



Kehl · Wilke

# Anästhesie Fragen und Antworten

5. Auflage

1655 Fakten für die  
Facharztprüfung  
und das Europäische  
Diplom für  
Anästhesiologie  
und Intensivmedizin  
(DESA)

 Springer

**Anästhesie**

**Fragen und Antworten**

Franz Kehl  
Hans-Joachim Wilke

# **Anästhesie Fragen und Antworten**

1655 Fakten für die Facharztprüfung  
und das Europäische Diplom für Anästhesiologie  
und Intensivmedizin (DESA)

**5., aktualisierte und überarbeitete Auflage**

unter Mitarbeit von  
Doris E. Kehl und Mathias J. Schreiner

**Prof. Dr. Franz Kehl**

Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin  
Städtisches Klinikum Karlsruhe  
Moltkestraße 90  
76133 Karlsruhe

**Dr. Hans-Joachim Wilke**

Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin  
und Schmerztherapie  
Johann-Wolfgang-Goethe-Universität  
Theodor-Stern-Kai 7  
60590 Frankfurt am Main

ISBN-13 978-3-642-35034-4

ISBN 978-3-642-35035-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-35035-1

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

Springer Medizin

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001, 2004, 2007, 2011, 2013

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

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

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

Planung: Ulrike Hartmann, Heidelberg

Projektmanagement: Gisela Schmitt, Heidelberg

Copy-Editing: Dr. Frauke Bahle, Merzhausen

Projektkoordination: Barbara Karg, Heidelberg

Umschlaggestaltung: deblik, Berlin

Satz: Fotosatz-Service Köhler GmbH – Reinhold Schöberl, Würzburg

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

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

# Vorwort zur 5. Auflage

---

Das Erscheinen der 5. Auflage unseres Arbeitsbuches »Anästhesie: Fragen und Antworten« bietet den Autoren erneut die willkommene Gelegenheit, allen Lesern für die erfreulich positive Aufnahme und die wertvollen Hinweise und Anregungen Dank zu sagen. Das Konzept, eine Lernhilfe anzubieten, die das Repetieren und Erarbeiten des komplexen Wissensgebiets der Anästhesiologie ermöglicht, ist offensichtlich gut angenommen worden.

Das Buch wurde gründlich überarbeitet und durch neue Fragen ergänzt. Dem vielfachen Wunsch, Tabellen und Lerntexte hinzuzufügen, haben wir aufgrund des Gesamtkonzepts und des notwendig werdenden Gesamtumfangs nicht entsprechen können. Stattdessen wird ein eigenes Buch erscheinen, in dem die Anästhesiologie in Tabellen dargestellt wird. Das vorliegende Buch kann somit weiter seinem Erfolgsrezept treu bleiben und dem Rekapitulieren und leichten Aufgreifen des Wissens dienen.

Wir wünschen den Lesern einen relevanten Wissensgewinn und viel Erfolg und Freude beim Durcharbeiten des Buches, und hoffen auf eine weiterhin konstruktiv-kritische Resonanz.

**Franz Kehl**

**Hans-Joachim Wilke**

Karlsruhe und Frankfurt am Main  
im Januar 2013

# Hinweise zum Umgang mit diesem Buch

---

Diese prüfungsrelevante und praxisnahe Fragensammlung behandelt die Schwerpunkte der Fachgebiete Anästhesie und Intensivmedizin und soll Sie bei Ihrer Prüfungsvorbereitung gezielt unterstützen. Die Fragen sind auf die schriftliche Prüfung des Europäischen Exams abgestimmt, so dass ein effektives Rekapitulieren und Lernen für die Prüfungsvorbereitung möglich ist.

Die Belegung einzelner Fakten durch Literatur ist bewusst auf ein Minimum reduziert worden. Der Leser hat Zugang zu den umfangreichen Lehrbüchern, um sich in ein Gebiet einzulesen und dort das entsprechende Wissen in einem größeren Zusammenhang anzueignen. Zum anderen sind die Autoren davon überzeugt, dass eine ausführliche Literaturangabe bei diesem Fragenkatalog nicht von Nutzen ist. Im Anhang findet sich eine Auflistung von wegweisenden Studien in der Anästhesie.

