eine Veränderung des Behandlungsergebnisses durch die Leitlinie nicht anhand sog. harter Outcomeparameter wie Morbidität oder Letalität messbar, da zu viele konfundierende Variablen wirken. Die Wirksamkeit der Leitlinie kann nur sinnvoll an veränderten Prozessen gemessen werden. Hierzu dienen die wiederholten Befragungen im Rahmen der Implementierungsforschung. Der Penetrationsgrad der Empfehlungen in das Wissen der angesprochenen Berufsgruppen, insb. der Ärzte, wird als Qualitätsindikator der Leitlinie herangezogen. Die Überprüfung der Umsetzung in der Praxis ist in Form von Audits oder im Rahmen von Peer Reviews möglich. Konkrete Maßnahmen hierzu sind nicht geplant.

### ***B6: Gültigkeit und Aktualisierung***

Die letzte Überarbeitung der Leitlinie erfolgte am 21.09.2020 durch Einarbeitung der Kommentierungen der Fachgesellschaften.

**Die Leitlinie ist gültig bis zum 31.07.2025.**

Ein Jahr vor Erreichen des Gültigkeitsdatums wird die Geschäftsführung der DGAI die beteiligten Fachgesellschaften erneut bitten, einen Delegierten für die Aktualisierung der Leitlinie zu benennen. Die Aktualisierung wird analog zum beschriebenen Vorgehen erfolgen.

### ***B7: Finanzierung und Darlegung möglicher Interessenkonflikte***

#### **Finanzierung der Leitlinie**

Mittel für die methodische Unterstützung, die Literaturbeschaffung, die Organisation der Konsensuskonferenzen sowie für Sachkosten wurden von der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) zur Verfügung gestellt. Reisekosten der

Teilnehmer wurden von den entsendenden Fachgesellschaften oder den Teilnehmern selbst getragen.

### **Darlegung von und Umgang mit potenziellen Interessenkonflikten**

Zu Beginn der Konsensuskonferenz legten alle Teilnehmer potenzielle Interessenkonflikte schriftlich offen. Darüber hinaus aktualisierten alle Teilnehmer ihre Interessenkonflikterklärungen bis zum Abschluss Ihrer Leitlinienarbeit. Eine Übersicht der aktualisierten Erklärungen aller Teilnehmer findet sich im Appendix des Leitlinienreports. Die stimmberechtigten Delegierten der Fachgesellschaften entschieden im Bedarfsfall per anonymer Abstimmung über die Relevanz bestehender Interessenkonflikte. Im Resultat verlor keine Fachgesellschaft ihre Stimme im Konsensusprozess durch einen Interessenkonflikt ihres Vertreters.

## Übergreifende Empfehlungen / Statements:

Anfangsstatement S-1	GoR
<p>Theoretisch wichtige differenzierte Empfehlungen zur Flüssigkeits- und Volumentherapie können aufgrund fehlender Evidenz nicht hinreichend sicher formuliert werden.</p> <p>Deswegen haben die für die Volumentherapie getroffenen Empfehlungen auch Gültigkeit für die Flüssigkeitstherapie bei peri-interventioneller isotoner Dehydratation.</p> <p>Bei allen anderen Dehydratationsformen insbesondere in der Intensivmedizin muss eine differenzierte Substitution erfolgen. Diese Aspekte sind nicht Bestandteil der Leitlinie.</p>	---

### Erläuterung zum Statement S-1

Ein intravasaler Volumenmangel ist charakterisiert durch hämodynamische Instabilität, bedingt durch eine kritische Abnahme des zirkulierenden Plasmavolumens mit Abnahme der kardialen Vorlast, konsekutiver Verminderung des Herzzeitvolumens (HZV) und Reduktion der Mikrozirkulation und Gewebsoxygenierung. Parallel besteht ebenso ein interstitielles Flüssigkeitsdefizit. Eine adäquate Flüssigkeits- und Volumentherapie stellt dabei einen sehr wichtigen Teil der Therapie des interstitiellen Flüssigkeits- und intravasalen Volumenmangels dar. Ziel der initialen Flüssigkeits- und Volumentherapie ist die Wiederherstellung der Normovolämie und ein ausreichendes, zirkulierendes Plasmavolumen, um damit einen ausreichenden venösen Rückstrom zum Herzen bzw. ein adäquates HZV sicherzustellen. Durch diese Flüssigkeits- und Volumentherapie sollen eine bessere Pumpleistung des Herzens, verbesserte Gewebsoxygenierung und Gewebepfusion und eine bessere Organfunktion insgesamt erreicht werden.

Auch bei der ausführlichen Literaturrecherche für die Revision der S3 Leitlinie Volumentherapie bei Erwachsenen mit 3033 auf die Erfüllung der Einschlusskriterien gescreenten Abstracts, 233 gescreenten Volltexten und 111 Volltexten, die ausgewertet wurden, konnte wiederum keine Evidenz für die o.g. pathophysiologisch fundierte Empfehlung identifiziert werden, da sich die vorhandene wissenschaftliche Evidenz mit dem Problem des intravasalen Volumenmangels auseinandersetzt.

Deswegen hat sich die Leitliniengruppe, nach intensiver inhaltlicher Auseinandersetzung, für die übergreifende Empfehlung entschieden, dass die für die Volumentherapie getroffenen Empfehlungen auch Gültigkeit für die Flüssigkeitstherapie bei isotoner Dehydratation behält.

Weiterhin werden spezielle Dehydratationsformen, z.B. die hypertone Dehydratation nicht behandelt, da diese Sonderformen des Flüssigkeits- und Volumenmangels den Umfang der vorliegenden Leitlinie deutlich übersteigen würden.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die Europäische Arzneimittel-Agentur (EMA) 2013 ein Pharmakovigilanz-Verfahren über die Verwendung mit Hydroxyethylstärke durchgeführt hat. Der Ausschuss für Risikobewertung im Bereich der Pharmakovigilanz (PRAC) rät vom Einsatz bei Patienten mit Sepsis und Verbrennungen ab. Zur Behandlung der Hypovolämie nach akutem Blutverlust kann Hydroxyethylstärke weiter verwendet werden. Die Empfehlungen der vorliegenden AWMF-S3 Leitlinie basieren auf der ausgewerteten Evidenz und sind unabhängig von den EMA Empfehlungen zu betrachten. Gegenwärtig werden zwei prospektive Studien über den Einsatz von Hydroxyethylstärke im Auftrag der EMA durchgeführt, im Bereich der Traumaversorgung und im perioperativen Setting.

Empfehlung Ü-1	GoR
Sofern eine rasche Applikation eines Volumenersatzmittels peri-interventionell erforderlich ist, sollten komprimierbare Gebinde zur Schnellinfusion angewendet werden.	B

### Erläuterung zur Empfehlung Ü-1

Bei schwerstem Volumenmangel mit vital bedrohlicher Hypotension ist die schnelle Wiederherstellung des intravasalen Volumens durch forcierten Volumenersatz zweifelsohne indiziert. Diese essentielle Anforderung kann apparativ durch die Anwendung komprimierbarer Gebinde für die benötigten Volumenersatzmittel überlebensentscheidend und beschleunigt umgesetzt werden. Auf der Grundlage dieser klinisch relevanten Vorgehensweise wurde die o. g. Empfehlung konsentiert, obwohl keine wissenschaftliche Evidenz für diese Empfehlung vorlag.

Gemäß PICO-Prinzip wird die Intervention durch die verwendete Substanz definiert, sie ist aber ohne den Applikationsmodus zu beschreiben nur unvollständig charakterisiert. Wie wichtig der Applikationsmodus gerade im Kontext der Volumentherapie ist, zeigt ein Blick auf die in vielen Metaanalysen (14-16) geflissentlich eingeschlossenen und zusammenfassend

analysierten klinischen Studien, in den z.T. über mehrere Tage Volumenersatzmittel basierend auf einem zweimal täglichen Verabreichungsmodus appliziert wurden (17).

Vor diesem Hintergrund erschien es ratsam, die Möglichkeit einer raschen Applikation, insbesondere für den Fall des Fehlens großlumiger intravenöser Zugangswege, zu fordern, um eine Volumentherapie im eigentlichen Sinn durchführen zu können. Gleichwohl wurde im Rahmen des Konsensus-Prozesses darauf hingewiesen, dass in bestimmten Fällen gerade auch die Inkaufnahme eines temporär niedrigen Blutdruckes die gebotene Maßnahme sein kann (permissive Hypotension).

## Kapitel 1: Diagnose des Volumenmangels

Zugrunde liegende Literatur: (18-86)

Empfehlung 1-1	GoR
Jeder Patient mit einem Verdacht auf einen Volumenmangel soll insbesondere mit der Fragestellung Blutung, Dehydratation, Sepsis oder anderer Differentialdiagnosen für einen Volumenverlust unter Berücksichtigung der Anamnese körperlich untersucht werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 1-1:

Eine der grundlegendsten Entscheidungen zur Aufrechterhaltung der Homöostase des menschlichen Körpers ist die Möglichkeit der Zufuhr externer Lösungen – die sich grundsätzlich mit dem zu erreichenden Ziel der Volumensubstitution (intravasal) und der Flüssigkeitssubstitution (interstitiell) konfrontiert sehen. Die Termini (intrazelluläre) Dehydrierung und (extrazellulärer) Volumenmangel werden in den meisten Studien miteinander gemischt – obwohl zwei unterschiedliche Entitäten darstellend – und häufig eine haltungsbedingte Ohnmacht bzw. reflektorische Tachykardie im Stehen (um mehr als 30 Schläge/Minute) aussagekräftig für eine Hypovolämie sind (87). 2020 wurde die Sepsis als Krankheitsbild hinzugenommen, da in der INSEP-Studie gezeigt werden konnte, dass die Sepsis in Deutschland mit einer intensivmedizinischen Inzidenz von 11% immer noch sehr häufig ist und darüber hinaus 2016 die Krankenhausletalität der Patienten im septischen Schock mehr als 50% beträgt (88). 1999 zeigten McGee und Kollegen, dass eine trockene Axilla, im Gegensatz zu feuchten Schleimhäuten ebenfalls die Sensitivität zur Feststellung einer Hypovolämie erhöhen würde.

Bisher konnte für die kapilläre Refill-Zeit und den Hautturgor nur eine sehr schlechte Sensitivität nachgewiesen werden; die eventuell vorhandene Tachykardie im Liegen hatte nur eine hohe Spezifität (87). Im nicht ausgewählten Patientengut einer Notaufnahme erreichte gar nur ein niedriger systolischer Blutdruck (unter 100mmHg) eine ausreichende Sensitivität, wie Fortes und Kollegen 2015 feststellten (89).

Da jede Substanz, welche dem Körper zugeführt wird, in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung, Applikation und Stabilität mit den körpereigenen Flüssigkeiten interagiert, ist eine Voraussage über die Inertheit oder den Stoffaustausch bis auf die Zellebene fast unmöglich.

Das Körperwasser ist auf verschiedene Flüssigkeitsräume (Kompartimente) aufgeteilt: 2/3 befinden sich in den Zellen (Intrazellulärraum), das restliche Wasser ist extrazellulär auf

Interstitium (31%) und Blutplasma (7%) sowie auf weiteres transzelluläres Wasser (Liquor etc.) verteilt. Die körpereigene Regulation des Wasserhaushalts erfolgt durch die Osmo- und Volumenregulation bzw. durch das Durstgefühl: Ziel ist die Aufrechterhaltung der rund 42 Liter Körperwasser: Da das Volumen des Intrazellulärums weitgehend durch den Extrazellulärums mitgesteuert wird (Zellwände sind für Wasser permeabel), kann jede zugeführte Flüssigkeit bis auf Zellebene hin zu einer Wasserverschiebung führen. Da die interstitielle Flüssigkeit Teil des Extrazellulärums ist und nur indirekt als Differenz des gesamten Extrazellulärums und des Plasmavolumens bestimmt werden kann, ist eine Untersuchung eines interstitiellen Flüssigkeitsmangels kaum bzw. nicht ohne weitergehende apparative Bestimmungen möglich. Somit ist eine Substitution des interstitiellen Raumes durch Substanzen keinesfalls sinnvoll und auch nicht notwendig. Eine ausgedehnte intravasale Volumenzufuhr hätte zum Beispiel als isotone Hyperhydratation die Ausweitung des Extrazellulärums mit vermehrter Bildung interstitieller Ödeme durch Diffusion zur Folge: so hatte die Arbeitsgruppe um Matthias Jacob (2012) im Rahmen einer normovolämischen Hämodilution den Volumeneffekt von Ringer-Laktat-Lösung mit unter 20% feststellen können (90).

Ausgangsbasis für jede weitere Diagnostik ist die ausführliche körperliche Untersuchung, welche neben der verlässlichen Einschätzung des Volumenstatus die Reaktion auf Volumengabe einschätzen kann: Zur Verfügung stehen die Inspektion der Zunge, Halsvenen- bzw. Handrückenvenenfüllung sowie der Kapillarperfusionstest. Neben der pulmonalen Auskultation und Perkussion (auf Pleuraerguß) ist die abdominale Palpation (Aszites, distendierte Darmschlingen) und die Inspektion der unteren Extremitäten auf körperabhängige Ödeme und Hautturgor notwendig.

Saugel et al. (2013) untersuchten, inwieweit die klinische Untersuchung durch zwei unabhängige Untersucher einen Anstieg des Herzindex durch Volumengabe (sog. Volumenreagibilität, gemessen per transpulmonaler Thermodilution) vorhersagen lässt: Neben der Tatsache, dass sich die Untersucher nur bei fast jedem zweiten Patienten einig waren, zeigte auch der schlechte positive Vorhersagewert von 27,8% die Ungenauigkeit der klinischen Einschätzung (69). Auch 2011 hatte die gleiche Gruppe bei anderen 71 internistischen Patienten mit den gleichen klinischen Tests ähnlich schlechte Ergebnisse gezeigt (schlechte Inter-Observer-Übereinstimmung, niedrige Sensitivität). Interessanterweise konnte die Hypovolämie mit einem negativen Vorhersagewert von 70% fast immer ausgeschlossen werden (70). Zusammenfassend lässt sich schließen, dass aufgrund der Einfachheit und Schnelligkeit der körperlichen Untersuchung – auch im Hinblick auf Differenzialdiagnosen – diese bei jedem Patienten mit vermutetem Volumenmangel durchgeführt werden soll. Alleine betrachtet erfüllt die körperliche Untersuchung sicherlich



nicht den Anspruch der Vollständigkeit, in Kombination mit weiterem Testen erhöht sie jedoch die diagnostische Güte ungemein.

Empfehlung 1-2	GoR
Bei der Diagnose eines Volumenmangels sollen ergänzend Parameter wie Laktat, Laktat Clearance, Rekapillarisierungszeit, ScvO <sub>2</sub> , Hämatokrit oder Base Excess (BE) erhoben werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 1-2:

Die Bestimmung von vielen, teils redundanten Laborparametern hat sich in den letzten Jahren als Standard bei der Aufnahme von Patienten eingebürgert. Dadurch gerät die klinische Beurteilung und Expertise zur Einschätzung des Patienten immer mehr in den Hintergrund und versteckt sich teilweise hinter dem Warten auf die Laborparameter, bevor überhaupt eine Entscheidung oder Untersuchung getroffen wird. Vor allen Dingen beim kritischen Volumenmangelschock ist das Warten auf Laborergebnisse häufig fatal und wenig zielführend. Hier genügt eine rasche klinische Einschätzung, kombiniert mit der Anamnese zur richtigen Therapie.

Nichtsdestotrotz haben gerade einige wenige Laborparameter ihren Stellenwert in der Diskriminierung der Hypovolämie (wie die Bestimmung des Harnstoff-Kreatinin-Verhältnisses zur Abschätzung des Volumenverlusts) oder die Hypernatriämie (in der fortgeschrittenen Dehydrierung) und dürfen nicht vergessen werden.

In der letzten Zeit richtete sich das Augenmerk verstärkt auf die Bestimmung des Basenüberschusses, verursacht durch die Gewebshypoxie bzw. –minderperfusion bei schweren Traumen mit Volumenmangel durch Exsanguination, oder die Trauma-induzierte Koagulopathie (TIC), da hierdurch eine Prognoseabschätzung möglich wurde. Das Laktat als anaerober Stoffwechselmarker, konnte neben dem stattfindenden Gewebsuntergang von Extremitäten durch Minderperfusion, dem Erkennen eines hyperadrenergen Stoffwechsels oder auch in der Einschätzung der Funktion lebenswichtiger Organe Fuß fassen. Jedoch hat die Bestimmung der Laktat-Clearance vor allen Dingen ihren Stellenwert in den frühen Behandlungsetappen, und muß dabei nicht nur auf anaerobe Stoffwechselvorgänge hinweisen: Metformineinnahme oder eine Alkalose bewirken eine Steigerung des Laktatspiegels, ohne direkt einen Einfluß auf das Outcome zu haben. Die Anwendung der Laktat-Clearance zur Flüssigkeitssteuerung führt jedoch fast immer zu einer Volumenüberladung des Organismus. Werden zusätzlich noch Laktat-haltige

Infusionslösungen wie Ringer-Laktat appliziert, sinkt durch diese externe Zufuhr die Aussagekraft der Laktat-Bestimmung noch mehr. Erwartet wird eine stündliche Reduktion des Laktatspiegels um 10-20%, bis zum Erreichen des Normwertes.

Jüngst konnten Hernández et al (91) (Andromeda-Studie) einen nicht signifikanten Vorteil der Rekapillarierungszeit im frühen septischen Schock zeigen, wenn diese als Parameter zur Volumentherapie verwendet wurde: Verglichen mit der Laktat-Clearance ergab sich generell eine Hazard Ratio von 0,75; nach Subgruppenanalysen und Berücksichtigung der Verbesserung der SOFA- und APACHE-Scores erreichte die Anwendung der standardisierten Messung am ventralen rechten Zeigefinger-Nagelbett für 10 Sekunden durchgehend bessere Ergebnisse in den ersten 72 Stunden als die Laktatbestimmung und -Clearance. Auffallend war eine wesentlich schnellere Durchführung und Bewertung dieses Tests, der hier alle 30 Minuten stattfand. Das Ziel der Intervention war eine Rekapillarisierungszeit von 3 Sekunden oder weniger. Nichtsdestotrotz lassen die fehlende Standardisierbarkeit dieses Tests und die nicht signifikanten Ergebnisse keine generelle Empfehlung im klinischen Setting zu.