Ohne eine solide Prüfungsvorbereitung mit Hilfe von Lehrbüchern, die orientierend im Anhang aufgeführt sind, ist es unwahrscheinlich, erfolgreich am Examen für das Europäische Diplom oder der Facharztprüfung teilzunehmen. Es gibt zwei Möglichkeiten dieses Buch effektiv zu nutzen:

- Zu Beginn seiner Prüfungsvorbereitung kann man sukzessive die Fragen bearbeiten, um seine individuellen schwachen Wissensbereiche zu erkennen und entsprechend diese Lücken aufzuarbeiten. Die Fragen sind nach Fachgebieten geordnet, sodass spezielle Themengebiete gezielt durchgearbeitet werden können.
- Am Ende seiner Prüfungsvorbereitung kann man noch vorhandene Schwachstellen einem erneuten Lernzyklus unterziehen und sich die in diesem Buch wiedergegebenen Fakten einprägen.

Der Fragenaufbau zeigt einen konsequenten Aufbau: Jede Frage gibt fünf Antworten zur Auswahl. Es folgen die fünf Antworten jeweils mit ausführlichem Kommentar. Am besten deckt man die Antworten mit einer Karte ab und notiert sich seine Antwortauswahl.

Bei der Examensvorbereitung sollte man der Neigung widerstehen, in einem starken Wissensgebiet noch mehr Detailwissen anzuhäufen. In dem Bestreben eine hohe Punktzahl zu erreichen, ist es besser, die Schwächen auszugleichen und in einem Gebiet dazuzulernen, das noch nicht beherrscht wird.

Wir wünschen viel Erfolg bei der Prüfung!

# Inhaltsverzeichnis

---

## I Fragen und Antworten

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>3</b>
1.1	Klinische Chemie	3
1.2	Physik	19
1.3	Statistik	30
<b>2</b>	<b>Physiologie</b>	<b>33</b>
2.1	Gerinnung	66
2.2	Hormonsystem	78
2.3	Lungenphysiologie	84
<b>3</b>	<b>Pharmakologie</b>	<b>98</b>
3.1	i.v.-Anästhetika	101
3.2	Inhalationsanästhetika	107
3.3	Muskelrelaxantien	115
3.4	Opioide	125
3.5	Antihypertensiva	131
3.6	Diuretika	136
3.7	Antidepressiva	138
3.8	Katecholamine	143
3.9	Adrenerge Rezeptorenblocker	145
3.10	Antiarrhythmika	149
<b>4</b>	<b>Anästhesie</b>	<b>156</b>
<b>5</b>	<b>Regionalanästhesie</b>	<b>174</b>
5.1	Neuroanästhesie	186
5.2	Neurologie	192
5.3	Herz-Thorax-Chirurgie	201
5.4	Kinderanästhesie	217
5.5	Geburtshilfe	222
5.6	Geriatric	230
5.7	Maligne Hyperthermie	233

5.8    **Porphyrie** . . . . . 237

5.9    **Schock** . . . . . 241

5.10   **Schmerztherapie** . . . . . 245

**6      Intensivmedizin** . . . . . 247

**II    Wegweisende Studien in der Anästhesie**

**7      Klinische Studien** . . . . . 271

**Stichwortverzeichnis** . . . . . 295



# Fragen und Antworten

## Kapitel 1

Allgemeines – 3

## Kapitel 2

Physiologie – 33

## Kapitel 3

Pharmakologie – 98

## Kapitel 4

Anästhesie – 156

## Kapitel 5

Regionalanästhesie – 174

## Kapitel 6

Intensivmedizin – 247

# Allgemeines

## 1.1 Klinische Chemie

---

### ? 1 Der $pO_2$ einer Blutprobe:

- a. fällt mit Zunahme der Zeit zwischen Entnahme und Messung ab.
- b. wird in der klinischen Praxis am häufigsten mit der Clark-Elektrode gemessen.
- c. wird durch die Pulsoximetrie erfasst.
- d. kann mittels Massenspektrometrie ermittelt werden.
- e. kann durch Fluoreszenzlöschung (»fluorescence quenching«) ermittelt werden.

### ✓ Antworten

- a. **Richtig.** Da die Erythrozyten in der Blutprobe weiterhin einen Stoffwechsel haben, werden die Werte für  $pO_2$  und  $pCO_2$  gegensinnig verändert. Der  $pO_2$  fällt mit der Zeit ab, während der  $pCO_2$  ansteigt. Eine schnelle Probenverarbeitung (10 min) ist daher eine Voraussetzung für die exakte Partialdruckbestimmung.
- b. **Richtig.** Die Clark-Elektrode ist die Grundlage für die Messung des  $pO_2$  in den gebräuchlichen Blutgasanalysatoren. Sie besteht aus einer Platinkathode und einer Silberanode, die in eine Elektrolytlösung eingetaucht sind. Umschlossen wird diese Vorrichtung von einer  $O_2$ -permeablen Membran. Wird eine Spannung angeschlossen, fließt ein Strom in Abhängigkeit vom  $pO_2$ .
- c. **Falsch.** Die Pulsoximetrie erfasst die  $O_2$ -Sättigung des Hämoglobins, nicht den  $pO_2$ .
- d. **Richtig.** Die Massenspektrometrie ist ein Verfahren zur Messung des  $pO_2$  in der Gasphase.
- e. **Richtig.** Das Phänomen der Fluoreszenzlöschung kann als sog. Optode auch zur Messung des  $pO_2$  herangezogen werden.

## ? 2 Für die O<sub>2</sub>-Bindungskurve treffen folgende Aussagen zu:

- Der Halbsättigungsdruck beträgt für arterielles Blut unter Normalbedingungen 50 mmHg.
- Eine Rechtsverschiebung der O<sub>2</sub>-Bindungskurve bedeutet eine Zunahme des Halbsättigungsdrucks.
- Eine Azidose führt zu einer Linksverschiebung der O<sub>2</sub>-Bindungskurve.
- Eine pCO<sub>2</sub>-Erhöhung führt zu einer Rechtsverschiebung der O<sub>2</sub>-Bindungskurve.
- Eine Temperaturzunahme führt zu einer Linksverschiebung der O<sub>2</sub>-Bindungskurve.

## ✓ Antworten

- Falsch.** Der Halbsättigungsdruck unter normalen Bedingungen (Temperatur = 37 °C, pH-Wert = 7,4) beträgt 26 mmHg.
- Richtig.** Eine Rechts- oder Linksverschiebung bezieht sich auf die Veränderung der sigmoidalen O<sub>2</sub>-Bindungskurve, gemessen an ihrem jeweiligen Halbsättigungsdruck in Relation zu dem Halbsättigungsdruck unter Normalbedingungen. Eine Rechtsverschiebung bedeutet eine Zunahme des Halbsättigungsdrucks und eine Linksverschiebung eine Abnahme des Halbsättigungsdrucks. Eine Zunahme des Halbsättigungsdrucks bedeutet vereinfacht ausgedrückt eine erschwerte O<sub>2</sub>-Aufnahme in der Lunge und eine erleichterte O<sub>2</sub>-Abgabe im peripheren Gewebe. Eine Linksverschiebung hat genau umgekehrte Folgen.
- Falsch.** Eine Azidose führt zu einer Rechtsverschiebung der O<sub>2</sub>-Bindungskurve.
- Richtig.** Dies ist auch als sog. Bohr-Effekt bekannt und erleichtert den O<sub>2</sub>-Austausch in der Lunge und dem peripheren Gewebe durch die gegensinnigen Verschiebungen bei der CO<sub>2</sub>-Aufnahme und O<sub>2</sub>-Abgabe.
- Falsch.** Eine Temperaturzunahme führt zu einer Rechtsverschiebung der O<sub>2</sub>-Bindungskurve.