Die Bestimmung der gemischt-venösen, oder einfacher der zentral-venösen Sättigung als Marker der De-Saturierung der Erythrozyten und damit des systemischen Sauerstoffverbrauchs ( $\text{VO}_2$ ) ist seit Jahren Standard in der intensivmedizinischen Versorgung geworden; durch die notwendige Anlage eines zentral-venösen Zugangs ist aber gerade in der frühen Phase des Schocks die Anwendbarkeit eingeschränkt. Aufgrund der Ergebnisse der Andromedastudie (91) sind Laktat Clearance und Rekapillarierungszeit als Parameter hinzugenommen worden.

Allen Laborparametern gemeinsam ist die Möglichkeit der Verlaufskontrolle bzw. ein Monitoring, das heißt die regelmäßige Bestimmung in festgelegten Intervallen, um damit eine Aussage über die Verbesserung oder Verschlechterung des Patienten treffen zu können bzw. eine Prognose (wie zum Beispiel durch Laktat in der Sepsis-Versorgung) abgeben zu können.

Futier et al. wiesen 2010 so bei 70 viszeralchirurgischen Patienten eine Verminderung der  $\text{ScvO}_2$  bei restriktiver Volumengabe intraoperativ und in der multivariaten Analyse als Prädiktor für postoperative Sepsis oder Anastomoseninsuffizienzen nach (43). Bei 38 internistischen Patienten hatten Saugel et al. 2013 einen negativen Vorhersagewert bzw. eine Spezifität von knapp 71% für die  $\text{ScvO}_2$  bei einem Schwellenwert unter 70% zur Feststellung einer Hypovolämie erreicht (69).

Diesen aus den Sepsis-Guidelines bekannten Schwellenwert von 70% untersuchten Monnet et al. (2013) als Surrogatparameter eines erhöhten Sauerstoffverbrauchs bei 51 septischen internistischen Patienten: Im Gegensatz zu Laktat (AUC 0,91 und einer Sensitivität von 93% bei einem Schwellenwert von 2,77mmol/l) erreichte die  $\text{ScvO}_2$  nur eine AUC von 0,68 und war damit ein schlechterer Marker für den Anstieg des  $\text{VO}_2$  (außer bei einem Wert unter 50%).

Interessanterweise verringerte sich das Sauerstoffangebot ( $DO_2$ ) bei den Non-Respondern – wohl durch eine Dilution und damit verringerten Hämoglobin-Wert – was wiederum beweist, dass eine „fluid challenge“ bei keiner Veränderung der Surrogatparameter ein einmaliger Versuch sein sollte (59).

Empfehlung 1-3	GoR
Für die Diagnose eines Volumenmangels bei spontan atmenden sowie bei beatmeten Patienten soll der ZVD sowohl bei peri-operativen als auch bei intensivmedizinischen Patienten nicht verwendet werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 1-3:

Der zentrale Venendruck (ZVD) gehörte lange Zeit zum routinemäßigen Basismonitoring beim kritisch kranken Patienten. In verschiedenen Patientenpopulationen konnte über viele Jahre immer wieder gezeigt werden, dass Veränderungen des ZVD und/oder des pulmonalarteriellen Okklusionsdrucks (PAOP) sehr schlecht bzw. überhaupt nicht mit Veränderungen des Herzzeitvolumens übereinstimmten und die Messung des ZVDs eine nur sehr geringe Vorhersagekraft bzgl. des jeweiligen intravaskulären Volumenstatus besitzt. Ursächlich hierfür ist, dass der ZVD von einer Vielzahl von Faktoren wie dem intravasalen Volumen, dem peripheren Gefäßtonus, der rechtsventrikulären Compliance, dem pulmonalen Gefäßwiderstand sowie dem intrathorakalen Druck (Beatmung) abhängig ist. So kann zwar ein niedriger ZVD auf einen Volumenmangel hinweisen, jedoch schließt ein erhöhter ZVD einen Volumenmangel nicht aus, beispielhaft findet sich eine Erhöhung des ZVD bei einem Rechtsherzversagen, einer Lungenembolie, einer Perikardtamponade, einem Spannungspneumothorax oder einer Hypervolämie. Rivers et al. konnten in einer vielzitierten Studie, zur frühen zielorientierten Sepsistherapie durch Vorgabe eines ZVD-Zielwertes zwischen 8 und 12mmHg eine signifikante Mortalitätsreduktion nachweisen. Allerdings wurde der ZVD in dieser Studie nur im Rahmen eines Bündels von mehreren hämodynamischen Zielkriterien verwendet. Insofern ist eine alleinige Bewertung des ZVDs im Rahmen dieser Studie nicht möglich (92).

In einer prospektiven, Observationsstudie bei Patienten mit septischem Schock (n=25) wurden ZVD, Schockindex und Herz-Index (5) mittels TTE unmittelbar vor und nach einem Volumenbolus gemessen (49). Ein hämodynamisches Ansprechen wurde als Anstieg des Herz-Index um  $\geq 15\%$  definiert. Patienten mit einem ZVD  $> 8\text{mmHg}$  und einem erniedrigten Schockindex profitierten nicht von einer Volumengabe. Ein niedriger ZVD ( $< 8\text{mmHg}$ ) und ein

hoher Schockindex konnte eine Volumenreagibilität allerdings ebenfalls nicht sicher vorhersagen.

Saugel et al. (2013) untersuchten prospektiv bei 31 internistischen Intensivpatienten inwieweit mittels klinischer Untersuchung, ZVD, passive leg raising (PLR), ScvO<sub>2</sub> oder transpulmonaler Thermodilution eine Prädiktion der Volumenreagibilität abgeschätzt werden konnte (69). Alle untersuchten Variablen inklusive des ZVDs zeigten hierbei eine unzureichende Zuverlässigkeit.

In einer aktuellen Metaanalyse (93) wurde der ZVD im Hinblick auf die Vorhersage einer Volumenreagibilität untersucht. Insgesamt wurden 43 Studien in die Analyse einbezogen. Davon beschäftigten sich 22 Studien mit intensivmedizinischen Patienten, 20 Studien analysierten den Einsatz des ZVD im operativen Monitoring und eine Studie wurde mit Probanden durchgeführt. Die Volumenreagibilität entsprach einem Anstieg des Herzzeitvolumen (HZV) oder Schlagvolumen (SV) nach einer definierten Volumengabe (Volumen-Challenge) oder nach passivem Anheben der Beine (PLR). Die meisten Studien definierten eine Volumenreagibilität als einen Anstieg des Herz-Index (5) bzw. Schlagvolumenindex (SVI) um mehr als 15%. Als Volumen-Challenge wurden 500 ml Flüssigkeit (in der Regel Hydroxyethylstärke) intravenös verabreicht. Daten zur Receiver Operating Characteristic Kurve waren in 20 Studien verfügbar. Insgesamt waren 57% ± 13% der Patienten volumenreagibel. Der mittlere ZVD der Ausgangsmessung betrug 8,2 ± 2,3mmHg in der volumenreagiblen Gruppe und 9,5 ± 2,2mmHg bei nicht volumenreagiblen Patienten. Der Flächenwert unter der ROC-Kurve lag bei 0,56 (95% Konfidenzintervall 0,54–0,58). Es fand sich kein Unterschied zwischen Intensivpatienten und Patienten im Operationsraum. Kardiochirurgische und nicht-kardiochirurgische Patienten zeigten ebenfalls gleiche Ergebnisse. Die Korrelation der initialen ZVD-Messung mit der Veränderung des HI/SVI war in allen Patientengruppen völlig unzureichend. Auch Eskesen et al. analysierten die Güte einer ZVD-Messung zur Volumenreagibilität nach einer definierten Volumengabe in einer systematischen Übersichtsarbeit. In diese wurden 51 Studien mit insgesamt 1148 Patienten eingeschlossen. The AUC-ROCs betrug 0.57 (95 % KI 0.52–0.62) für niedrige ZVD-Werte, 0.54 (0.48–0.60) für mittlere ZVD-Werte und 0.56 für hohe ZVD-Werte. Damit bestätigte die Studie von Eskesen et al., dass sich aus dem gemessenen Füllungsdruck nicht sicher auf einen bestimmten Volumenstatus schließen lässt.

Bestehende Leitlinien:

In der S3-Leitlinie „Infarkt-bedingter kardiogener Schock - Diagnose, Monitoring und Therapie“ wird ausgeführt, dass der ZVD als Parameter zur Volumensteuerung nicht verwendet werden sollte (94).

In der aktuellen S3-Leitlinie „Intensivmedizinische Versorgung herzchirurgischer Patienten, Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf“ wird auf die begrenzte Aussagekraft des ZVDs im Hinblick auf die Volumensteuerung hingewiesen. Ein zu hoher ZVD ( $>15\text{mmHg}$ ) sollte vermieden werden, da es Hinweise in der Literatur gibt, dass dies mit einem schlechteren Outcome einhergehen kann. Zielwerte für den unteren ZVD-Grenzwert sollten individuell im Rahmen der Volumenoptimierung mittels TEE/TTE oder auch dynamisch erfasster Zielwerte bestimmt werden. Ein niedriger bzw. fallender ZVD kann Hinweis auf einen Volumenmangel sein, soll jedoch nicht als alleiniger Parameter genutzt werden. Es wird allerdings die Notwendigkeit der kontinuierlichen Messung benannt, um wichtige Informationen über akute Veränderungen der rechtsventrikulären Compliance zu erhalten. (95). Neue Literatur aktuelle Version der Leitlinie einfügen

Die Surviving Sepsis Campaign guidelines for management of severe sepsis and septic shock (96) hat ihre Empfehlungen nach der Publikation dieser S3 Leitlinie geändert. Wurde 2013 noch die ZVD-Messung bei septischen Patienten mit Zeichen der Hypoperfusion mit einem Zielwert von 8-12 mmHg in den ersten 6 Stunden (Grade 1C) empfohlen, wird in der aktuellen Publikation die fehlende Vorhersagekraft des ZVDs in Bezug auf einen Volumenmangel beschrieben (97).

In der deutschen S2k-Sepsis-Leitlinie (98) von 2010 wird ein ZVD Ziel von  $>8$  bzw.  $>12\text{ mmHg}$  unter mechanischer Beatmung im Rahmen eines Bündels von hämodynamischen Zielkriterien zur frühen hämodynamischen Stabilisierung empfohlen (Empfehlung Grad C). Diese Leitlinie wird zurzeit allerdings überarbeitet.

Empfehlungen 1-4, 1-5, 1-6	GoR
Wenn durchführbar, soll zur Diagnose eines Volumenmangels / einer Volumenreagibilität ein standardisiertes „passive leg raise“ Manöver durchgeführt werden.	A
Idealerweise soll die Überprüfung der Volumenreagibilität mittels Messung des Schlagvolumens oder eines dynamischen Vorlastparameters erfolgen.	A
Zur initialen Abschätzung der Volumenreagibilität kann die Veränderung des Blutdrucks herangezogen werden.	0

**Gemeinsame Erläuterung zu den Empfehlungen 1-4, 1-5, 1-6:**

Als leicht und ohne großen apparativen Aufwand durchführbare bettseitige Untersuchung zur Feststellung eines Volumenmangels und einer eventuellen Volumenreagibilität eignet sich das Anheben der Beine („passive leg raising“, PLR) – hierdurch kommt es zu einer reversiblen Autotransfusion von 300-450ml. Durch die Erhöhung des kardialen Preloads (bei einem volumenbedürftigen Patienten) kann während des Tests das Schlagvolumen (bei unverändertem peripherem Widerstand) und dadurch das Herzzeitvolumen erhöht werden. Durch das PLR-Manöver kann auch der oft schädliche Volumenüberschuß durch häufige Infusionsboli bei vermuteter Hypovolämie vermieden werden, die Rate an Wundheilungsstörungen, intestinaler Paralyse, Lungenödem oder Perfusionsstörungen durch interstitielle Ödembildung reduziert werden.

Eine standardisierte Durchführung des PLR-Manövers bereitet in der Klinik jedoch die meisten Probleme, kann doch der Oberkörper zum Beispiel noch abgewinkelt oder flach liegend sein, eine Oberschenkelamputation vorliegen oder ein kardiales Rückwärtsversagen vorhanden sein. Weitere Kontraindikationen sind instabile Beckenfrakturen, hohe intraabdominelle Hypertension oder ein erhöhter Hirndruck. Zudem sind Schmerzen oder Husten bzw. eine ausgeprägte Reizung des Sympathikus zu vermeiden.

Boulain et al. hatten 2002 anhand einer prospektiv-klinischen Studie mit 39 interdisziplinären intensivmedizinischen Patienten eine gute Korrelation von Schlagvolumensteigerung und direkt-proportionaler Zunahme des aortalen Pulsdruckes und dabei die positive Auswirkung einer simulierten Volumengabe verifiziert (99).

Die intraoperative Anwendung einer ziel-gerichteten Therapie anhand der SVV (10% als Schwellenwert) bzw. des Schlagvolumens resultierte zwar in einer höheren Applikation von Kolloiden bei fast gleichem Hämoglobin-Wert am Operationsende, konnte aber die Rate an Wundinfektionen und den postoperativen Krankenhausaufenthalt optimieren, wie Scheeren et al 2013 in einer Multicenter-Studie zeigen konnten (100).

Cavallaro et al. berichten 2002 in einer Metaanalyse bei insgesamt neun eingeschlossenen Studien und 353 Teilnehmern (Intensivpatienten, Schock unterschiedlicher Genese) von einer zuverlässigen Vorhersagekraft bzgl. einer Erhöhung des Herzzeitvolumens bzw. des Schlagvolumens (Bestimmung mittels Pulmonalkatheter, transösophagealer/ transthorakaler Echokardiographie, transpulmonale Thermodilution und unkalibrierte Pulskonturanalyse). Trotz unterschiedlicher Durchführung des PLR-Manövers (aus liegender bzw. halbsitzender Position) und verschiedenen Definitionen der Responder ergibt sich kumuliert eine Sensitivität von 89,4% bei einer Spezifität von 91,4% bzgl. der Steigerung des Herzzeitvolumens (AUC 0,95). Der gemessene Pulsdruckanstieg ergibt nur eine Sensitivität von 59,5% bei einer Spezifität von 86,2% (AUC 0,76) (22).

Monnet et al konnten 2016 in der bisher größten Metaanalyse mit 21 eingeschlossenen Studien und über 990 Patienten (hauptsächlich akutes Herzversagen) eine weitere Verbesserung der Korrelation von PLR-Manöver und Anstieg des Herzzeitvolumens nachweisen – hier wurden die Werte hauptsächlich echokardiographisch, mittels ösophagealem Doppler und transpulmonaler Thermodilution ermittelt: Bei einem optimalen Schwellenwert des Herzzeitvolumens von 10% ( $\pm 2$ ) ergab sich eine Sensitivität von 85% bei einer Spezifität von 91% (AUC 0,95). Acht der eingeschlossenen Studien zeigten bei einem optimalen Schwellenwert von 12% ( $\pm 4$ ) des Pulsdruckanstieges eine Spezifität von 83% bei einer erniedrigten Sensitivität von 56% (AUC 0,77) (101). Groeneveld et al. kamen in einer zweiten Metaanalyse zu vergleichbaren Ergebnissen. Auf dieser Grundlage wurden 1.4 und 1.5 der GoR von B auf A hochgestuft.

Auch in dem systematischen Review von Mandeville et al. (2012), in welchem 8 Studien zum Vergleich der Volumenreagibilität anhand transthorakaler Echokardiographie (102) verglichen wurden, konnte das PLR-Manöver in Bezug auf Schlagvolumen, indiziertes Schlagvolumen und Herzzeitvolumen eine Spezifität von bis zu 99% bei einer maximalen Sensitivität von 100% erreichen. Der positive Vorhersagewert schwankte zwischen 83 und 91% - Vergleichsvolumen variierten um 500ml Kolloid und Kristalloid. Teil dieses Reviews war die Querschnittsstudie von Biais et al. (2009) (20), in welcher bei 30 Patienten (19 davon intubiert/spontanatmend) das Schlagvolumen mittels TTE oder mit dem Verfahren der unkalibrierten Pulskontouranalyse (Softwareversion 1.14) gemessen wurde: Auch hier konnte das PLR-Manöver (im Vergleich mit 500ml Kochsalzlösung) eine Volumenreagibilität (im Vergleich mit dem Verfahren der unkalibrierten Pulskontouranalyse) zuverlässig (AUC 0,92) vorhersagen. Besser schnitt die Vergleichsbestimmung mittels TTE ab (AUC 0,96) (53).

In der Querschnittsstudie von Lakhal et al. (2012) mit 112 Patienten (beatmet, kreislaufinstabil, davon 21 arrhythmisch) wurde die Volumenreagibilität durch das Anheben der Beine um 45° im Bezug auf die nicht-invasive und invasive Blutdruckmessung ( $\Delta$ SAP und  $\Delta$ MAP) mittels invasiver HZV-Messung bestimmt: Die Veränderung des systolischen Blutdrucks war auch in der nicht-invasiven Blutdruckmessung mit einer AUC von 0,75 aussagekräftig, bei Verwendung eines zusätzlichen, willkürlich festgelegten ZVD-Anstiegs um mindestens 2mmHg stieg die AUC auf 0,94 an; qualitativ sind die Daten jedoch sehr schwer interpretierbar, da sowohl der Referenztest uneinheitlich als auch das ZVD-Kriterium willkürlich festgelegt worden sind (103).

Bei 34 spontan atmenden, hypotensiven internistischen Patienten validierten Maizel et al. die echokardiographisch bestimmte Volumenreagibilität von HZV und Schlagvolumen durch PLR oder 500ml Kochsalzlösung (bei nicht invasiver Blutdruckmessung): Trotzdem die Autoren zusammenfassend urteilen, das PLR-Manöver hätte eine gute Vorhersagekraft, kann aufgrund

der schlechten Berichtsqualität und widersprüchlichen Ergebnisse die Aussage nur mit Vorsicht berücksichtigt werden (52).

Preau et al. benutzten bei 34 spontanatmenden septischen Patienten ein unterschiedliches PLR-Manöver, welches bei Anheben der Beine den Oberkörper zusätzlich absenkte und dadurch einen größeren Volumenbolus (im Vergleich zu 500ml 6% HES) simulierte (etwa 450-500ml): Sowohl die Schlagvolumenveränderung als auch der radiale Pulsdruck hatten mit einer AUC von 0,94 bzw. 0,86 eine gute Vorhersagekraft (65).

Dong et al. verglichen die Veränderung des indizierten Schlagvolumens mittels transpulmonaler Thermodilutions-Messung nach dem gleichen PLR-Manöver wie Preau bei 32 septischen beatmeten internistischen Patienten: Bei einem cut-off von rund 9% zeigte sich interessanterweise eine gleiche Sensitivität (72,7%) bzw. Spezifität (80%) wie bei einer ZVD-Veränderung um  $\geq 12,7\%$ . Die AUC für die Schlagvolumenveränderung betrug 0,882, für den ZVD-Anstieg immerhin 0,805 (35).

Monnet et al. (2013) verwanden im Rahmen des PLR-Manövers bei 65 kontrolliert beatmeten septischen internistischen Patienten interessanterweise die endtidale CO<sub>2</sub>-Messung als Surrogat-Parameter der Volumenreagibilität anstatt der HZV-Messung mittels transpulmonaler Thermodilution. Trotz methodischer Mängel zeigte sich bei einem Schwellenwert von 5% eine AUC von 0,93 bei einer Spezifität von 100% (Sensitivität 71%). Die AUC für die HZV-Bestimmung betrug 0,98. Die Autoren schließen daraus, bei nicht vorhandenem erweitertem hämodynamischem Monitoring wäre die CO<sub>2</sub>-Messung eine geeignete Alternative (57).

Zusammenfassend kann also durch ein positives PLR-Manöver (steigender arterieller Pulsdruck) die Auswirkung einer Volumengabe auf das Schlagvolumen bzw. Herzzeitvolumen orientierend abgeschätzt werden und damit bei eventuellen therapeutischen Konflikten hilfreich sein. Berücksichtigt werden muss der rasche transiente Effekt des Manövers, welcher bereits nach einer Minute abgeklungen sein kann.

Bei spontan atmenden Patienten muss allerdings die Gefahr der Aspiration, vor allen Dingen bei viszeralchirurgischen Patienten beachtet werden. Ebenso verbietet sich die Anwendung im kardiogenen Schock, bei intrakraniellen Blutungen bzw. bei erhöhtem Hirndruck.

Daten bezüglich eines erhöhten intraabdominellen Drucks liegen nicht vor.

Bei vorhandenem erweitertem hämodynamischem Monitoring (Herzzeitvolumen-, Schlagvolumenmessung) sollte dieses vorzugsweise mit einem Schwellenwert zwischen 8 bis 15% verwendet werden. Die Korrelation steigt mit Verwendung des erweiterten hämodynamischen Monitorings. Beatmung oder Arrhythmien hatten keinen relevanten Einfluss auf die Ergebnisse.



Im Rahmen des Basismonitorings kann die Blutdruckamplitude (oder Pulsamplitude) (systolischer minus diastolischer Druck) verwendet werden – als positive Vorhersage gilt eine Erhöhung von mindestens 9 bis 12%.

Empfehlung 1-7	GoR
Zur Diagnose eines Volumenmangels können volumetrische Vorlastparameter (ITBV / GEDV) verwendet werden.	0

### Erläuterung zur Empfehlung 1-7

Volumetrische Vorlastparameter können mittels transpulmonaler Thermodilution bestimmt werden. Aus dem per Thermodilution gemessenen HZV werden durch Multiplikation mit der mean transit time (MTt) und der down slope time (DSt) der transpulmonalen Temperatur-Zeit-Kurve das intrathorakale Thermovolumen ( $ITTV = HZV \times MTt$ ) sowie das pulmonale Thermovolumen ( $PTV = HZV \times DSt$ ) berechnet; die Differenz beschreibt das globale end-diastolische Volumen ( $GEDV = ITTV - PTV$ ). Das intrathorakale Blutvolumen wird aus dem GEDV anhand eines empirisch bestimmten Korrekturfaktors berechnet ( $ITBV = 1,25 \times GEDV$ ). Für die Messung werden ein spezieller Monitor sowie kalte Flüssigkeit – in der Regel 20 ml je Indikator-Injektion benötigt. Um den Variationskoeffizienten der Messung zu reduzieren werden meist mehrere Indikatorinjektionen je Mess-Zeitpunkt durchgeführt (104, 105). Die Messung kann weitgehend standardisiert durchgeführt werden. Typische Fehler wie zu geringes Injektatvolumen oder zu warmes Injektat werden vom Monitor angezeigt, so dass typische Ursachen eines zu geringen Signal-Rausch-Abstandes behoben werden können.

In mehreren kleinen Querschnittstudien wurde untersucht, inwieweit volumetrische Parameter eine Volumenreagibilität vorhersagen können. Als Referenztest wurde die Zunahme des Thermodilutions-HZV bzw. des Thermodilutions-SV auf eine definierte Volumengabe verwendet, wobei unterschiedliche Schwellenwerte für die Diagnose eines Volumenmangels verwendet wurden.

De Waal et al. untersuchten 22 Patienten während elektiver Koronarbypass-Operation und definierten Volumenreagibilität als Anstieg des Schlagvolumens (Thermodilutionsmessung) um  $\geq 12\%$  durch Infusion von 10ml/kg HES 6%. Laut ROC-Analyse waren GEDVI und ITBVI weder bei geöffnetem (AUC der ROC-Kurve (95%-KI): 0,756 (0,500; 1,011) für beide Parameter) noch bei wieder verschlossenem Thorax in der Lage, die Volumenreagibilität zu prognostizieren (AUC (95%-KI) für GEDVI: 0,700 (0,460; 0,940); für ITBVI: 0,682 (0,441; 0,923) (33).

Hofer et al. untersuchten 40 Patienten während „off pump“ Koronarrevaskularisierung und fanden, dass GEDVI und ITBVI die Volumenreagibilität des per Thermodilution gemessenen SV mit einer AUC unter der ROC-Kurve von 0,493 (95%-KI: 0,292; 0,688) nicht vorhersagen konnten. Allerdings verwendeten Hofer et al. mit  $\geq 25\%$  einen ungewöhnlich hohen Schwellenwert als Diagnosekriterium für Volumenreagibilität (45).

Trof und Mitarbeiter konnten an 32 Patienten nach großem Gefäßeingriff oder Koronarchirurgie auf der Intensivstation zeigen, dass die diagnostische Güte des GEDVI von der kardialen Funktion abhängt. Die Patienten wurden anhand der globalen Ejektionsfraktion ( $GEF = 0,25 \times SV / GEDVI$ ) stratifiziert. Lag die  $GEF \geq 20\%$ , konnte die Volumenreagibilität anhand des GEDVI vorhergesagt werden. Die AUC lag bei 0,72 (0,58; 0,83) bzw. 0,89 (0,78; 0,95) je nach verwendetem Schwellenwert für den HI-Anstieg (s.u.). Bei einer  $GEF < 20\%$  hingegen umschlossen die entsprechenden Konfidenzintervalle bei beiden Schwellenwerten den Wert 0,5. Als Schwellenwerte für die Volumenreagibilität wurden HI-Anstiege um  $\geq 10\%$  und um  $\geq 15\%$  analysiert. In beiden Patientengruppen lag die AUC zwar höher, wenn der höhere Schwellenwert verwendet wurde. Für Patienten mit einer  $GEF \geq 20\%$  lagen Sensitivität, Spezifität, positiver und negativer Vorhersagewert für den HI-Anstieg um  $\geq 10\%$  bei 82%, 56%, 42% und 89%, der GEDVI-Schwellenwert für die Diagnose der Volumenreagibilität betrug 890 ml/m<sup>2</sup>. Für den HI-Anstieg  $\geq 15\%$  lagen die entsprechenden Werte bei 71%, 94%, 63% und 93% und der GEDVI-Schwellenwert bei 623 ml/m<sup>2</sup> (75).

Huang et al. untersuchten die Volumenreagibilität von 22 Patienten im Frühstadium eines ARDS. Die AUC unter der ROC-Kurve lagen für GEDVI und ITBVI übereinstimmend bei 0,323. Somit konnte die Eignung beider Werte für die Diagnose des Volumenmangels bei ARDS-Patienten nicht bestätigt werden (46).

Indirekte Hinweise auf die Eignung des ITBVI zur Diagnose eines Volumenmangels ergeben sich aus einer Studie von Molnar et al., die durch HES- bzw. Gelatine-Infusion mit dem Ziel, den ITBVI auf  $> 900 \text{ mL/m}^2$  zu steigern, den HI und die  $\text{DO}_2$  signifikant verbessern konnten und zwar unabhängig vom verwendeten Kolloid (106).

Szakmany et al. verglichen eine ITBVI- mit einer ZVD-gesteuerten Volumentherapie bei Patienten während elektiver großer viszeralchirurgischer Operationen und fanden eine schwache aber signifikante Korrelation des ITBVI mit den Veränderungen des SVI. Daten zur diagnostischen Güte sind aber aus dieser Studie nicht ableitbar (107).

Zusammenfassend muss die Eignung der volumetrischen Parameter für die Diagnose eines Volumenmangels aufgrund der hier dargestellten Daten als eingeschränkt beurteilt werden. Alle angeführten Studien haben kleine Populationen eingeschlossen und zeigen eine geringe methodische Qualität. Allerdings werden die volumetrischen Parameter durch die S3-Leitlinie „Intensivmedizinische Versorgung Herzchirurgischer Patienten – Hämodynamisches

monitorung und Herz-Kreislauf-Therapie“ bezüglich der Einschätzung der kardialen Vorlast als dem ZVD und dem PAOP überlegen eingeschätzt (108). Die scheinbare Diskrepanz zwischen beiden Leitlinien ist auf die unterschiedliche Recherchestrategie zurückzuführen, und es ist aufgrund der unterschiedlichen Fragestellungen der beiden Leitlinien offenkundig, dass die Recherche zur Leitlinie „Intensivmedizinische Versorgung herzchirurgischer Patienten“ spezifischer war, als die Recherche zur vorliegenden Leitlinien in diesem Belang sein konnte. Ferner wurde im Rahmen der vorliegenden Leitlinie nicht hinsichtlich spezieller Patientenpopulationen recherchiert. Der geringe Umfang der uns vorliegenden Evidenz erlaubt weder die Eignung noch die fehlende Eignung volumetrischer Verfahren für die Diagnose des Volumenmangels zu bestätigen. Aufgrund dessen empfiehlt die Leitliniengruppe die volumetrischen Parameter mit dem niedrigsten Empfehlungsgrad.

Empfehlung 1-8	GoR
Die beatmungsinduzierte Variation des Schlagvolumens oder anderer dynamischer Vorlastparameter sollte zur Diagnose eines Volumenmangels / der Volumenreagibilität herangezogen werden.	B

### Erläuterung zur Empfehlung 1-8:

Der häufigste Beweggrund, einem Patienten einen Flüssigkeitsbolus zu verabreichen, ist die Erhöhung seines Schlagvolumens sowie des Herzzeitvolumens und damit Verbesserung des Sauerstoffangebots – sofern er sich auf dem ansteigenden Teil der Frank-Starling-Kurve befindet. Andernfalls würde die Volumenbelastung wenig Einfluss auf das Herzzeitvolumen haben und im Gegensatz, negative Effekte bewirken. Demzufolge ist es in der Versorgung von Patienten essentiell, die eventuelle Volumenreagibilität festzustellen:

In den letzten Jahren haben sich verschiedene dynamische Parameter herauskristallisiert, welche oft auf den Veränderungen der Pulscurve beruhen: „Pulse Pressure Variation“ (Pulsdruckvariation, PP-Var.) und „Systolic Pressure Variation“ (SPV) entstammen der Analyse der arteriellen Kurvenform, die Schlagvolumen-Variation (SVV) der Pulskonturanalyse.

Es gibt mehrere Methoden der Pulskonturanalyse: Die arterielle Pulskonturanalyse mittels der transpulmonalen Thermodilution setzt die stammnah abgeleitete arterielle Druckkurve mit dem Schlagvolumen des Herzens in Verbindung; Nach Kalibrierung der Pulskonturanalyse werden u.a. kontinuierlich die Schlagvolumen-Varianz (SVV) und die Pulsdruckvariation (PP-Var.) als weitere Parameter der Vorlast, das Pulskontur-HZV und der systemische Gesamtwiderstand

von Schlag zu Schlag abgeschätzt – eine Re-Kalibrierung kann alle 4-8 Stunden bzw. nach Änderungen der individuellen vaskulären Compliance notwendig sein. Dadurch kann kontinuierlich das end-diastolische Volumen gemessen, die systolische Funktion geschätzt, und das extravaskuläre Lungenwasser kalkuliert werden.

Das Verfahren der unkalibrierten Pulskonturanalyse basiert auf der Analyse der arteriellen Druckkurve, kombiniert mit einem individuellen Kalibrationsfaktor ( $\chi$ ), welcher von Patientenkriterien (so hängt die Arteriencompliance ab von Geschlecht, Alter, Körperoberfläche) und der Charakteristik der arteriellen Kurvenform (Neigung und Wölbung, begründet durch den peripheren Widerstand) abhängig ist. Das Herzzeitvolumen (HZV) und Schlagvolumen (SV) werden nach der Formel

$$\text{HZV} = \text{Pulsfrequenz} \times \text{SV} (\text{Pulsatility} \times \chi)$$

errechnet. „Pulsatility“ entspricht der Standardabweichung der arteriellen Druckkurve über ein bestimmtes Zeitintervall.

Die Gleichung beruht auf einer Datenbank, bestehend aus arteriellen Druckkurven und HZV-Vergleichswerten anhand von Thermodilutionsberechnungen. Die ersten Versionen der Software hatten große Probleme, das Herzzeitvolumen zuverlässig zu berechnen (beruhend auf zu wenigen humanen Daten). Mittlerweile gibt es zwischen beiden erhältlichen Plattformen (PICCO® und VolumeView®) nur noch sehr kleine Unterschiede in den Ergebnissen; beide Geräte können sowohl die kalibrierte (transpulmonale Thermodilution) als auch unkalibrierte Pulskonturanalyse durchführen. Die unkalibrierte Pulskonturanalyse scheint in großen Bereichen mit der Thermodilutionsmethode bzw. dem echokardiographisch bestimmten HZV zu übereinstimmen. Direkte Vergleichsstudien zwischen den Methoden sind selten und vor allen Dingen aus der Kardiochirurgie; hier zeigen sich aber divergierende Ergebnisse mit teilweise niedrigen Korrelationskoeffizienten, so dass eine abschließende Beurteilung als alleiniger Referenzwert schwierig ist – die transpulmonale Thermodilution scheint jedoch einen besseren Vorhersagewert als das unkalibrierte Verfahren der Pulskonturanalyse zu erreichen (86). Limitierend schienen am Beginn v. a. Dingen der unkalibrierten Pulskonturanalyse die Verwendung insuffizienter Datenbanken bzw. Variablen, dieses Problem ist aber nun durch Einschluss größerer Referenzmengen gelöst.

Physiologisch liegt der Pulskonturanalyse die Veränderung der Pulskurve in der kontrollierten Beatmung mit intermittierenden Schwankungen der biventrikulären Vorlast zugrunde, welche in Abhängigkeit vom Volumenstatus bei In- und Expiration unterschiedlich reagiert. Dies führt zu deutlichen Variationen des systolisch-arteriellen Drucks (SPV), den klinisch bekannten Undulationen der arteriellen Druckkurve am Monitor; je höher das Tidalvolumen, umso besser ist die Bewertung möglich (mindestens 8ml/kgKG). Spontanatmung lässt nur eine sehr reduzierte Verwendung der errechneten Werte zu (62).

Im Gegensatz zur PP-Var. und SVV wird jedoch die SPV häufig manuell bestimmt und führt deswegen zu weniger reliablen Ergebnissen als die direkt digital in Echtzeit errechneten Werte – welche ursächlich für die Ausprägung der SPV sind.

Normalerweise befindet sich der Schwellenwert zur Volumenreagibilität bei allen Parametern zwischen 11 und 13%. Eine gering verminderte Herzleistung ( $EF > 40\%$ ) hatte keinen Einfluss auf die Aussagekraft der Variablen, jedoch vermindern Arrhythmien, größere Klappendefekte, intraabdominelle Hypertension, ARDS/Rechtsherzversagen und intrakardiale Shunts die Zuverlässigkeit der Parameter. Durch hohe Vasopressor-Dosierungen kann zusätzlich die arterielle Compliance verändert werden.

Khwannimit et al. verwendeten bei 42 septischen, internistischen, kontrolliert beatmeten Patienten die dritte Generation der Software (V3.01) der unkalibrierten Pulskonturanalyse, um die Schlagvolumenvarianz als Prädiktor für Volumenreagibilität zu berechnen: Bei einem Schwellenwert von 10% war die AUC (0,92) vergleichbar mit der berechneten PP-Var., einem auf mathematischen Berechnungen beruhenden automatisierten Verfahren. Die PP-Var. erreichte bei einem Schwellenwert von 12% fast die gleiche AUC (0,916) bei  $p < 0,001$  (47). Cannesson et al. untersuchten bei 25 kardiochirurgischen beatmeten Patienten die Vorhersagekraft von Schlagvolumenvarianz, PP-VAR. und Herz-Index: Es fanden sich für PP-Var. und SVV ähnliche AUC, nämlich 0,871 bzw. 0,857, für HI jedoch nur 0,298 und für den zentral-venösen Druck 0,533. Interessanterweise äußert Cannesson die Vermutung, dass trotz der unterschiedlichen Software-Algorithmen bei der Bestimmung der Schlagvolumenvarianz die Schwankungen dennoch eine sehr gute Korrelation zum Volumenstatus hätten, egal wie inkorrekt das SV bzw. das HZV berechnet würde – da sie ja in Relation zur jeweiligen Pulskonturanalyse ständen (21).

Zhang et al. fanden in einem systematischen Review mit 568 Patienten eine AUC von 0,84 für die SVV heraus bei einer Sensitivität von 81% bzw. einer Spezifität von 80%, der durchschnittliche Schwellenwert lag bei rund 10%; beeinträchtigt wird das Review durch die große Heterogenität der eingeschlossenen Studien (86).

Yang und Du untersuchten bei 807 Patienten in 22 Studien die Aussagekraft der PP-Var.: Alle Patienten waren mit einem Tidalvolumen von mehr als 8ml/kg beatmet und wiesen keine Arrhythmien auf. Die Spezifität betrug 89%, die Sensitivität 88% (AUC 0,94) - im Gegensatz zu anderen vorherigen Metaanalysen im Hinblick auf das perioperativen Setting, welche oft eine niedrigere AUC berichten. Der Schwellenwert für PP-Var. betrug durchschnittlich 12% (109).