## ? 3 Bezüglich des Säure-Basen-Haushaltes (SBH) treffen folgende Aussagen zu:

- Das Hauptpuffersystem des Blutes ist das Bikarbonatsystem.
- Sind Bikarbonatkonzentration und pCO<sub>2</sub> bekannt, kann man den pH-Wert des Blutes berechnen.
- Bikarbonat fungiert als Säure und H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> als Base.

- d. Eine Azidose resultiert, wenn der  $p\text{CO}_2$  erniedrigt oder das  $\text{HCO}_3$  erhöht ist.
- e. Eine Alkalose resultiert, wenn der  $p\text{CO}_2$  erhöht oder das  $\text{HCO}_3$  erniedrigt ist.

### ✓ Antworten

- a. **Richtig.** Unter den verschiedenen Puffersystemen des Blutes spielt das Bikarbonatpuffersystem die Hauptrolle, da sowohl die Säuren- als auch Basenkomponente durch Lunge und Niere eingestellt bzw. geregelt werden können. Neben Bikarbonat können auch noch im Plasma vorhandenes Phosphat und Protein eine Pufferwirkung haben.
- b. **Richtig.** Nach der Henderson-Hasselbalch-Gleichung kann man den pH-Wert berechnen, wenn die Konzentrationen von Säure- und Baseanteilen bekannt sind. Die Formel für die Berechnung des pH-Wertes für das Bikarbonatsystem lautet:  
$$\text{pH} = 6,1 + \log \left[ \frac{[\text{HCO}_3] \text{ [mmol/l]}}{(0,03 \times p\text{CO}_2 \text{ [mmHg]})} \right]$$
- c.  $\text{pH} = 6,1 + \log [\text{HCO}_3 \text{ [mmol/l]} / (0,03 \times p\text{CO}_2 \text{ [mmHg]})]$ .
- d. **Falsch.** Bikarbonat fungiert dabei als Base und  $\text{H}_2\text{CO}_3$  als Säure.
- e. **Falsch.** Es ist genau umgekehrt. Eine Azidose ( $\text{pH} < 7,38$ ) resultiert, wenn der  $p\text{CO}_2$  erhöht oder das  $\text{HCO}_3$  erniedrigt ist.
- f. **Falsch.** Es ist genau umgekehrt. Eine Alkalose ( $\text{pH} > 7,42$ ) resultiert, wenn der  $p\text{CO}_2$  erniedrigt oder das  $\text{HCO}_3$  erhöht ist.

### ? 4 Die Anionenlücke wird größer bei folgenden Azidoseformen:

- a. bei Diarrhoe
- b. bei Salicylatvergiftung
- c. bei akutem oder chronischem Nierenversagen
- d. bei der diabetischen Ketoazidose
- e. bei renal tubulärer Azidose

### ✓ Antworten

- a. **Falsch.** Die Anionenlücke ist die Differenz aus Natrium und der Summe aus Chlorid und Bikarbonat und beträgt 8–16 mmol/l. Sie wird herangezogen, um Azidoseformen mit und ohne Veränderung der Anionenlücke zu differenzieren. Alle Azidoseformen, die auf eine Veränderung des Anions Chlorid ( $\text{HCl}$  = Salzsäure) zurückzuführen sind, haben eine normale Anionenlücke, weil ein Abfall der Bikarbonatkonzentration durch einen Anstieg der Chloridkonzentration ausgeglichen wird. Bei einer Diarrhoe entstehen Bikarbonatverluste, die durch einen Anstieg

der Chloridionen ausgeglichen werden, sodass die Anionenlücke normal bleibt.

- b. **Richtig.** Sowohl eine Salicylat- als auch Methanol- und Glykolvergiftung führen zu einer Vergrößerung der Anionenlücke.
- c. **Richtig.** Durch eine Azotämie entsteht eine Vergrößerung der Anionenlücke.
- d. **Richtig.** Die Anreicherung von Ketonkörpern führt zu einer Vergrößerung der Anionenlücke.
- e. **Falsch.** Die renal tubuläre Azidose geht nicht mit einer Vergrößerung der Anionenlücke einher.