Suehiro et al. verglichen zwei unterschiedliche Tidalvolumina bei 73 einseitig ventilierten Patienten in Bezug auf die Vorhersagekraft (in Bezug auf Volumenbedarf) der SVV mittels unkalibrierten Verfahrens der Pulskonturanalyse: Bei einem Tidalvolumen von 8ml/kgKG

erreichte der cut-off von 10% eine AUC von 0,776 bei einer Sensitivität von 85,7% und einer Spezifität von 66,7%. In der zweiten Gruppe mit einem Tidalvolumen von 6ml/kgKG erreichte auch ein niedrigerer cut-off von 8% keine ausreichende statistische Güte. Ursächlich könnte der niedrigere Unterschied im transpulmonalen bzw. pleuralen Druck sein (74). Bereits 2010 hatte die gleiche Gruppe, ebenfalls bei 30 einseitig ventilierten Patienten, als optimalen Vorhersagewert eine SVV von 10,5% mit einer AUC von 0,90 berechnet. Die Studiendaten an sich waren jedoch sehr inkohärent bzw. nicht ausreichend validiert (73).

Yang et al. (2013) konnten bei 79 elektiven, chirurgischen Patienten eine gute Korrelation der PP-Var., verglichen mit der korrigierten Flußzeit (echokardiographisch ösophageal gemessen, FTc) aufzeigen: Die AUC betrug 0,935 (Schwellenwert 15%) respektive 0,822 für die FTc. Auffallend war die signifikant ( $p=0,014$ ) bessere Vorhersagekraft der PP-Var. in Bauchlage (AUC 0,969) im Gegensatz zur FTc (AUC 0,846) (83). Bei 60 kardiochirurgischen Patienten verglichen Yagizi et al. die PP-VAR. mit dem ZVD und pulmonalen Wedge-Druck (PAOP) als Prädiktor einer Volumenexpansion mit 7ml/kg KG HES: Weder der ZVD (0,43) noch der pulmonalarterielle Verschlussdruck (PAOP) (0,42) erreichten die AUC der PP-Var. (0,85, Schwellenwert 11,5%), gemessen an der Schlagvolumenveränderung mittels PAK (84).

Bei 35 beatmeten und katecholaminpflichtigen Patienten im akuten Leberversagen untersuchten Audimoolam et al die Vorhersagekraft von SV und PPV: In Korrelation zu einem Anstieg des HI um 15% nach der Fluid challenge erreichte die PP-Var. eine AUC von 0,75 (Schwellenwert 9%); die SVV erreichte kein Signifikanzniveau. Dies lag womöglich auch an dem hohen Anteil von Patienten mit intraabdomineller Hypertension – hierdurch kommt es zu verminderten Bewegungen des Brustkorbs und erhöhten pleuralen Drücken, welche die Algorithmus-basierte Berechnung der SVV beeinflussen (110).

Die reduzierte Vorhersagekraft der SVV (mittels kalibrierter Pulskonturanalyse) bei 30 intubierten, aber spontan atmenden septischen Patienten konnten Perner et al. gut herausarbeiten: Hier ergab sich auch in der multi-variaten Analyse keine ausreichende AUC (0,52-0,64) für die Schlagvolumenvariation: Möglichkeiten der Optimierung wären womöglich die Verlängerung der 30-sekündlichen SVV-Mittelung oder die Berechnung der SVV in einem einzigen Atemzyklus (62).

In einem Review konnten Chaves et al 2018 zeigen, daß auch bei spontan atmenden Patienten alle dynamischen Vorlastparameter in 15 Studien mit 649 Patienten (Intensiv, Notaufnahme, Thoraxchirurgie) gute bis sehr gute Vorhersagequalitäten besitzen: Während bei Patienten ohne Atemunterstützung die systolische Blutdruckvariation in Kombination mit einem Valsalva-Manöver eine AUC von 0,98 erreichte, war dies bei vorhandener Atemunterstützung die Schlagvolumenvariation in Kombination mit einem PLR-Manöver (AUC 0,96). Auffällig war auch in dieser Publikation, daß nur gut die Hälfte der Patienten (52%) eine tatsächliche Volumenreagibilität vorwiesen (111).

Empfehlung 1-9	GoR
Bei Intensivpatienten kann zur Untersuchung des Volumenstatus eine transthorakale Echokardiographie (102) erfolgen.	0

### Erläuterung zur Empfehlung 1-9

Vorteile der transthorakalen Echokardiographie sind die schnelle Verfügbarkeit und Non-Invasivität. Allerdings ist das Verfahren stark untersucherabhängig und nicht als kontinuierliches Verfahren einsetzbar. Prinzipiell kann man durch den semiquantitativen Füllungszustand der rechten und linken Herzhöhlen Rückschlüsse auf den Volumenstatus ziehen, allerdings sind bei schiefer Anlotung die Parameter zur Bestimmung einer Hypovolämie ungenau (112). Insbesondere beim Aufeinandertreffen der Ventrikelwände („kissing ventricles“) ist jedoch von einem Volumenmangel auszugehen.

Mandeville et al. identifizierten in einer systematischen Übersichtsarbeit 8 Studien die die transthorakale Echokardiographie im Hinblick auf Vorlast und Volumenreagibilität untersuchten. Die Autoren fanden eine gute Diskrimination zwischen Volumen-Respondern und Non-Respondern mittels TTE. Allerdings konnte aufgrund der ausgeprägten Heterogenität der Studien (u. a. 3 verschiedene TTE-basierte Techniken) keine Metaanalyse durchgeführt werden. Zudem wurden größtenteils nichtbeamtete Patienten ohne Vergleich mit Thermodilutionstechniken untersucht (53). In einem aktuellen systematischem Review von Wetterslev et al. wurde keine Studie identifiziert, die die transthorakale Echokardiographie mit invasiv gemessenen Werten (HZV oder SV) durch Pulmonalarterienkatheter oder transpulmonale Thermodilution, im Hinblick auf die Diagnose eines Volumenmangels, verglich (113).

Bestehende Leitlinien:

Die American Heart Association wertet den Einsatz der transthorakalen Echokardiographie zur Beurteilung des Volumenstatus bei kritisch kranken Patienten als „Uncertain“ mit mittlerem Empfehlungsgrad (U5) (114).

Empfehlung 1-10	GoR
Bei Patienten mit unklarer hämodynamischer Instabilität (insbesondere wenn eine kardiale Ätiologie vermutet wird) soll eine Echokardiographie durchgeführt werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 1-10

Mittels der Echokardiographie kann beim Patienten mit unklarer hämodynamischer Instabilität eine Vielzahl von relevanten Differenzialdiagnosen (Perikarderguss und -tamponade, akute Rechtsherzbelastung als Hinweis für eine Lungenarterienembolie, eingeschränkte Pumpfunktion, Klappenvitium, etc.) eingegrenzt werden. Insbesondere beim kardiogenen Schock sind TTE und TEE essentieller Bestandteil der Diagnostik (115).

Bestehende Leitlinien:

Die American Heart Association wertet den Einsatz der transthorakalen Echokardiographie bei Patienten mit Hypotension oder hämodynamischer Instabilität mit unklarer Ursache als „Appropriate“ mit höchstem Empfehlungsgrad (A9) (114).

In der S3-Leitlinie „Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung“ wird ausgeführt, dass die Echokardiografie bei kreislaufinstabilen Patienten mit Polytrauma durchgeführt werden sollte, um eine Perikardtamponade oder eine Herzbeutelruptur zu diagnostizieren. Dabei sollte die transthorakale Echokardiografie die Methode der Wahl darstellen (116).

In der S3-Leitlinie „Infarkt-bedingter kardiogener Schock - Diagnose, Monitoring und Therapie“ wird ausgeführt, dass bei Patienten mit Infarkt-bedingtem kardiogenem Schock die transthorakale Echokardiographie unverzichtbar ist und baldmöglichst nach Aufnahme des Patienten durchgeführt werden sollte. Die Echokardiographie ermöglicht u. a. die Bewertung der globalen und regionalen Pump- und Klappenfunktion des linken und rechten Ventrikels, sowie die Detektion akuter Komplikationen des Myokardinfarkts wie Ventrikelruptur, Ventrikelseptum-Defekt oder Papillarmuskel-Abriss (94).

In der S3-Leitlinie „Intensivmedizinische Versorgung herzchirurgischer Patienten, Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf“ wird 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, die Echokardiographie zur Diagnosesicherung in der peri-operativen Periode empfohlen, da sie sinnvoll sei und das klinische Outcome verbessere (GoR B) (95).



Empfehlung 1-11	GoR
Die sonographische Messung der Vena cava inferior kann bei Intensivpatienten zur Diagnose eines Volumenmangels durchgeführt werden.	0

### Erläuterung zur Empfehlung 1-11

Die bettseitige sonographische Größenbestimmung der Vena cava inferior direkt unterhalb des Diaphragmas kann grundsätzlich auf eine Hyper- oder Hypovolämie hinweisen (18, 31, 38). Der Diameter der Vena cava inferior wird durch den Atemzyklus, Blutvolumen und die Rechtsherzfunktion beeinflusst. Beachtet werden muss, dass die sonographische Größenbestimmung der Vena cava ein indirekter Indikator des ZVDs ist und daher den gleichen Limitationen unterliegt, zum Vorteil gereicht aber die mögliche Anwendung bei kardialen Arrhythmien. Die korrekte Messposition ist 1cm caudal des hepatischen Venenconfluens.

Die meisten älteren Studien wurden bei beatmeten Patienten mit Sepsis durchgeführt. Eine 2012 publizierte Metaanalyse identifizierte jedoch fünf prospektive Studien, die bei spontan atmenden Patienten den Diameter der Vena cava inferior zur Beurteilung des Volumenstatus untersuchten. Der maximale Diameter des Gefäßes war bei hypovolämischen Patienten signifikant niedriger als bei Patienten mit euvolämischem Status (mittlere Differenz; 95%-KI 6,3 mm, 6,0-6,5 mm) (117).

In 2013 analysierte Zhang 8 Studien mit kleinen Patientenzahlen und kam zu dem Ergebnis, daß die diagnostische Güte bei beatmeten Patienten im Hinblick auf einen Schwellenwert von 12 bis 40% Kollabierbarkeit eine Sensitivität von 76% erreichte. Auch hier waren die Studien sehr heterogen.

Preau et al untersuchten 90 nicht beatmete septische Patienten in Abhängigkeit des Cava-Kollapses: Bei einer mittels buccaler Druckmessung standardisierten Inspiration und einem Kollabierneigungs-Index von mindestens 48% während einer standardisierten Inspiration konnte eine Sensitivität von 84% und eine Spezifität von sogar 90% erreicht werden (AUC 0,89). Eine end-expiratorischer Diameter der VCI von weniger als 13mm ließ wenigstens auch eine Spezifität von 90% zu (118).

Long et al berichten in einem systematischen Review über 533 Patienten in 17 Studien, welche sowohl beatmet als auch spontan-atmend waren: Bei einem Schwellenwert von 16% (Distension, beatmet) und 42% (Kollaps, nicht beatmet) erreichte die Messung eine AUC von 0,79 sowie eine Spezifität von 73%. Die niedrige Sensitivität von 63% beweist jedoch, daß ein

unauffälliger Ultraschall der Vena cava inferior eine Volumenreagibilität nicht ausschließen kann (119).

Insgesamt gibt es eine moderate Evidenz dafür, dass bei hypovolämischem Status das Gefäß einen geringeren Durchmesser und eine größere Neigung zum Kollaps als bei euvolämischem Status aufweist. Die Sonographie der Vena cava ist schnell durchführbar, nichtinvasiv und einfach zu erlernen. Die Untersuchung kann mit der transthorakalen Echokardiographie kombiniert werden.

Grundsätzlich weisen also starke atemabhängige Variationen des Gefäßdurchmessers auf eine Hypovolämie hin.

## Kapitel 2: Therapie in der Nüchternphase

Zugrunde liegende Literatur. (120-123)

Empfehlung 2-1	GoR
Prä-interventionell bestehende Volumendefizite sollten prä-interventionell ausgeglichen werden.	0

### Erläuterung zur Empfehlung 2-1

Evidenzbasierte Aussagen zur präoperativen Flüssigkeitstherapie im Allgemeinen sind aufgrund fehlender direkter Evidenz zu Effekten auf die Letalität nicht möglich [52]. Vereinzelt Hinweise auf eine geringere PONV-Rate durch präoperative Flüssigkeits-substitution (120), ein geringeres Ausmaß der Dehydratation bei präoperativen Abführmaßnahmen (123), auf den Leberblutfluss oder auf andere hämodynamische Parameter (121), lassen jedoch keine starke Empfehlung zu. Daten einer retrospektiven Studie aus 2018 mit 184 Patienten lassen vermuten, dass eine präoperative Dehydratation mit einem postoperativen akuten Nierenschaden vergesellschaftet sein kann (124). Bei herzchirurgischen Patienten mit „moderate-to-severe“ Niereninsuffizienz ( $GFR < 45 \text{ ml/min}$ ) wurde in einer kleinen randomisierten Studie (45 Patienten) beobachtet, dass eine präoperative intravenöse Hydratation die Rate an akuter Nierenschädigung (acute kidney injury), postoperativer Dialysepflichtigkeit und den postoperativen Anstieg des Kreatininwertes verbesserte (125). Eine Analyse der NSQIP Datenbank aus den Jahren 2005 bis 2011 kommt zu dem Ergebnis, dass in der Kolorektalchirurgie eine Dehydration vor der Operation ein häufiger Zustand ist. Eine präoperative Dehydratation war mit erhöhten Raten an postoperativen akutem Nierenversagen, Myokardinfarkten und Herzstillstand verbunden (126).

Dennoch erscheint es überaus plausibel, bestehende Defizite unverzüglich auszugleichen, d.h. im Falle prä-interventioneller Defizite wird eine prä-interventionelle Flüssigkeitstherapie als sinnvoll erachtet. Hierbei muss in Betracht gezogen werden, dass sämtliche Studien zur ziel-orientierten Hämodynamik-Therapie, zur Vorlast-Optimierung durch PLR oder Volumenexpansion letztlich auf den Ausgleich einer Differenz zwischen Ist-Zustand und Optimum abzielen – also auf die Behebung eines Defizites. Die durchweg positiven Ergebnisse dieser Studien sowie das Fehlen jeglichen Hinweises auf einen benefiziellen Effekt einer verzögerten Behandlung wurden von der Leitliniengruppe als starke indirekte Evidenz für einen unverzüglichen Ausgleich bestehender Defizite bewertet.

Die Volumentherapie in der prä-interventionellen Nüchternphase ist in den letzten Jahren im Rahmen des Fast-Track-Konzeptes stark in den Fokus des Interesses gerückt. Allerdings hat die systematische Literaturrecherche zur vorliegenden Leitlinie nur wenige Studien zum Vorgehen bei der sogenannten Fast-Track-Chirurgie erbracht, so dass eine evidenzbasierte Beurteilung der Volumentherapie in der Nüchternphase auf der Basis der hier verwendeten Publikationen nicht möglich ist. Den positiven Ergebnissen des Fast-Track-Konzeptes wird durch das o.g. Statement keineswegs widersprochen. Allerdings geht das Fast-Track-Konzept weit über die präoperative Flüssigkeitstherapie hinaus, und die Effekte der Flüssigkeitstherapie sind nie separat untersucht worden. Daher ist es im Sinne der vorliegenden Leitlinie methodisch richtig, aus diesen Studien keine Empfehlungen zur prä-interventionellen Flüssigkeitstherapie abzuleiten.

## Kapitel 3a: Unterschiede zwischen Kolloiden und Kristalloiden bei peri-interventionellen Patienten

Zugrunde liegende Literatur: (43, 127-175)

Statement S-2	GoR
Der periinterventionelle Einsatz von 6% HES 130/Gelatine/Albumin ist nicht mit einer periinterventionellen Nierendysfunktion assoziiert.	---

### Erläuterung zum Statement S-2

Durch den peri-interventionellen Einsatz von Kolloiden, Hydroxyethylstärke, Albumin und Gelatine versus Kristalloide als Volumenersatz konnte keine mit diesen Volumenersatzlösungen assoziierte Nierendysfunktion gefunden werden. Das konsentrierte Statement beruht maßgeblich auf der aktuellsten zu dieser Fragestellung vorliegenden Übersichtsarbeit, in die aus insgesamt 17 klinischen Studien Daten zur Nierendysfunktion eingegangen sind (154).

Sondervotum der DGTHG:

Zu dieser Empfehlung legten die DGTHG-Vertreter folgendes Sondervotum ein (Änderung zur obigen Empfehlung in Kursivschrift):

„Der periinterventionelle Einsatz von *Gelatine/Albumin* ist nicht mit einer periinterventionellen Nierendysfunktion assoziiert.