### ? 5 Die $\alpha$ -stat-Säure-Basen-Haushalt-Regulierung:

- a. bedeutet die Einstellung des  $p\text{CO}_2$  so, dass ein pH-Wert von 7,4 bei auf Körpertemperatur korrigierten Blutgaswerten resultiert.
- b. bedeutet die Einstellung des  $p\text{CO}_2$  so, dass ein pH-Wert von 7,4 bei auf 37°C bezogenen Blutgaswerten resultiert (ungeachtet der aktuellen Körpertemperatur).
- c. ist mit einem Verlust der zerebralen Autoregulation des Blutflusses während Hypothermie und hohem  $p\text{CO}_2$  assoziiert.
- d. ist typisch für Säugetiere, die einen Winterschlaf haben.
- e. führt zu alkalotischen und hypokarbischen Blutgaswerten während eines kardiopulmonalen Bypasses in Hypothermie.

### ✓ Antworten

- a. **Falsch.** Dies ist die Definition der pH-stat-Säure-Basen-Haushalt-Regulierung.
- b. **Richtig.** Dies ist die Definition der  $\alpha$ -stat-Säure-Basen-Haushalt-Methode.
- c. **Falsch.** Dies wird der pH-stat-Methode angelastet. Gerade dieser Umstand ist der Hintergrund für die Befürwortung der  $\alpha$ -stat-Methode für Patienten im kardiopulmonalen Bypass in Hypothermie, obwohl bisherige Studien über das neurologische Outcome nach kardiopulmonalem Bypass keinen eindeutigen Vorteil nachweisen konnten (Miller, S. 1396).
- d. **Falsch.** Säugetiere, die einen Winterschlaf haben, nutzen die pH-stat-Methode. Wechselwarme Tiere regulieren ihren Säure-Basen-Haushalt nach der  $\alpha$ -stat-Methode.
- e. **Richtig.** Der pH-Wert von hypothermem Blut ist im Vergleich zu normothermem Blut (37°C) tatsächlich 0,015 pH-Einheiten/°C alkalischer.

**? 6 Eine Hypokaliämie:**

- a. kann durch chronische Einnahme von Laxanzien hervorgerufen werden.
- b. kann durch einen Hypoaldosteronismus hervorgerufen sein.
- c. wird bei der parenteralen Zufuhr von  $\beta$ -Agonisten beobachtet.
- d. kann sich im EKG durch eine U-Welle manifestieren.
- e. verlängert das QT-Intervall.

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Eine Hypokaliämie kann durch gastrointestinale oder renale Verluste entstehen, d. h. die chronische Einnahme von Laxanzien oder Diuretika prädisponiert zu einer Hypokaliämie.
- b. **Falsch.** Ein Hyperaldosteronismus führt zu einer Hypokaliämie.
- c. **Richtig.** Die Aktivierung von  $\beta$ -Rezeptoren führt zu einer Hypokaliämie. Umgekehrt kann die medikamentöse  $\beta$ -Rezeptorenblockade zu einem Anstieg des Serumkaliums führen (Berne, S. 745).
- d. **Richtig.** EKG-Veränderungen bei Hypokaliämie zeigen sich in einer Abflachung der T-Welle, dem Auftreten einer U-Welle und einem Absenken der ST-Strecke.
- e. **Richtig.** Siehe Antwort d. Zusätzlich kann eine QT-Verlängerung beobachtet werden.

**? 7 Eine Hyperkaliämie:**

- a. kann bei einem Nierenversagen auftreten.
- b. kann durch eine Azidose verstärkt werden.
- c. zeigt sich im EKG durch eine Vergrößerung der P-Welle.
- d. zeigt sich im EKG durch eine vergrößerte und spitze T-Welle.
- e. ist lebensbedrohlich, wenn im EKG eine Verbreiterung des QRS-Komplexes zu sehen ist.

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Dies ist eine typische Begleiterscheinung des Nierenversagens und erfordert u. U. eine invasive Therapie. Andere Ursachen für eine Hyperkaliämie sind die Gabe von Mineralokortikoiden, Spironolacton, Succinylcholin und alten Erythrozytenkonzentraten.
- b. **Richtig.** Eine Azidose verstärkt eine bestehende Hyperkaliämie, umgekehrt kann man durch Alkalisierung mittels Bikarbonatzufuhr eine symptomatische Therapie durchführen.

- c. **Falsch.** Eine Hyperkaliämie führt zu einer Abflachung bzw. zu einem Verschwinden der P-Welle.
- d. **Richtig.** Typisches Zeichen einer Hyperkaliämie ist die vergrößerte und spitz zulaufende T-Welle im EKG.
- e. **Richtig.** Kommt es unter Hyperkaliämie zu einer intraventrikulären Blockierung der Erregungsausbreitung, droht Asystolie oder Kammerflimmern. Maßnahmen zur raschen Therapie der Hyperkaliämie beinhalten in der Reihenfolge der Schnelligkeit des Wirkungseintritts: die Gabe von Kalziumgluconat, Natriumbikarbonat, Glukose/Insulin und Diuretika.

### ? 8 Eine Hypermagnesiämie:

- a. ist fast immer iatrogen bedingt.
- b. ist manifest, wenn eine Hyperreflexie besteht und epileptische Anfälle auftreten.
- c. potenziert die Wirkung von Anästhetika.
- d. vermindert die Wirkung von nichtdepolarisierenden Muskelrelaxanzien.
- e. kann durch Gabe von Kalziumgluconat antagonisiert werden.

### ✓ Antworten

- a. **Richtig.** Der häufigste Grund für eine Hypermagnesiämie ist die parenterale Zufuhr von Magnesium zur Behandlung einer EPH-Gestose. Insbesondere bei Patienten mit einer Niereninsuffizienz besteht die Gefahr der Hypermagnesiämie.
- b. **Falsch.** Eine Hypermagnesiämie führt zu einer Abschwächung der Reflexe und ist in der Lage, epileptischen Anfällen vorzubeugen, weswegen es gerade zur Therapie einer EPH-Gestose eingesetzt wird. Die Nebenwirkungen korrelieren dabei eng mit dem Serumspiegel für Magnesium. Das Erlöschen von Muskeleigenreflexen tritt bei 10 mmol/l auf, eine Lähmung der Atemmuskulatur oder ein Herzstillstand bei 12 mmol/l.
- c. **Falsch.** Es ist bisher keine Interaktion von Magnesium und Anästhetika beschrieben worden.
- d. **Falsch.** Erhöhte Magnesiumspiegel potenzieren die Wirkung von nichtdepolarisierenden Muskelrelaxanzien.
- e. **Richtig.** Kalzium ist ein antagonistisches Kation für Magnesium.

**? 9 Eine Hyponatriämie:**

- a. wird häufig durch mentale Störungen manifest.
- b. sollte möglichst schnell normalisiert werden, um eine ZNS-Dysfunktion zu verhindern.
- c. sollte durch Flüssigkeitsrestriktion behandelt werden.
- d. kann Ausdruck eines paraneoplastischen Syndroms sein.
- e. kann auf ein TUR-Syndrom hinweisen.

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Desorientiertheit, Verwirrung und Sedierung können mentale Störungen sein, die eine Hyponatriämie begleiten.
- b. **Falsch.** In der Regel sollten Hyponatriämien langsam ausgeglichen werden, da schnelle Natriumserumspiegelanstiege in Zusammenhang mit dem Entstehen einer zentralen pontinen Myelinolyse gebracht wurden.
- c. **Richtig.** Eine Hyponatriämie ist meist Ausdruck einer Hyperhydratation. Daher sollte als Therapie eine Flüssigkeitsrestriktion im Mittelpunkt stehen.
- d. **Richtig.** Das Syndrom der inadäquaten ADH-Sekretion (SIADH) kann als paraneoplastisches Syndrom zu einer Hyponatriämie führen. Hierbei kommt es durch eine überschießende Ausschüttung von ADH zu einer »euvolämischen« Hyponatriämie, da der Flüssigkeitsüberschuss dabei im Mittel nur ca. 5 l beträgt.
- e. **Richtig.** Eine mentale Störung in Verbindung mit einer Hyponatriämie weist auf das Bestehen eines TUR-Syndroms hin.