*Für 6% HES 130 liegen diesbezüglich widersprüchliche Ergebnisse vor, die eine eindeutige Aussage nicht zulassen.*

Begründung: Die als Literaturverweis 15 zitierte Übersichtsarbeit von Martin et al. stammt aus dem Jahr 2013. Eine gleichfalls 2013 publizierte Übersichtsarbeit, die jedoch von der Leitliniengruppe nicht berücksichtigt wurde (Mutter TC, et al.: Hydroxyethyl starch (HES) versus other fluid therapies: effects on kidney function. Cochrane Database Syst Rev. 2013), schlussfolgert etwas anderes: „*The current evidence suggests that all HES products increase the risk in AKI and RRT in all patient populations and a safe volume of any HES solution has yet to be determined. In most clinical situations it is likely that these risks outweigh any benefits, and alternate volume replacement therapies should be used in place of HES products.*“

In einer weiteren Übersichtsarbeit aus dem Jahr 2013, die sich allerdings nur auf die Patientenpopulation der kritisch Kranken bezieht und im Literaturverzeichnis der Leitlinie als Nr. 16 aufgeführt ist, wird als Schlussfolgerung konstatiert: „*hydroxyethyl starch was associated with a significant increases risk of mortality and acute kidney injury. Clinical use of hydroxyethyl starch for acute volume resuscitation is not warranted due to serious safety concerns.*“

Empfehlung 3a-1	GoR
Bei der peri-interventionellen Therapie der akuten Hypovolämie können außer kristalloiden Lösungen auch kolloidale Lösungen (6% HES130 und Gelatine) als Volumenersatz verwendet werden.	0

### Erläuterung zur Empfehlung 3a-1

Die Gabe von 6%HES 130 und Gelatine als Kolloide im Vergleich zu Kristalloiden als Volumenersatz wurden in zwei Metaanalysen systematisch untersucht. Gattas et al. (138) analysierten 1608 Patienten aus 25 Studien und Martin et al. (154) 1230 Patienten aus 17 Studien. In beiden systematischen Reviews konnte gezeigt werden, dass derzeit keine nachweisbare Assoziation zwischen der Applikation von HES 130/0,4 und Gelatine mit einer erhöhten Morbidität oder Letalität besteht. Auch waren insbesondere keine Veränderungen von Serum-Kreatinin und kalkulierter Kreatinin Clearance oder in der Inzidenz von Akutem Nierenversagen im peri-interventionellen Bereich vorhanden. Dies konnte in einer aktuellen Studie von Marx et al. bestätigt werden, in der die perioperative Applikation von Gelatine bei abdominal-chirurgischen Patienten untersucht hat (176) Marx et al (2019). Einschränkend ist zu erwähnen, dass in den vorliegenden Studien eine kurze Nachbeobachtungszeit durchgeführt wurde. In einer jüngst publizierten Multizenterstudie (Futier et al. 2020) kann für Hochrisikopatienten nach großem abdominal-chirurgischem Eingriff und hohem Risiko für eine postoperative Niereninsuffizienz ergänzt werden, dass die Verwendung von HES 6% zur Volumenersatztherapie im Vergleich zu 0,9%iger Kochsalzlösung zu keinem signifikanten Unterschied im kombinierten Endpunkt von Tod oder größeren postoperativen Komplikationen innerhalb von 14 Tagen nach der Operation geführt hat.

Empfehlung 3a-2	GoR
Beim peri-interventionellen Volumenersatz sollen balancierte kristalloide bzw. balancierte kolloidale Lösungen verwendet werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 3a-2

Maßgeblich für die Empfehlung der Verwendung balancierter Lösungen waren neben der Beeinflussung von einer Reihe als „Surrogate“ bezeichneten Endpunkte auch insbesondere die als gesichert angesehene Assoziation von Hyperchlorämie und Azidose mit negativen Auswirkungen auf Sterblichkeit und andere Endpunkte (wie z.B. Infektion, Nierendysfunktion)

(171, 177-179). Diese Studien analysierten die differenziellen Effekte balanzierter versus unbalanzierter Lösungen allgemein, sowohl bei kristalloiden als auch kolloidalen Lösungen.

Marx et al (2019) untersuchten in einer prospektiven, randomisierten und verblindeten Multicenterstudie ein balanciertes Behandlungsregime (4% balanzierte Gelatine und balanzierte Vollelektrolytlösung) versus ein unbalanciertes Behandlungsregime (4% Gelatine in 0,9% NaCl und NaCl 0,9% als Kristalloid) intraoperativ bei abdominalchirurgischen Patienten und auch postoperativ intensivmedizinisch. Es zeigten sich signifikante Unterschiede im Base Excess und Serumchloridkonzentrationen (176).

Die Änderung des Empfehlungslevels (von GoR B auf GoRA) trägt dem Umstand Rechnung, dass in Hinblick auf den Endpunkt Sterblichkeit keine Studien verfügbar sind, diese aber auch aufgrund der benötigten hohen Patientenzahlen wahrscheinlich nicht durchgeführt werden. Andererseits sind den zusammenfassenden Analysen zu den anderweitigen Endpunkten jenseits der Sterblichkeit so überzeugend, dass die Leitliniengruppe die Empfehlung zur Verwendung balanzierter Lösungen auf GoRA konsentiert.

Empfehlung 3a-3	GoR
Zur intraoperativen Optimierung hämodynamischer Parameter können zum Preloading vor Spinalanästhesie künstliche kolloidale Lösungen (6% HES130/Gelatine) verwendet werden.	0

### Erläuterung zur Empfehlung 3a-3

Zu dieser Fragestellung existieren eine Vielzahl von randomisiert kontrollierten Studien mit einer kleinen Anzahl untersuchter Patienten mit unterschiedlichem Studiendesign [62-65]. Daher ist keine Aussage zu patientenrelevanten Endpunkten aus den Studien ableitbar. Zudem muss einschränkend bei jeglichem Vergleich berücksichtigt werden, dass die Fragestellung nach einer am besten geeigneten „Volumentherapie“, insbesondere unter Berücksichtigung des PICO-Prinzips, nicht ohne ein definiertes Ziel durchgeführt werden kann. Vor dem Hintergrund der ausgesprochen dürftigen Datenlage, kann jedoch trotz Fehlen einer Differenz in der Mortalität mitnichten eine Gleichwertigkeit der Substanzen angenommen bzw. bewiesen werden. Folglich konsentiert die Leitliniengruppe eine Aussage, die diesen Umstand verdeutlicht und gibt eine „kann“ Empfehlung (GoR 0) zur gleichberechtigten Erwägung der verfügbaren künstlichen Kolloide zum Preloading vor Spinalanästhesie zur intraoperativen Optimierung hämodynamischer Parameter.

Empfehlung 3a-4	GoR
Zur Vermeidung von Hypotonien im Rahmen der Spinalanästhesie zur Sectio caesarea sollten bei einem Preloading kolloide Lösungen verwendet werden.	B

### Erläuterung zur Empfehlung 3a-4

Auf der Grundlage neuerer Literatur hat sich eine neue Evidenzlage entwickelt. Es ist weiterhin zu bedenken, dass in der besonderen Situation der Schwangeren und Stillenden der potentielle Benefit der Mutter zum Risiko für den Feten sorgfältig abgewogen werden muss. Daten zum fetalen Transfer von synthetischen oder natürlichen Kolloiden sind nicht vorhanden. Die Leitliniengruppe hat in der Abwägung eines theoretischen potentiellen Risiko beim Feten durch einen Transfer von synthetischen oder natürlichen Kolloiden gegenüber des nachgewiesenen Risikos der hämodynamischen Instabilität bei der Mutter mit potentiellen Risiken für den Feten durch Hypotonie und Hypovolämie die Empfehlung 4a-4 deutlich geändert und die Empfehlung 4a-5 und ein neues Statement hinzugefügt.

Die Applikation von Infusionslösungen zur Prophylaxe einer durch die Spinalanästhesie bedingten Hypotension ist weit verbreitet (180) und zumindest für einige Lösungen bzw. Interventionsmodi in ihrer Wirksamkeit belegt (181). Grundsätzlich kann die Infusion vor Durchführung der Spinalanästhesie („Prähydratation“ bzw. „Preloading“) oder während bzw. unmittelbar nach Anlage der Spinalanästhesie („Kohydratation“ bzw. „Coloading“) erfolgen.

Bezüglich der zu applizierenden Lösungen besteht grundsätzlich die Wahl zwischen kolloidalen und kristalloiden Lösungen zu den oben genannten Zeitpunkten bzw. oben beschriebener Modi. Bei globaler Betrachtung der beiden Lösungen ist der Vorteil kolloidaler Lösungen unstrittig (182, 183). In einem rezenten Cochrane Review ergab sich für den Vergleich Kristalloid vs. Kontrolle im Rahmen der Prävention der maternalen Hypotension an 370 Patientinnen in 5 klinischen Studien nur ein relativer Effekt von 0,84 (95% Konfidenzintervall: 0,72 bis 0,98) [174]. Dagegen zeigte sich im Vergleich Kolloid versus Kristalloid bei gleichem Endpunkt (Vermeidung der maternalen Hypotension, die einer Therapie bedurfte) ein relativer Effekt zugunsten der Kolloidapplikation von 0,68 (95% Konfidenzintervall: 0,58 bis 0,80) [174]. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt eine weitere systematische Übersichtsarbeit zu diesem Thema, die an 11 Studien unter Einschluss von 990 Patienten eine signifikante Reduktion der Inzidenz der Hypotensionen bei Einsatz von Kolloiden gegenüber Kristalloiden mit einem relativen Risiko von 0,7 (95% Konfidenzintervall: 0,53 bis 0,92) feststellte [175]. In dieser Analyse ergab sich für den Endpunkt „Vermeidung



von Übelkeit und Erbrechen“ darüber hinaus ein relatives Risiko von 0,75 (95% Konfidenzintervall: 0,41 bis 1,38 zugunsten der Verwendung von Kolloiden.

Kristalloide Lösungen sind wegen ihrer kurzen intravasalen Verweildauer als Prähydratation im Hinblick auf das Auftreten und die Schwere einer Hypotension nicht geeignet und Kolloiden unterlegen (184, 185).

Unter Berücksichtigung der Lösung und des Applikationsmodus zeigt sich beim Vergleich von kristalloider mit kolloidaler Kohydratation auf das mütterliche Herzzeitvolumen und den Vasopressorbedarf ebenso wie beim Vergleich von kristalloider Kohydratation mit kolloidaler Prähydratation hinsichtlich der Inzidenz der mütterlichen Hypotension kein statistisch signifikanter Unterschied (186, 187). Insofern scheinen Lösungen und der Modus der Applikation nicht strikt voneinander zu trennen. Diese Erkenntnis ist ebenfalls die Rationale für die neue Gliederung hin zu zwei Empfehlungen.

Entscheidend für eine wirksame Prävention der mütterlichen Hypotension scheint das tatsächliche Vorliegen eines zusätzlichen intravasalen Volumens unmittelbar nach Anlage bzw. Wirksamwerden der Spinalanästhesie zu sein. Dies bedeutet, dass bei der Kohydratation mit kristalloiden Lösungen ein Volumen von 1-1,5 Litern innerhalb weniger Minuten verabreicht werden müsste. In den dieser Schlussfolgerung zugrundeliegenden Studien wurde beispielsweise das Volumen von z.B. 1000 ml mitunter über einen Zeitraum von nur 5 Minuten appliziert, was einer Infusionsgeschwindigkeit von 200ml / Minute entspricht. Diese ist beispielsweise mit einem G18 Infusionszugang, für den üblicherweise Durchflussraten von ca. 100 ml/ Minute angegeben werden, nicht realisierbar und setzt die konsequente Anlage zweier Infusionszugänge mit entsprechendem Durchmesser voraus.

Kolloide erscheinen gerade bei nicht punktgenauer und aggressiver Applikation besser geeignet, die mütterliche Hypotension nach Spinalanästhesie zur Sectio caesarea zu vermeiden. Wegen der längeren intravasalen Verweildauer, nach 30 min ist noch 100 % des infundierten Volumens im Gefäßsystem nachweisbar, (167), scheint der Zeitpunkt der Kolloid-Applikation keinen signifikanten Einfluss auf Inzidenz und Schwere der Hypotension zu haben. Mehrere Studien zeigten vergleichbare Effekte der kolloidalen Lösungen unabhängig vom Infusionszeitpunkt (188-191), auch wenn bestimmte maternale Outcomes (wie z.B. das Herzzeitvolumen) divergierten (191).

Eine praktikable Alternative im Vergleich zu der ambitionierten Applikation von 1000 ml über 5 Minuten scheint die kombinierte Applikation von 500 ml kolloidalem Preoload mit einem 500 ml umfassenden Coload zu sein (192).

Die Bedenken bzw. kindlicher Effekte in der vorangehenden Version der Leitlinie wurde aufgrund langjähriger Anwendungserfahrung sowie des fehlenden Nachweises von HES-Molekülen im Nabelschnurblut nicht aufrechterhalten (193). Nicht zuletzt auch unter Berücksichtigung des nützlichen Effektes der Hypotensionsvermeidung auf das neonatale Outcome (194).

Obwohl insgesamt eine verminderte Inzidenz von mütterlichen Hypotensionen durch den rationalen Einsatz von Infusionslösungen im Rahmen der Spinalanästhesie zur Sectio caesarea gezeigt wurde, kann das Auftreten durch die alleinige Infusionstherapie nicht sicher verhindert werden. In nahezu allen neueren Untersuchungen war ein zusätzlicher Vasopressoreinsatz zur Restitution des mütterlichen Blutdrucks notwendig. Das Verzögern eines Regionalanästhesieverfahrens zur Sectio caesarea mit dem Ziel einer prähydrierenden Volumentherapie wird folglich nicht empfohlen. Gleichwohl der engagierte Einsatz mit Anstreben oben genannter Infusionsvolumina gemäß den konsentierten Empfehlungen, wenn immer dies zeitlich realisierbar ist.

Empfehlung 3a-5	GoR
Zur Vermeidung von Hypotonien im Rahmen der Spinalanästhesie zur Sectio caesarea sollten bei einem Coloadung kristalloide und/oder kolloidale Lösungen verwendet werden.	B

## Kapitel 3b: Unterschiede zwischen Kolloiden und Kristalloiden bei ICU-Patienten

Zugrunde liegende Literatur: (14, 138, 139, 195-214)

Statement S-3	GoR
Aufgrund fehlender Daten zur Unbedenklichkeit für das Kind bei der Sectio caesarea ist keine Aussage zur Nutzen-Risiko-Abwägung über den Einsatz oder Verzicht kolloidaler oder kristalloider Lösungen möglich.	---

Empfehlungen 3b-1, 3b-2, 3b-3	GoR
Der Volumenersatz beim Intensivpatienten sollte mit kristalloiden Lösungen erfolgen.	B
HES soll bei Intensivpatienten nicht verwendet werden.	A
Wenn eine akute Hypovolämie allein mit Kristalloiden nicht ausreichend therapiert werden kann, können darüber hinaus Gelatine und Humanalbumin zum Einsatz kommen.	0

### Erläuterung zu den Empfehlungen 3b-1, 3b-2, 3b-3

Die Gabe von Kristalloiden bei kritisch kranken Intensivpatienten war im Vergleich zu HES als Kolloid in mehreren randomisierten, kontrollierten Studien mit weniger renal Dysfunktion (VISEP/CHEST) (200, 208) und besserem Überleben (6S) (210) assoziiert (139).

Trotz der methodischen Limitationen dieser Studien, die den GoR B begründeten, war die Gabe von Kristalloiden nicht mit erhöhten Nebenwirkungen assoziiert. Daher wurde diese generelle Empfehlung durch die Leitliniengruppe konsentiert.

Die Gabe von HES bei kritisch kranken Intensivpatienten ist in mehreren randomisierten, kontrollierten Studien untersucht worden (VISEP, 6S und CHEST)(200, 208, 210). Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen HES-Applikation und der Notwendigkeit einer Nierenersatztherapie (139). Ein negatives Outcome im Sinne von Sterblichkeit oder renal Dysfunktion wurde mit der HES-Gabe im Vergleich zu der Gabe von Kristalloiden in der 6S (210) Studie in Zusammenhang gebracht.

Daher wird die Gabe von HES bei kritisch kranken Intensivpatienten mit hohem GoR nicht empfohlen.

Andererseits gibt es auch Ergebnisse einer kontrollierten multizentrischen randomisierten Studie (CRISTAL) (195), die einen Vorteil von Kolloiden inklusive von HES in der 90-Tage-Sterblichkeit zeigten. Da als primäres Studienziel ein Unterschied in der 28-Tage Sterblichkeit definiert worden war, hat die Studie ein negatives Ergebnis.

Eine Metaanalyse von 30 Studien mit 2700 Patienten ergab, dass auch der Einsatz von Gelatine im Vergleich zu Kristalloiden/HES/Albumin nicht mit einem erhöhtem Letalitätsrisiko oder einem erhöhtem Risiko für eine Nierendysfunktion assoziiert ist (214). In einer randomisiert, kontrollierten Studie war die Gabe von Gelatine im Vergleich zu 6% HES 200/0,62 mit weniger renal Dysfunktion assoziiert. 4% Albumin war bei septischen Patienten in einer australischen Studie nicht-signifikant ( $p=0,09$ ) besser als 0,9% NaCl (203). In der ALBIOS-Studie (215) zeigte sich bei der Verwendung von Albumin in Kombination mit Kristalloiden im Vergleich zur alleinigen Verwendung von Kristalloiden bei Patienten mit Sepsis oder septischem Schock kein Vorteil bei der 28-Tage Krankenhausletalität (RR, 0,94; 95 % CI, 0,85–1,05). Das Konzept dieser Studie zielte auf eine Albuminsubstitution und nicht auf die Verwendung von Albumin als Kolloid im Rahmen einer akuten Volumentherapie. Die Menge des 20 %-igen Albumins wurde mit dem Ziel verabreicht, eine Serumalbuminkonzentrationen von  $> 30$  g/l zu erreichen.

Bei insgesamt 8 Meta-Analysen zeigte sich, dass Albumin und Gelatine nicht mit einem Benefit im Sinne von Überleben, aber auch nicht mit aber auch keine Evidenz für Schaden vorhanden ist. Da in der Intensivmedizin die schnelle Stabilisierung der Hämodynamik kritisch kranker Patienten mit Schock innerhalb der ersten 6h Outcome-relevant ist, und in der CRISTAL-Studie bei der Verwendung von Kolloiden in dieser Phase ein signifikanter Outcomevorteil nach 90 Tagen gezeigt werden konnte, ermöglicht die dritte Empfehlung die Entscheidung für den zusätzlichen kolloidalen Volumenersatz mit Gelatine oder Albumin bei kritisch kranken Patienten in der Intensivmedizin.

Empfehlung 3b-4	GoR
Zum Volumenersatz bei Intensivpatienten sollen balancierte kristalloide bzw. balancierte kolloidale Lösungen verwendet werden.	A

**Erläuterung zur Empfehlung 3b-4**

Maßgeblich für die Empfehlung der Verwendung balanzierter Lösungen waren neben der Beeinflussung von einer Reihe als „Surrogate“ bezeichneten Endpunkte auch insbesondere die als gesichert angesehene Assoziation von Hyperchlorämie und Azidose mit negativen Auswirkungen auf Sterblichkeit und andere Endpunkte (wie z.B. Infektion, Nierendysfunktion) (171, 177, 179, 212, 216).

Diese Studien analysierten die differenziellen Effekte balanzierter versus unbalanzierter Lösungen allgemein, sowohl bei kristalloiden als auch kolloidalen Lösungen, in den untersuchten Interventionsarmen mit ein. In einem RCT (SPLIT-Trial) wurden an 2278 Intensivpatienten die Effekte einer balancierten Lösung im Vergleich zu einer 0.9% NaCl-Lösung untersucht und keine Unterschiede identifiziert. Die Aussagekraft dieser Studie ist jedoch aufgrund von Ungenauigkeit im Protokoll und bei der Patientenselektion eingeschränkt, was zu einer niedrigen Evidenzqualität führt (217).

Der Empfehlungslevel wurde von GoR auf GoRA geändert, da Semler et al. in einem RCT mit 15802 kritisch kranken Patienten zeigen konnten, dass balancierte Lösungen (Ringer Lösung oder Plasma-Lyte A Lsg.) im Vergleich zu 0,9% NaCl bezüglich eines kombinierten Endpunkt (bestehend aus Sterblichkeit, neue Nierenersatztherapie und anhaltender Nierenfunktionsstörung) signifikant besser waren (218). Aufgrund der positiven Effekte in dieser großen Studie in Verbindung mit den bisherigen Daten ist die Leitliniengruppe der Überzeugung, die Anwendung von balancierten kristalloiden Lösungen mit GoRA zu empfehlen.

## Kapitel 4a: Unterschiede zwischen den Kolloiden bei peri-interventionellen Patienten

Zugrunde liegende Literatur:(127, 138, 139, 143, 149, 154, 158, 161, 163, 166, 168, 169, 171, 181, 189-191, 204, 219-253)

Statement S-4	GoR
Aufgrund der niedrigen Ereignisraten zu dem Endpunkt „Sterblichkeit“ und unzureichender Daten zu wesentlichen Morbiditätsendpunkten können aus der Literatur keine Empfehlungen für den bevorzugten Einsatz einer Kolloid-Gruppe (Humanalbumin, Gelatine und HES) abgeleitet werden.	---
Empfehlung 4a-1	GoR
Bei bestehender Indikation zur Gabe eines kolloidalen Volumenersatzmittels können Humanalbumin, Gelatine und HES gleichberechtigt zum peri-interventionellen Volumenersatz verwendet werden.	0

### Erläuterung zum Statement S-4 und zur Empfehlung 4a-1:

Signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Kolloiden, namentlich den Präparaten bestehend aus Hydroxyethylstärke, Albumin und Gelatine in Hinblick auf die mit diesen Volumenersatzlösungen assoziierte Sterblichkeit können nicht gefunden werden. Die Schlussfolgerung beruht maßgeblich auf der umfassendsten zu dieser Fragestellung vorliegenden Übersichtsarbeit, in die aus insgesamt 57 klinischen Studien Daten zur Mortalität eingegangen sind (226).

Vor dem Hintergrund der ausgesprochen dürftigen Datenlage, kann jedoch trotz Fehlen einer Differenz in der Mortalität mitnichten eine Gleichwertigkeit der Substanzen bewiesen werden. Folglich konsentiert die Leitliniengruppe eine Aussage, die diesen Umstand verdeutlicht ohne Empfehlungsgrad und gibt eine „kann“ Empfehlung (GoR 0) zur gleichberechtigten Erwägung der verfügbaren künstlichen und natürlichen Kolloide, sofern für deren Applikation eine Indikation gegeben ist.

Im peri-operativen Kontext zur Therapie des Volumenmangels gibt es aufgrund der bisherigen Daten keine Hinweise für die Überlegenheit einer der oben genannten kolloidalen Lösungen (Gruppeneffekte) aufgrund von Wirksamkeitsüberlegungen bzw. aufgrund des Nebenwirkungspotenzials.

Zu berücksichtigen ist ferner, dass sich diese Schlussfolgerungen auf Gruppeneffekte über alle Präparate einer Gruppe hinweg beziehen, und dies mithin impliziert, dass die Schlussfolgerung den tatsächlich vorliegenden Effekten für einzelne Präparate möglicherweise nicht gerecht wird. Für derlei Vergleiche liegen naturgemäß noch einmal deutlich weniger Daten bzw. Vergleiche aus randomisierten klinischen Studien zugrunde und es fehlen verlässliche Punktschätzer für Mortalitätsunterschiede, so dass robuste Schlussfolgerungen in Hinblick auf Mortalitätsunterschiede auch in Zukunft unwahrscheinlich sind.

Bestätigt wird die Äquivalenz der betrachteten Kolloidgruppen durch eine systematische Übersichtsarbeit mit Metaanalyse, die gezielt das Patientenkollektiv in der perioperativen Phase adressierte (254). In dieser Arbeit wurde neben der Mortalität auch die Inzidenz für akutes Nierenversagen perioperativer Patienten betrachtet. Basierend auf den eingeschlossenen 19 klinischen Studien an insgesamt 1567 Patienten konnten keine Unterschiede zwischen 6% HES und den Kontrollpräparaten detektiert werden. Die Analyse der Krankenhausmortalität war basierend auf 18 Studien möglich. Von den insgesamt 685 Patienten die HES erhielten, verstarben 19 (2,8%), in der Kontrollgruppe verstarben 46 von insgesamt 776 Patienten (5,9%). Allerdings – und diese verdeutlicht das Dilemma im Zusammenhang mit dem Endpunkt Mortalität – gab es in 12 der 18 eingeschlossenen Studien keine Todesfälle. Zudem wurden in der Kontrollgruppe andere Kolloide (z.B. 5% Humanalbumin oder 3 bzw. 4% Gelatine) zusammengefasst. Dies bestärkt gleichwohl indirekt die Sicherheit von HES in Hinblick auf die Nierenfunktion.

Statement S-5	GoR
Werden kolloidale Volumenersatzlösungen peri-interventionell verwendet, soll die Auswahl der Kolloide nach medizinischen, rechtlichen, organisatorischen, ökonomischen und logistischen Gründen erfolgen.	---

#### Erläuterung zum Statement S-5

Die in der 1. Version der Leitlinie verfasste Empfehlung wurde im Sinne eines Hinweises nunmehr als Statement verfasst. Hintergrund ist der Umstand, dass es der Leitliniengruppe zum einen wichtig war auf flankierende Aspekte hinzuweisen, gleichwohl die angesprochenen Aspekte mitunter aber ohnehin rechtlich bindend sind (Transfusionsgesetz), und folglich nicht durch eine Leitlinienempfehlung modifiziert werden können. Andererseits umfasst das Statement auch weichere Faktoren (logistische Gründe, Bevorratung an bestimmten Arbeitsplätzen), die dem Wesen nach ohnehin eher einen Hinweis darstellen. Auch das Erfordernis einer Schulung im Kontext der HES-Anwendung wurde unter diesem Punkt subsumiert. Diese vergleichsweise neue Vorgabe wurde einhellig als wenig hilfreich vor dem Hintergrund weitaus gefahrträchtigerer Arzneimittel erachtet. Nicht zuletzt aufgrund der

Tatsache, dass im perioperativen Kontext jedwede Hinweise für ein Gefahrenpotenzial fehlen (254). Ferner gilt zu berücksichtigen, dass in nahezu allen im perioperativen Setting untersuchten Protokollen zur zielorientierten Flüssigkeits- bzw. Volumentherapie als kolloidale Komponente Hydroxyethylstärke zum Einsatz kam (255), nicht zuletzt aufgrund der Erkenntnis, dass sich ein rein auf kristalloide Lösungen fußendes Management nachteilig auswirkt (256).

Nichtsdestotrotz wurde im Zuge des Rote-Hand-Briefs des Bfarms vom 13. August 2018 (330) am 17. April 2019 ein neues Programm für den kontrollierten Zugang zu HES-haltigen Arzneimitteln zur Infusion eingeführt (331), welches veranlasst, dass die Belieferung mit HES-haltigen Infusionslösungen ausschließlich an akkreditierte Krankenhäuser/ Einrichtungen/Rettungsdienste erfolgt. Die Akkreditierung setzt voraus, dass alle Angehörigen der Heilberufe, die HES-haltige Infusionslösungen verordnen oder anwenden werden, eine verpflichtende Schulung zur Anwendung von HES gemäß den zugelassenen europäischen Produktinformationen erfolgreich absolviert haben.

Andere in die Entscheidung mit einzubeziehende Endpunkte sind beispielsweise das allergene Potenzial sowie die Berücksichtigung von logistischen und finanziellen Aspekten (Lagerung, Applikationsmodus und Dokumentationsaufwand) bei der Wahl einer kolloidalen Volumenersatzlösung.

Da die ursprüngliche Empfehlung mit einst starkem Empfehlungsgrad nunmehr als Statement formuliert ist, erübrigt sich die Angabe eines Empfehlungsgrades. Das Statement ermöglicht die generelle (z.B. für bestimmte operative Bereiche und Versorgungseinheiten) bzw. fallweise (unter Zugrundlegung der Spezifika eines bestimmten Patienten) Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Gruppe oder ein bestimmtes Präparat zum kolloidalen Volumenersatz im perioperativen Kontext. Deziert wird darauf hingewiesen, dass weitere Regelwerke im Rahmen dieser Abwägung entsprechend berücksichtigt werden müssen. So z.B. die Bestimmungen des Transfusionsgesetzes bzw. die „Richtlinien zur Gewinnung von Blut und Blutbestandteilen und zur Anwendung von Blutprodukten (Hämotherapie)“ bzw. die einschlägigen Empfehlungen seitens der Bundesärztekammer, wie z.B. die „Querschnitts-Leitlinien zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten“, die sich aktuell in Überarbeitung befindet.

Neben dem Preis, der allenthalben stark variiert und aus Sicht der Verfasser bei bestehenden Vorteilen in der Anwendung (z.B. im Dokumentationsaufwand und der Lagerung) allenfalls flankierend Berücksichtigung finden sollte, stellen organisatorische und logistische Aspekte maßgebliche Determinanten des „Handlings“ im Sinne der Anwendungsmöglichkeit und des Anwendungsaufwandes in der klinischen Routine dar. So kann die erforderliche Chargendokumentation bei bestimmten Präparaten einen erheblichen logistischen Nachteil beim Einsatz an bestimmten Arbeitsplätzen darstellen. Eine fehlende Komprimierbarkeit des Gebindes, in dem die Volumenersatzlösung bereitgestellt wird, kann eine zeitgerechte



Applikation zum Volumenersatz, und damit das Erzielen einer schnellen hämodynamischen Stabilisierung, konterkarieren.

Empfehlung 4a-2	GoR
Werden kolloidale Lösungen peri-interventionell eingesetzt, sollen im Hinblick auf metabolische und andere Endpunkte (Basendefizit, pH-Wert, Chloridkonzentration) balancierte Lösungen verwendet werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 4a-2

Die Schlussfolgerung beruhte bereits in der ersten Version der S3-LL Volumentherapie maßgeblich auf der umfassendsten zu dieser Fragestellung vorliegenden Übersichtsarbeit, in die insgesamt 14 Publikationen aus 13 klinischen Studien eingegangen sind (227).

Zwar fokussierte diese Analyse auf die differenziellen Effekte balancierter versus unbalancierter Lösungen allgemein – und schloss folglich kristalloide wie kolloidale Lösungen in den untersuchten Interventionsarmen mit ein – doch zeigen sich die Effekte auch in den untersuchten Endpunkten unter Ausschluss der Interventionsstudien, in denen ein bestimmtes kristalloides bzw. kolloidales Volumenersatzmittel zur Anwendung kam.

Der initial vergebene Empfehlungslevel (GoR B) trug dem Umstand Rechnung, dass in Hinblick auf den Endpunkt Sterblichkeit die hierfür zur Analyse verfügbaren Studien bzw. Patientenzahlen äußerst niedrig war, so dass keine hinreichend gesicherten Aussagen hierfür getroffen werden konnten bzw. die Empfehlung zur Verwendung balancierter Lösungen auf den zusammenfassenden Analysen zu den anderweitigen Endpunkten jenseits der Sterblichkeit fußten.

In der Aktualisierung wurde – in Übereinstimmung mit den diesbezüglichen Empfehlungen aus anderen PICO-Fragen – der Empfehlungslevel auf „A“ hochgestuft.

Maßgeblich für die Empfehlung der Verwendung balancierter Lösungen waren neben der Beeinflussung von einer Reihe als „Surrogate“ bezeichneten Endpunkte auch insbesondere die als gesichert angesehene Assoziation von Hyperchlorämie mit wiederum negativen Auswirkungen auf Sterblichkeit und andere Endpunkte (wie z.B. Infektion, Nierendysfunktion) (177-179, 216).

Insgesamt muss gleichwohl konstatiert werden, dass der direkte Einfluss balancierter Lösungen im Rahmen von randomisierten klinischen Studien auf „major morbidity and mortality“ Endpunkte nach wie vor unklar ist (257). In Übereinstimmung mit den

grundsätzlichen Überlegungen zum Einfluss der Volumentherapie auf Mortalität und eingedenk der Tatsache, dass die Effekte auf bedeutsame biochemische Parameter (Hyperchlorämie und metabolische Azidose) nunmehr recht robust nachweisbar sind, stimmte das Panel für eine Adaptation des Empfehlungslevels (GoR A).

Empfehlung 4a-3	GoR
Bei der Auswahl einer kolloidalen Volumenersatzlösung sollen patientenspezifische Aspekte wie z. B. allergisches Potenzial, Nierenverschädigung, Gerinnungsbeeinflussung und Komorbiditäten, sowie interventionsspezifische und transfusionsmedizinische Aspekte berücksichtigt werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 4a-3

Neben rechtlichen, transfusionsmedizinischen, organisatorisch-logistischen und ökonomischen Erwägungen wird mit dieser Empfehlung dem Umstand Rechnung getragen, dass sich die unterschiedlichen Kolloide natürlicher oder synthetischer Herkunft in ihrem Potenzial zur Verursachung von negativen Begleiteffekten unterscheiden. Diese Erwägungen müssen nicht generell dazu führen dem Einen oder Anderen Kolloid im peri-interventionellen Kontext den Vorzug zu geben, sollten aber bei der Verwendung im Einzelfall hinreichend Berücksichtigung finden. So ist der Einsatz von Hydroxyethylstärke z.B. bei bedeutsam eingeschränkter Nierenfunktion oder bei erforderlicher Nierenersatztherapie kontraindiziert. Andererseits kann eine vorliegende allergische Disposition beispielsweise als relative Kontraindikation für die Verwendung von gelatinehaltigen Präparaten angesehen werden (258). Darüber hinaus können Begleiterwägungen, wie z.B. das Vorliegen einer Hypalbuminämie im Kontext eines Volumenmangels in bestärkendem Sinn für die Verwendung eines spezifischen Volumenersatzmittels (z.B. Albumin) sprechen. Und dies auch, wenn die Hypalbuminämie per se nicht ausgleichsbedürftig ist bzw. der Ausgleich einer Hypalbuminämie bislang nicht mit einem belegten positiven Nutzen untermauert werden konnte, aber die Kombination aus Volumenmangel mit einer Indikation für ein kolloidales Volumenersatzmittel und eine bestehende Hypalbuminämie – ggf. auch vor dem Hintergrund eines spezifischen Eingriffs (z.B. Aszitesentlastung) – ein entsprechendes Vorgehen nahe legt.

Derlei Hinweise und Empfehlungen für den Einzelfall können angesichts einer Vielzahl denkbarer Konstellationen und angesichts fehlender Beweise aus klinischer Forschung für die konkrete Situation allenfalls flankierend Entscheidungsgrundlage sein. Die Leitlinien-

Arbeitsgruppe trägt aber hiermit dezidiert dem Umstand Rechnung, dass mutmaßlich niemals alle Konstellationen hinreichend durch Studiendaten abgesichert sein werden und es mithin in diesen Situationen einen guten Grund für eine pathophysiologisch orientierte Heran- bzw. Vorgehensweise gibt.

## Kapitel 4b: Unterschiede zwischen verschiedenen Kolloiden bei ICU-Patienten

Zugrunde liegende Literatur: (14, 16, 17, 106, 138, 139, 196-198, 207, 214, 216, 226, 241, 253, 259-261)

Empfehlung 4b-1	GoR
Bei Intensivpatienten mit schwerem Schädel-Hirn-Trauma sollen keine hypoosmolaren Lösungen zur Volumentherapie verwendet werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 4b-1:

Für Patienten mit einem schweren Schädel-Hirn-Trauma war eine Volumentherapie mit 4%igem Albumin mit einer signifikant höheren 24-Monats-Letalität (RR 1.88; CI 1.31 – 2.70) assoziiert. Allerdings handelt es sich hierbei um eine post-hoc Analyse von 460 Patienten einer Subgruppenanalyse aus der SAFE-Studie (262). Als Ursache hierfür wird ein Einfluss von hypoosmolarem Albumin auf die Zunahme eines vasogenen und/oder zytotoxischen Hirnödems diskutiert. Ob es sich hierbei um einen substanzspezifischen oder osmolaren Effekt handelt, lässt sich aus der aktuellen Datenlage nicht ableiten. Gleichwohl besteht Übereinkunft darüber, dass der Einsatz von 4%igem Albumin beim Schädel-Hirn-Trauma zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht empfohlen werden kann. Jedoch ist für weiterreichende Schlussfolgerungen das Vorliegen von Ergebnissen aus weiteren klinischen Studien wünschenswert.

Empfehlung 4b-2	GoR
Bei Intensivpatienten mit Subarachnoidalblutung und bestehendem zerebralen Vasospasmus kann die wiederholte Gabe von Kolloiden zur Aufrechterhaltung eines adäquaten Perfusionsdruckes erwogen werden.	0

### Erläuterung zur Empfehlung 4b-2:

Im Rahmen der Behandlung des zerebralen Vasospasmus nach aneurysmatischer Subarachnoidalblutung kann der Einsatz kolloidaler Flüssigkeiten erwogen werden, um einen ausreichenden zerebralen Perfusionsdruck aufrecht zu erhalten. Dies ist insbesondere der Fall, wenn bereits eine Vasopressorunterstützung mit nicht unerheblicher Dosierung von Katecholaminen erfolgt und durch die Gabe eines kolloidalen Volumenersatzmittels im Sinne

einer Volumenexpansion den Katecholaminbedarf zu senken bzw. den Perfusionsdruck in ausreichendem Maße zu erhöhen. Hierbei ist zu beachten, dass in den letzten Jahren eine Abkehr von der sogenannten HHH-Therapie (Triple-H-Therapie; Hypertension, Hypervolämie und Hämodilution) erfolgte, da die Hypervolämie unter Inkaufnahme einer Hämodilution eher zu einer Verschlechterung der zerebralen Sauerstoffversorgung sowie extrazerebralen Problemen wie Lungenödem oder Volumenüberladung geführt haben (263). Mithin wird aktuell bei bestehendem zerebralen Vasospasmus nach aneurysmatischer Subarachnoidalblutung nur noch das Anstreben einer moderaten Hypertonie empfohlen. Dies ist bei Einsatz kolloidaler Flüssigkeiten potentiell mit weniger Komplikationen assoziiert und hilft die Katecholamingabe zu unterstützen bzw. die erforderliche Dosis zu verringern und gleichwohl den Perfusionsdruck entsprechend stabil zu halten oder anzuheben. Unter Einsatz in diesem Kontext üblicher Mengen an Kolloiden, sind aktuell keine Studien veröffentlicht, in denen eine nennenswerte Nierenfunktionsstörung oder ein später aufgetretener Juckreiz nachgewiesen wurde (264-267).