**? 10 Die Laktatkonzentration im Plasma kann bei den folgenden Zuständen erhöht sein:**

- a. Hypoxämie
- b. Thiaminmangel
- c. Status epilepticus
- d. Hypothermie
- e. Hypermetabolismus

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Bei O<sub>2</sub>-Mangel bauen die Zellen Glukose anaerob zu Laktat- und Wasserstoffionen ab. Wenn diese Ionen nicht weiter verstoffwechselt bzw. abgepuffert werden, erhöht sich die Serumlaktatkonzentration,



und der pH-Wert fällt ab. Beim anaeroben Abbau von 1 mol Glukose zu Milchsäure beträgt der Nettoenergiegewinn nur 2 mol ATP im Gegensatz zu 38 mol ATP beim aeroben Abbau.

- b. **Richtig.** Auch bei Thiaminmangel kann es (ohne gleichzeitige Hypoxie) zu vermehrter Produktion von Milchsäure kommen. Thiamin (Vitamin B<sub>1</sub>) ist ein Kofaktor bei der Umwandlung von Pyruvat zu Acetyl-CoA, welches dann in den Zitratzyklus eingeschleust wird. Bei Vitamin-B<sub>1</sub>-Mangel kann Pyruvat nur vermindert zu Acetyl-CoA umgebaut werden, und das Pyruvatmolekül wird zu Milchsäure verstoffwechselt. Die Verwendung von Laktationen zur Glukoneogenese ist bei Thiaminmangel nicht behindert.
- c. **Richtig.** Bei epileptischen Krampfanfällen, insbesondere im Status epilepticus, kann es zu einer Laktatazidose im Plasma kommen.
- d. **Falsch.** Bei Hypothermie kommt es generell zu einer Stoffwechselverlangsamung (RGT-Regel) und zu einem reduzierten O<sub>2</sub>-Bedarf und daher per se nicht zu einer vermehrten Bildung von Laktat- und Wasserstoffionen.
- e. **Richtig.** Bei einem Hypermetabolismus (MH) kann gleichzeitig ein relativer O<sub>2</sub>-Mangel bestehen, sodass Zellen die anaerobe Glykolyse zur Energiegewinnung einsetzen.

### 11 Folgende Aussagen zum Laktatmetabolismus treffen zu:

- a. Pyruvat ist das Endprodukt der anaeroben Glykolyse.
- b. Beim Gesunden sind Serumlaktatwerte bis zu 4 mmol/l normal.
- c. Ein normaler Serumlaktatspiegel schließt eine Gewebeischämie/Hypoxie aus.
- d. Der Serumlaktatspiegel sollte nur im arteriellen Blut bestimmt werden.
- e. Eine mittelschwere Leberfunktionsstörung führt als alleinige Ursache nicht zu einem Anstieg des Serumlaktatspiegels.

### ✓ Antworten

- a. **Falsch.** Laktat- und Wasserstoffionen sind die Endprodukte der anaeroben Glykolyse. Laktat wird anaerob abgebaut oder zu Pyruvat mittels Laktatdehydrogenase metabolisiert. Pyruvat kann zur Glukoneogenese verwandt oder in den Zitratzyklus eingeschleust werden. Auch beim Gesunden entstehen immer gewisse Mengen an Laktat als Ausdruck einer parallel laufenden anaeroben Glykolyse. Dabei gilt ein Laktatspiegel <2,2 mmol/l als normal.
- b. **Falsch.** Bei kritisch kranken Patienten gelten leicht erhöhte Laktatwerte bis ca. 4,0 mmol/l als normal.