## Kapitel 5a: Unterschiede zwischen den Kristalloiden bei peri-interventionellen Patienten

Zugrunde liegende Literatur: (121, 132, 149, 155, 158, 168, 174, 223, 227, 239, 247, 268-296)

Empfehlung 5a-1	GoR
Isotone Kochsalzlösung soll zum peri-interventionellen Volumenersatz nicht verwendet werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 5a-1

Signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen kristalloiden Lösungen in Hinblick auf die mit diesen Lösungen assoziierte Sterblichkeit nach peri-interventioneller Applikation können aufgrund niedriger Ereignisraten weder belegt noch ausgeschlossen werden. Die Schlussfolgerung beruht maßgeblich auf der umfassendsten zu dieser Fragestellung vorliegenden Übersichtsarbeit, in die insgesamt 14 Publikationen aus 13 klinischen Studien eingegangen sind (227). Wie in den Erläuterungen Erläuterung Empfehlung 4a-3 ausgeführt, fokussierte diese Analyse auf die differenziellen Effekte balancierter versus unbalancierter Lösungen generell – und schloss folglich auch kolloidale Lösungen in den untersuchten Interventionsarmen mit ein – doch zeigen sich die Effekte (z.B. vergleichbares Outcome in Hinblick auf die Mortalität) auch in den untersuchten Endpunkten unter Ausschluss der Interventionsstudien, in denen ein kolloidales Volumenersatzmittel zur Anwendung kam. Die in Hinblick auf den Endpunkt Mortalität und Morbidität getroffene Schlussfolgerung berücksichtigt den Umstand, dass die Zahl der unter dieser Prämisse (Ausschluss von Studien mit kolloidalen Lösungen in den Interventionsarmen) noch verfügbaren Studien bzw. Patienten äußerst gering ausfällt, so dass keine hinreichend gesicherten Aussagen getroffen werden können.

Die Mitglieder der Konsensus-Konferenz waren sich gleichwohl einig (100% Zustimmung zur Empfehlung), dass eine unphysiologische Lösung, namentlich eine isotonische Kochsalzlösung, nicht geplant zum peri-interventionellen Volumenersatz eingesetzt werden soll.

Empfehlung 5a-2	GoR
Balancierte kristalloide isotone Vollelektrolyt-Lösungen sollen peri-interventionell zum Volumenersatz verwendet werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 5a-2

Maßgeblich für die Empfehlung der Verwendung balancierter Lösungen waren – wie in der Diskussion zu den kolloidalen Volumenersatzmitteln thematisiert – neben der Beeinflussung von einer Reihe als „Surrogate“ bezeichneten Endpunkte auch insbesondere die als gesichert angesehene Assoziation von Hyperchlorämien mit der Verwendung isotonischer Kochsalzlösungen. Diese sind mit negativen Auswirkungen auf die Sterblichkeit und anderen nachteiligen Outcomes (wie z.B. Infektion, Nierendysfunktion, Säure-Basen-Haushalt) assoziiert (171, 177, 179, 216).

Zwar muss konstatiert werden, dass der direkte Einfluss balancierter Lösungen im Rahmen von randomisierten klinischen Studien auf „major morbidity and mortality“ Endpunkte nach wie vor unklar ist (257). In Übereinstimmung mit den grundsätzlichen Überlegungen zum Einfluss der Volumentherapie auf Mortalität und eingedenk der Tatsache, dass die Effekte auf bedeutsame biochemische Parameter (Hyperchlorämie und metabolische Azidose) mittlerweile jedoch als recht robust einzuschätzen sind (297), votierte das Panel für die Beibehaltung des Empfehlungslevels (GoR A) zugunsten der Verwendung balancierter kristalloider isotoner Vollelektrolyt-Lösungen.

Mithin sollte an Arbeitsplätzen, bei denen eine Infusionstherapie regelhaft zur Anwendung kommt ausschließlich die Verwendung bzw. Bevorratung balancierter Lösungen erfolgen.

Empfehlung 5a-3	GoR
Balancierte Infusionslösungen mit Azetat oder Malat statt Laktat können durch fehlenden Einfluss auf diagnostische Parameter im Behandlungsalgorithmus zum Volumenersatz bei peri-interventionellen Patienten erwogen werden.	0

### Erläuterung zur Empfehlung 5a-3

Einen Hinweis, dass die Verwendung spezifischer balancierter Infusionslösungen mit einem besseren postoperativen (Surrogat-) Outcome assoziiert ist, gibt es aufgrund der

verhältnismäßig überschaubaren Studienanzahl und den heterogenen Interventionen (verwendete Lösungen) nicht.

Gleiches gilt zum gegenwärtigen Zeitpunkt insbesondere auch für balanzierte Infusionslösungen mit metabolisierbaren Anionen (z.B. Azetat und Malat). Auch hier gilt für den theoretischen Vorteil einer fehlenden Induktion einer Hyperchlorämie zusammen mit einer fehlenden Beeinträchtigung der Laktatwerte als diagnostischen Marker (Surrogatendpunkt), dass ein Einfluss auf das Patientenoutcome nach wie vor als nicht gesichert erachtet werden muss. Sofern diese Lösungen in balancierter Form verabreicht werden, ist ein vergleichbarer Effekt wie nach Applikation balancierter kristalloider Infusionslösungen anzunehmen. Eingedenk der fehlenden klinischen Daten zur Überlegenheit resultierte im Konsensus-Prozess eine schwache Empfehlung zum „erwägen“ dieser Lösungen (GoR 0) mit starker Übereinstimmung.



## Kapitel 5b: Unterschiede zwischen den Kristalloiden bei ICU-Patienten

Zugrunde liegende Literatur: (206, 212, 216, 298-302)

Empfehlung 5b-1	GoR
Isotone Kochsalzlösung soll zum Volumenersatz in der Intensivmedizin nicht verwendet werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 5b-1

Die Anwendung von balanzierten Lösungen ist im Vergleich zur Verwendung isotoner Kochsalzlösungen mit einem signifikant seltenerem Auftreten einer hyperchlorämischen Azidose innerhalb der ersten 48 Stunden nach Therapiebeginn (Hazard ratio 0,28; 95%-Konfidenzintervall 0,11, 0,70;  $P=0,006$ ) assoziiert (212, 297). Es wird postuliert, dass das Auftreten einer hyperchlorämischen Azidose einen Einfluss auf die Hämostase, auf gastrointestinale sowie auf kognitive Funktionen hat. In einer weiteren prospektiven open-label Pilotstudie konnte an 760 Patienten, die entweder mit chlorid-reichen Lösungen oder chlorid-armen Lösungen (balanzierte Lösungen oder chlorid-armes 20%iges Albumin) behandelt wurden, gezeigt werden, dass unter der Therapie mit Chlorid-reichen Lösungen mit signifikant höheren Serumkreatininspiegeln ( $P=0,03$ ), mit einer Zunahme der Inzidenz einer akuten Niereninsuffizienz ( $P<0,001$ ) und mit einem erhöhten Bedarf an Nierenersatzverfahren ( $P=0,004$ ) zu rechnen ist (216). Aufgrund dieser Datenlage wurde die Applikation isotoner Kochsalzlösungen zur Volumentherapie in der Intensivtherapie bereits in der vorhergehenden Leitlinienversion nicht empfohlen. Stattdessen sollen nach wie vor auch im intensivmedizinischen Kontext balancierte isotone Vollelektrolytlösungen bei kritisch kranken Patienten zum Volumenersatz verwendet werden.

Empfehlung 5b-2	GoR
Balancierte isotone Vollelektrolytlösungen sollen bei Intensivpatienten zum Volumenersatz verwendet werden.	A

**Erläuterung zur Empfehlung 5b-2**

Da der Einsatz von isotonen Vollelektrolytlösungen zum Volumenersatz sowohl für stationäre peri-interventionell behandelte, erwachsene Patienten als auch für kritisch kranke Intensivpatienten zu empfehlen ist, wird an dieser Stelle auf den Begleittext der konsentierten Empfehlung 6a-2 verwiesen.

<b>Empfehlung 5b-3</b>	<b>GoR</b>
Balancierte Vollelektrolytlösungen mit Azetat oder Malat statt Laktat können zum Volumenersatz bei Intensivpatienten zum Einsatz kommen.	0

**Erläuterung zur Empfehlung 5b-3:**

An dieser Stelle wird ebenfalls auf den Begleittext der 3. konsentierten Empfehlung zur Schlüsselfrage 1.6.1 verwiesen.

## Kapitel 6a: Steuerung der Volumentherapie bei peri-interventionellen Patienten

Zugrunde liegende Literatur: (18, 21, 23-34, 40, 42-45, 48, 50, 60, 63, 66, 68, 69, 71, 73-75, 78-81, 83-86, 100, 107, 128, 151, 303-316)

Empfehlungen 6a-1, 6a-2	GoR
<p>Zur Steuerung der Volumentherapie bei Patienten mit hohem Risiko* in der peri-operativen Phase können Überwachungsverfahren zum Einsatz kommen, die eine Optimierung des Volumenstatus anhand flussbasierter (Schlagvolumen) und/oder dynamischer Vorlastparameter (SVV, PP-VAR.) erlauben.</p> <p><i>* Patienten mit vorbestehend eingeschränkter kardiovaskulärer Reserve (z.B. hochbetagte Patienten mit hüftnaher Fraktur) oder Eingriffe mit großen Volumenverschiebungen (z.B. ausgedehnte abdominalchirurgische Eingriffe)</i></p>	0
Flussbasierte Parameter zur Steuerung der Volumentherapie sollten in einen Behandlungsalgorithmus integriert werden.	B

### Erläuterung zu den Empfehlungen 6a-1 und 6a-2:

Die Daten zur peri-operativen Optimierung des Volumenstatus anhand flussbasierter (Schlagvolumen, HZV) oder dynamischer Vorlastparameter (SVV, PP-VAR.) zur Steigerung des Sauerstoffangebots an die Peripherie legen bei fraglicher Studienqualität nahe, dass ein günstiger Einfluss auf (kombinierte Endpunkte der) Morbidität möglich ist; der relative Beitrag der Optimierung des Volumenstatus und damit der Vorlast (anhand der Frank-Starling Beziehung) sowie der Gabe von Inotropika erschwert eine Aussage zum isolierten Stellenwert der Optimierung des Volumenstatus. Bei insgesamt niedriger Sterblichkeit im Rahmen der untersuchten (elektiven) Prozeduren sind Aussagen zur Beeinflussung der Sterblichkeit nicht möglich; ein negativer Einfluss der peri-interventionellen Optimierung des Volumenstatus zur Steigerung der Sauerstoffverfügbarkeit auf patientenzentrierte Endpunkte ist unwahrscheinlich.

Eine Aussage zur Steuerung der Flüssigkeitstherapie anhand hämodynamischer Surrogatparameter ist aufgrund der Datenlage nicht möglich.

In einem kürzlich durchgeführten Review zur peri-operativen Optimierung des Blutflusses sowie des Sauerstofftransports wurden 31 Studien mit 5292 Teilnehmern eingeschlossen (317). Der Zeitraum umfasste 24 Stunden vor Operation bis 6 Stunden nach Operationsende. Als hämodynamische Zielgrößen wurden das HZV, der Herz-Index (5), der Sauerstofftransport

( $\text{DO}_2$  bzw.  $\text{DO}_{2\text{I}}$ ), der Sauerstoffverbrauch ( $\text{VO}_2$  bzw.  $\text{VO}_{2\text{I}}$ ), das Schlagvolumen (SV bzw.  $\text{SVI}$ ), die gemischtvenöse Sauerstoffsättigung ( $\text{ScvO}_2$ ), die Sauerstoffextraktionsrate ( $\text{O}_2\text{ER}$ ) sowie das Laktat herangezogen. Das Review geht nicht auf die Bedeutung und Validität der hämodynamischen Zielparameter ein. Die Sterblichkeit konnte durch eine Optimierung mittels vasoaktiver, inotroper Substanzen oder Volumen nicht reduziert werden. Die Krankenhausliegedauer wurde jedoch um einen Tag reduziert.

Die Optimierung der Flüssigkeitsgabe durch Überwachung der SVV wurde in einer randomisierten Studie bei elektiven abdominalchirurgischen Eingriffen untersucht (304). Lag die SVV über 10% wurden 3 ml/kgKG kolloidale Volumenersatzmittel verabreicht. Dobutamin wurde bei einem HI  $<2,5 \text{ l/min/m}^2$  verabreicht um in einen Zielbereich zwischen 2,5 und 4  $\text{l/min/m}^2$  zu gelangen. Die Patienten der SVV Gruppe ( $n=60$ ) erhielten intraoperativ mehr Volumen als die Kontrollgruppe ( $n=60$ ). Es wurden in der SVV Gruppe weniger hypotensive Ereignisse registriert, der Laktatspiegel gegen Ende der Operation lag ebenfalls niedriger. In der Kontrollgruppe traten signifikant häufiger Komplikationen auf (58,3% versus 30%,  $p=0,0033$ ).

Bei Patientinnen mit schwerer Eklampsie erlaubte das passive Anheben der Beine (PLR) und gleichzeitige dopplerechokardiographische Bestimmung des Velocity Time Integral (VTI) des subaortalen Blutflusses eine zuverlässige Abschätzung der Volumenreagibilität (307).

Die intraoperative Anwendung der ösophagealen Dopplermessung des aortalen Blutflusses wurde in einem systematischen Review untersucht (303). In 5 Studien wurden 420 Patienten mit einem großen abdominalchirurgischen Eingriff eingeschlossen. Unter anderem wurde die korrigierte Flusszeit in der Aorta descendens (corrected flow time, FTc) als Zielparameter der Volumenoptimierung eingesetzt und ein Wert  $>350\text{ms}$  angestrebt. In der Interventionsgruppe fand sich eine verkürzte Krankenhausliegedauer, weniger Komplikationen und weniger Intensivaufnahmen.

Der Einsatz des ösophagealen Dopplers bei Patienten mit großem abdominalchirurgischem Eingriff und die Steuerung der Volumentherapie durch die FTc in der Aorta descendens verkürzte die Krankenhausliegedauer und führte zu einer schnelleren Wiederherstellung der Darmfunktion in der Interventionsgruppe (311).

Neunzig Patienten wurden während eines chirurgischen Eingriffs mit einem ösophagealen Doppler überwacht (44). Die respiratorische SVV eignet sich exzellent zur Vorhersage der Volumenreagibilität (Flächenwert unter der ROC Kurve 0,91) während die FTc keine zuverlässige Einschätzung erlaubte (Flächenwert unter der ROC Kurve 0,49).

Vierzig Patienten (mit erhaltener linksventrikulärer Pumpfunktion) wurden während einer Bypassoperation (Off-Pump) untersucht (45). Die SVV und die PP-VAR. konnten eine Volumenreagibilität gut vorhersagen (Flächenwert unter der ROC Kurve 0,823 bzw. 0,808)

während der ZVD, der PAOP, der echokardiographisch bestimmte linksventrikuläre enddiastolische Flächenindex (LVDAI) und der global enddiastolische Volumenindex (GEDVI) keine zuverlässige Einschätzung erlaubten.

Der Einsatz der PP-Var. zur Abschätzung der Volumenreagibilität (Ziel der Volumentherapie PP-Var. <10%) reduziert die Krankenhausliegedauer und die Anzahl der Komplikationen in der Interventionsgruppe bei chirurgischen Hochrisikopatienten (151).

Ein systematisches Cochrane Review analysiert die Bedeutung einer Optimierung der Volumentherapie bei Patienten mit chirurgischem Eingriff nach proximaler Femurfraktur (318). Insgesamt konnten nur 3 Studien mit 200 Patienten einbezogen werden. Es wurden nur Studien ausgewählt, bei denen das hämodynamische Monitoring der Interventionsgruppe mit dem transösophagealen Doppler oder der Pulskonturanalyse durchgeführt wurde. Das Ergebnis dieser Arbeit zeigt keinen relevanten Vorteil einer protokollbasierten hämodynamischen Optimierung der Flüssigkeitstherapie. Der fehlende Nachweis ist aber sicherlich auf die kleinen Studienkollektive zurückzuführen.

Ein systematisches Review untersucht die Bedeutung der peri-operativen zielorientierten Optimierung der Hämodynamik durch Volumengabe während operativer Eingriffe. Insgesamt wurden 24 Studien eingeschlossen. Die Patientenkollektive, die eingesetzten Monitoringverfahren aber auch die Zielvariablen der jeweiligen Protokolle zeigen insgesamt eine große Variabilität (316). Die zielorientierte, protokollbasierte Therapie führte zu einer Reduktion der postoperativen Nierenschädigung (Odds Ratio 0,59).

Zusammenfassend kann man feststellen:

- Die untersuchten Patientenkollektive sind sehr heterogen.
- Die eingesetzten Protokolle und die verwendeten Zielparameter zur Abschätzung der Volumenreagibilität sind ebenfalls sehr heterogen.
- Druckbasierte statische Parameter wie ZVD und / oder PAOP eignen sich nicht zur Abschätzung der Volumenreagibilität.
- SVV und PP-Var. eignen sich zur Abschätzung der Volumenreagibilität.
- Der ösophageale Doppler ist eine Möglichkeit zur kontinuierlichen Überwachung des Volumenstatus.
- Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine verbindlichen Protokolle zur Steuerung der Volumentherapie. Dennoch sollten zur peri-operativen Volumentherapie Behandlungsalgorithmen eingesetzt werden, die vorwiegend flussbasierte Parameter als Zielvariablen der hämodynamischen Optimierung verwenden.

## Kapitel 6b: Steuerung der Volumentherapie bei ICU-Patienten

Zugrunde liegende Literatur: (19, 20, 35-39, 41, 46, 47, 49, 51-59, 61, 62, 64, 65, 67, 72, 76, 77, 82, 85, 86, 319, 320)

Statement S-6	GoR
<p>Eine Aussage zur Steuerung der Flüssigkeitstherapie anhand hämodynamischer Surrogatparameter ist aufgrund der Datenlage weiterhin nicht möglich, da diese nur im Kontext von Algorithmen getestet wurden. Trotzdem halten wir ein Monitoring einzelner Surrogatparameter bei Patienten mit hohem Risiko* in der perioperativen Phase für sinnvoll.</p> <p><i>* Patienten mit vorbestehend eingeschränkter kardiovaskulärer Reserve (z.B. hochbetagte Patienten mit hüftnaher Fraktur) oder Eingriffe mit großen Volumenverschiebungen (z.B. ausgedehnte abdominalchirurgische Eingriffe)</i></p>	---
Empfehlung 6b-1	GoR
Die klinische Beurteilung des Volumenstatus (z.B. Rekapillarisierungszeit, Hautturgor, sowie Beurteilung der Schleimhäute) soll zur Steuerung der Volumentherapie im Kontext der apparativen Untersuchungen durchgeführt werden.	A

### Erläuterung zur Empfehlung 6b-1

Die klinische Untersuchung versucht

- festzustellen, ob die Symptome des Patienten durch eine Hypovolämie verursacht werden und
- das Ausmaß der Hypovolämie festzulegen (87).

Die Untersuchung des Hautturgors beschreibt den elastischen Recoil der Haut, die zwischen zwei Fingern angehoben wird. Das Protein Elastin ist für diesen Recoil vorwiegend verantwortlich und wird maßgeblich durch den Feuchtigkeitsgehalt der Haut bestimmt (321). Schon 3,4% Verlust des Flüssigkeitsgewichts verlängert den Recoil der Haut nach Anheben mit zwei Fingern um das 40-fache. Mit zunehmendem Alter wird das Elastin abgebaut. Damit nimmt der Hautturgor mit dem Alter ab. Es liegen keine Studien vor, die einen normalen

Hautturgor beschreiben. Ebenfalls liegen keine Studien zur exakten Beschreibung der Technik zur Bestimmung des Hautturgors vor (87).

Die zelluläre Dehydratation, der interstitielle Flüssigkeitsmangel und eine schlechte Perfusion sind für viele weitere, klinisch akzeptierte Zeichen einer Hypovolämie verantwortlich. Dazu zählen eine verlängerte Rekapillarierungszeit, trockene Zunge, eine trockene Axilla und weiche Augenbulbi. Es liegen nur wenige Studien vor, die die Genauigkeit dieser klinischen Zeichen zum Nachweis einer Hypovolämie untersuchen. In der klinischen Untersuchung von Patienten mit Verdacht auf akuten Volumenmangel ist die Rekapillarierungszeit das klinisch gebräuchlichste Zeichen, welches auch mit anderen Tests wie dem „passive leg raising“ kombiniert mit guter Sensitivität und Spezifität zur Vorhersage einer Volumenreagibilität herangezogen werden kann (322). Der Nachweis einer trockenen Axilla erhöht zwar die Wahrscheinlichkeit einer Hypovolämie (positives Odds ratio 2,8; 95%-KI 1,4-5,4), obwohl die Sensitivität nur 50% beträgt (323). Der Nachweis einer feuchten Axilla schwächt die Wahrscheinlichkeit eines Volumenmangels hingegen nur geringfügig ab (negatives Odds ratio 0,6; 95%-KI 0,4-1,0); diese klinischen Zeichen sind daher nicht gebräuchlich zur Einschätzung eines akuten Volumenmangels.

In einer Studie mit 55 älteren Patienten mit Verdacht auf Hypovolämie korrelierten 7 klinische Zeichen (Verwirrtheit, Schwäche der Extremitäten, verwaschene Sprache, trockene Schleimhäute, eine trockene Zunge, gefurchte Zunge sowie eingefallene Augenbulbi) am besten mit dem Serum-Natrium und der Serum-Harnstoff / Serum-Kreatinin Ratio (324). Das Fehlen trockener Schleimhäute, eingefallener Augenbulbi sowie einer gefurchten Zunge sprechen am ehesten gegen eine Hypovolämie.

Trotz fehlender hochgradiger Evidenz sollte immer eine gründliche körperliche Untersuchung erfolgen und die erhobenen Befunde kritisch mit den apparativen Untersuchungsergebnissen und dem invasiven hämodynamischen Monitoring abgeglichen werden.

Empfehlungen 6b-2, 6b-3, 6b-4	GoR
Zur Steuerung der Volumentherapie bei Erwachsenen, insbesondere beatmeten Intensivpatienten, sollen Überwachungsverfahren, die eine Einschätzung der Volumenreagibilität anhand flussbasierter (Schlagvolumen) und/oder dynamischer Vorlastparameter (SVV, PP-Var.) erlauben, statischen Parametern (ZVD, PAOP) vorgezogen werden.	A

Zur Steuerung der Volumentherapie sollte die wiederholte Überprüfung der Volumenreagibilität mittels Messung des Schlagvolumens oder eines dynamischen Vorlastparameters erfolgen.	B
Wenn möglich soll zur Steuerung der Volumentherapie ein standardisiertes „passive leg raise“ Manöver durchgeführt werden.	A

### Erläuterung zu den Empfehlungen 6b-2, 6b-3, 6b-4

Trotz fehlender wissenschaftlich begründeter Evidenz wird der zentralvenöse Druck (ZVD) immer noch in der Steuerung der Volumentherapie eingesetzt. Schon 2008 wurde in einer Metaanalyse eine unzureichende Übereinstimmung des ZVD mit dem Volumenstatus nachgewiesen. Veränderungen des ZVD ( $\Delta$ ZVD) korrelierten nicht mit Veränderungen des Schlagvolumens nach einer definierten Volumengabe (Volumen-Challenge) (325). Die Fläche unter der ROC Kurve betrug 0,56. Aktuell wurden erneut 43 Studien in einer Metaanalyse zur Bedeutung des ZVD in unterschiedlichen klinischen Szenarien zusammengefasst (93). Insgesamt wurden 43 Studien in die Analyse einbezogen, davon beschäftigten sich 22 Studien mit intensivmedizinischen Patienten, 20 Studien analysierten den Einsatz des ZVD im operativen Monitoring und 1 Studie wurde mit Probanden durchgeführt. Als Einschlusskriterien musste der ZVD in den Studien zur Vorhersage der Volumenreagibilität untersucht werden. Volumenreagibilität entsprach einem Anstieg des HZV oder SV nach einem Volumen-Challenge oder nach passiven Anheben der Beine ("passive leg raising", PLR). Die meisten Studien definierten eine Volumenreagibilität als einen Anstieg des HI bzw. SVI um  $\geq 15\%$ . Als Volumen-Challenge wurden 500ml Flüssigkeit (in der Regel HES) intravenös verabreicht. Daten zur Receiver Operating Characteristic Kurve waren in 20 Studien verfügbar. Insgesamt waren  $57 \pm 13\%$  der Patienten volumenreagibel. Der mittlere ZVD der Ausgangsmessung betrug  $8,2 \pm 2,3$  mmHg in der volumenreagiblen Gruppe und  $9,5 \pm 2,2$  mmHg bei nicht volumenreagiblen Patienten. Der Flächenwert unter der ROC Kurve lag bei 0,56 (95%-KI 0,54; 0,58). Es fand sich kein Unterschied zwischen Intensivpatienten und Patienten im Operationsraum. Kardiochirurgische und nicht-kardiochirurgische Patienten zeigten ebenfalls gleiche Ergebnisse. Die Korrelation der initialen ZVD-Messung mit der Veränderung des HI/SVI war in allen Patientengruppen völlig unzureichend. Der ZVD und auch der pulmonalarterielle Okklusionsdruck (PAOP) entsprechen nicht der tatsächlichen kardialen Vorlast und es besteht auch kein linearer Zusammenhang. Der ZVD wird üblicherweise als Differenz zwischen dem Intravasalraum und dem Atmosphärendruck gemessen wird. Für die Füllung des Ventrikels ist jedoch primär der transmurale Druck, d.h. die Differenz zwischen dem intraventrikulären und dem perikardialen Druck, relevant. Der intraperikardiale Druck ist jedoch unter klinischen Bedingungen nicht verfügbar. Somit bleibt der tatsächliche transmurale



Druck folglich unbekannt und der gegen den Atmosphärendruck gemessene Druckwert wird somit unter Vernachlässigung dieses physiologischen Zusammenhangs routinemäßig als Füllungsdruck genutzt. Gerade unter Beatmungsbedingungen mit intermittierender positiver Druckbeatmung oder bei Anwendung des positiven endexpiratorischen Drucks (PEEP) kommt es zu einer Zunahme des ZVD ohne gleichzeitige Zunahme eines enddiastolischen Ventrikelvolumens (326).

Darüber hinaus hängt der ZVD u. a. vom intravasalen Volumen und peripheren Gefäßtonus, der rechtsventrikulären Compliance und dem pulmonalen Gefäßwiderstand ab. Unter der Therapie mit Vasopressoren können falsch hohe Werte auftreten. Die Zufuhr von Vasopressoren kann zu einer erheblichen Zunahme des ZVD führen ohne dass sich das intravasale Volumen verändert. Eine relevante Trikuspidalinsuffizienz kann die Messwerte ebenfalls erheblich verfälschen (326).

In einer retrospektiven Studie wurden 96 beatmete Patienten mit schwerer Sepsis und septischen Schock untersucht (327). Alle Patienten wurden mit einem Pulmonalarterienkatheter überwacht. ZVD und PAOP wurden zum Ende der Expiration gemessen. Darüber hinaus wurde sichergestellt, dass die Katheter in der Zone 3 nach West lagen. Die Indikation zur Volumen-Challenge wurde bei klinischen Zeichen des akuten Kreislaufversagens oder Zeichen der Hypoperfusion gestellt. Dabei wurde bei allen Patienten über 20 Minuten 500ml 6%ige HES infundiert. Eine Zunahme des HI von  $\geq 15\%$  wurde als positive Volumenantwort („responder“) gewertet. Der Präinfusions-ZVD war bei den Respondern im Vergleich zu den Non-Respondern nicht signifikant unterschiedlich ( $8 \pm 4$  mm Hg versus  $9 \pm 4$  mm Hg), der PAOP lag vor Infusion signifikant niedriger bei den Respondern ( $10 \pm 4$  mmHg versus  $11 \pm 4$  mmHg,  $p < 0,05$ ). Ein ZVD von  $< 8$  mmHg hatte einen positiv prädiktiven Wert (PPW) von nur 51%, ein PAOP  $< 11$  mmHg einen PPW von nur 54%. Die Kombination von ZVD und PAOP verbesserte die Vorhersage nicht, auch bei Patienten mit einem niedrigen Schlagvolumenindex von  $< 30$  ml/m<sup>2</sup> hatten ZVD und PAOP keine ausreichende Vorhersagekraft für eine positive Volumenantwort.

Bei gesunden Probanden konnte gezeigt werden, dass Veränderungen des ZVD und PAOP vor und nach Gabe von 3 Litern NaCl 0,9% über 3 Stunden nicht mit Veränderungen des linksventrikulären enddiastolischen Volumenindex (LVEDVI) korrelierten [98]. Die normalen statischen Druckmessungen von ZVD und PAOP reflektierten keinesfalls eine adäquate Füllung sowohl des rechten als auch des linken Ventrikels. Ein ZVD von 9mmHg entsprach einem rechtsventrikulären enddiastolischen Volumenindex zwischen 50 bis 90 ml/m<sup>2</sup>. Eine ähnliche Variabilität zeigte der PAOP. Hier fand sich bei einem PAOP von 11mmHg ein LVEDVI zwischen 50 und 80 ml/m<sup>2</sup> (328). Diese Daten bestätigen damit indirekt auch die ausgeprägte Variabilität der Ventrikelcompliance bei gesunden Probanden. Bei schwerkranken Patienten und vor allem Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen lässt

sich eine sinnvolle Beziehung der statischen Vorlastparameter mit enddiastolischen Volumina noch viel weniger herstellen.

Bei 22 beatmeten Patienten mit ARDS unter einer lungenprotektiven Beatmungstherapie (low tidal volume sowie hohem PEEP) wurden verschiedenen Parameter des hämodynamischen Monitorings zur Vorhersage einer Volumenreagibilität untersucht [28]. Die Pulsdruckvariation (PP-Var.) zeigte dabei mit 0,768 den besten Flächenwert unter der ROC Kurve (ZVD = 0,429, PAOP = 0,187, GEDVI = 0,323, ITBVI = 0,323, SVV = 0,606).

Bei 42 Patienten mit septischem Schock wurde die Schlagvolumenvariation (SVV) mit der Pulsdruckvariation (PP-VAR.) verglichen (47). Beide Methoden eigneten sich vergleichbar gut zur Vorhersage einer Volumenreagibilität. Der Flächenwert unter der ROC Kurve betrug für die SVV 0,92 und für die PP-Var. 0,916. Der optimale Wert der SVV zur Vorhersage der Volumenreagibilität betrug 10% und für die PP-Var. 12%.

Bei spontan atmenden Intensivpatienten können dopplerechokardiographische Bestimmungen des HZV bzw. des SV nach passivem Anheben der Beine (PLR) zuverlässig auf eine zentrale Hypovolämie hinweisen (52). Eine Zunahme des HZV bzw. SV um mehr als 12% nach Anheben der Beine zeigte einen sehr guten Flächenwert unter der ROC Kurve von 0,89 bzw. 0,90 zur Vorhersage einer Volumenreagibilität. Dieses Manöver muss auf Grund der unterschiedlichen Wirkung auf die Vorlast standardisiert erfolgen (Absenken des Kopfes und des Oberkörpers aus einem Winkel von 45 ° in eine flache Rückenlage Rückenlage bei gleichzeitigem Anheben der Beine in einen Winkel von 45 °).

In einem systematischen Review wurde die Bedeutung der transthorakalen Echokardiographie zur Abschätzung der Volumenreagibilität bei kritisch kranken Patienten untersucht (53). In dieser Analyse wurden Studien nach passivem Anheben der Beine und Bestimmung der transaortalen SVV, Studien zum Einfluss der Respiration auf die transaortale SVV sowie Studien zum Einfluss der Respiration auf den Diameter der IVC berücksichtigt. In allen eingeschlossenen Studien lag der Flächenwert unter der ROC Kurve über 0,90, so dass von einer ausgezeichneten Vorhersage einer Volumenreagibilität durch die echokardiographischen Verfahren ausgegangen werden kann.

Bei 40 beatmeten Patienten mit septischem Kreislaufversagen eigneten sich PP-VAR. und die SPV sehr gut zur Vorhersage einer Volumenreagibilität (Flächenwert unter der ROC Kurve 0,98 bzw. 0,91) (54). Der ZVD und auch der PAOP waren zur Vorhersage einer Volumenreagibilität völlig unzureichend (Flächenwert unter der ROC Kurve 0,51 und 0,40).

Empfehlung 6b-5	GoR
Zur Steuerung der Volumentherapie können Ultraschallverfahren durchgeführt werden.	0

### Erläuterung zur Empfehlung 6b-5

Ein systematisches Review (53) untersucht die Bedeutung der transthorakalen Echokardiographie zur Abschätzung der Volumenreagibilität. Transösophageale echokardiographische Studien wurden hierbei ausgeschlossen. Insgesamt wurden von 3.183 Studien schließlich 8 Studien in das systematische Review eingeschlossen. 5 Studien untersuchten die dopplerechokardiographisch bestimmte transaortale SVV zur Abschätzung der Volumenreagibilität nach passivem Anheben der Beine. Alle Studien zeigten eine gute Sensitivität (77% bis 100%) und Spezifität (88% bis 99%) zur Vorhersage einer Zunahme des SV bzw. HZV um 10-15%. Eine Studie (329) untersuchte die Volumenreagibilität durch Bestimmung der transaortalen Schlagvolumenvariation in Abhängigkeit von der Inspiration und Expiration beatmeter Patienten. Auch hier zeigte sich eine exzellente Sensitivität und Spezifität (100% und 88%) einer Schlagvolumenvariation von 9% als Schwellenwert zur Vorhersage einer Volumenreagibilität.

Zwei weitere Studien untersuchten die respiratorische Variation des Vena cava inferior Diameters bei beatmeten Patienten. Der maximale und minimale atemabhängige Durchmesser der Vena cava inferior wurde direkt unterhalb der Einmündung der Vena hepatica vermessen. Die Dehnbarkeit der Vena cava inferior wurde als prozentualer Index bestimmt. Die Studie von Barbier et al. (18) legte einen Dehnbarkeitsindex von 18% fest, die Studie von Feissel et al. (38) von 12%. Bei der erst genannten Studie ergab sich eine Sensitivität und Spezifität von 90%. In der zweiten Studie erlaubte eine Variation des Diameters der Vena cava inferior um mehr als 12% eine Diskriminierung volumenreagibler Patienten mit einem positiv prädiktiven Wert von 93% und einem negativ prädiktiven Wert von 92% (38).

Eine Limitation der eingeschlossenen Studien ergibt sich durch die geringe Anzahl eingeschlossener Patienten. Die Menge, die Art und Geschwindigkeit der verabreichten intravenösen Flüssigkeiten waren zwischen den Studien unterschiedlich.

Die Methodik wird teilweise bei kritisch kranken Patienten durch eingeschränkte Schallbedingungen und eine unzureichende Kenntnis bzw. Erfahrung der Untersucher zusätzlich limitiert.

Empfehlung 6b-6	GoR
Ultraschallverfahren sollten im Rahmen der Steuerung der Volumentherapie wiederholt durchgeführt werden, um Extravasate (z.B. Pleura, Abdomen, Darm) nachzuweisen oder auszuschließen.	B

#### Erläuterung zur Empfehlung 6b-6

Prospektive Studien zur Bedeutung des Nachweises von Extravasaten (z.B. Pleura, Abdomen, Darm oder Interstitium) im Rahmen der Beurteilung eines Volumendefizits bzw., einer Volumenüberladung liegen nicht vor.

Empfehlung 6b-7	GoR
Funktionelle hämodynamische Parameter sollen zur Beurteilung des Volumenbedarfs bzw. der Volumenreagibilität nicht isoliert bewertet werden, sondern stets unter Einbeziehung von Anamnese und klinischem Untersuchungsbefund.	A

#### Erläuterung zur Empfehlung 6b-7

Hierbei handelt es sich um eine Einschätzung der Experten, die nicht durch entsprechende Studien evidenziert wird.