- c. **Falsch.** Gerade beim Vorliegen einer regionalen Gewebeischämie/Hypoxie kann es zu einer Verdünnung der gebildeten Laktat- und Wasserstoffionen im venösen Blutstrom kommen. Normale Laktatwerte schließen daher das Vorliegen von regionalen Einzelorganischämien/Hypoxien grundsätzlich nicht aus. Umgekehrt sind Serumlaktaterhöhungen für globale Ischämien/Hypoxien typisch, aber nicht beweisend, da z. B. ein Thiaminmangel ohne Hypoxie zu einer Laktaterhöhung führt.
- d. **Falsch.** Der Laktatspiegel kann ohne gravierende Differenzen im gemischtvenösen, zentralvenösen oder arteriellen Blut bestimmt werden.
- e. **Richtig.** Auch eine stark geschädigte Leber kann aufgrund der hohen Organreserven die anfallenden Laktationen zur Glukoneogenese heranziehen. Erst bei schwerster Schädigung der Leberfunktion (>90 % Funktionsverlust) kann die Laktatverstoffwechslung nicht mehr stattfinden, und die Leber kann selbst zu einem laktatproduzierenden Organ werden.

#### ? 12 Erhöhte Serumlaktatwerte:

- a. sind für eine Gewebeischämie/-hypoxie spezifisch.
- b. korrelieren bei längerfristiger Erhöhung bei kritisch Kranken mit einem negativen Outcome.
- c. können die Folge einer Gabe großer Mengen laktathaltiger Infusionslösungen sein.
- d. sollten Anlass geben, serielle Laktatkontrollen durchzuführen.
- e. können die Folge einer bakteriellen Besiedlung des Darms sein.

#### ✓ Antworten

- a. **Falsch.** Erhöhte Serumlaktatwerte sind für eine Gewebeischämie/-hypoxie weder spezifisch noch sensitiv. Einerseits kommt es bei einem Vitamin-B<sub>1</sub>-Mangel zu einer Laktatazidose, obwohl kein inadäquates O<sub>2</sub>-Angebot vorliegt, und andererseits kommt es trotz bestehender Einzelorganhypoxie nicht zu erhöhten Laktatwerten.
- b. **Richtig.** Trotz geringer Sensitivität und Spezifität sind konstant erhöhte Serumlaktatwerte prädiktiv für eine erhöhte Mortalität bei septischen Patienten.
- c. **Richtig.** Laktat kann von der Leber zur Glukoneogenese verwandelt werden. Die Laktatverwertungskapazität auch der vorgeschädigten Leber ist sehr hoch. Erst eine >90 %ige Schädigung der Leberfunktion kann wie bei exogener Laktatzufuhr eine Laktatämie hervorrufen.

- d. **Richtig.** Aufgrund der geringen Sensitivität und Spezifität eines einzelnen erhöhten Laktatwertes sind serielle Untersuchungen notwendig.
- e. **Richtig.** Bei Überwucherung des Darms mit Milchsäure produzierenden Bakterien kann es zur Laktatazidose kommen. Häufig jedoch verbirgt sich hinter erhöhten Laktatwerten eine Darmischämie. Sie sollte deshalb gezielt ausgeschlossen werden.

**? 13 Folgende Aussagen zum Säure-Basen-Haushalt treffen zu:**

- a. Bei Korrektur einer metabolischen Azidose mit Natriumbikarbonat kann es zu einer Verstärkung der Azidose kommen.
- b. Auch metabolische Azidosen mit einem pH-Wert von 7,20–7,34 sollten grundsätzlich durch Gabe von Puffersubstanzen therapiert werden.
- c. Eine schwere metabolische Azidose geht häufig mit einer Hypokaliämie einher.
- d. Eine metabolische Azidose führt zu einer Verschlechterung der O<sub>2</sub>-Abgabe an das Gewebe.
- e. Eine metabolische Azidose ist mit einem Abfall des ionisierten Kalziums im Plasma verbunden.

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Bei Korrektur einer metabolischen Azidose mit Natriumbikarbonat kann es zu einer Hypernatriämie und einem Anstieg des p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> kommen. 100 ml 8,4 %iges Natriumbikarbonat enthalten 100 mmol Natriumionen. Bei Abpufferung der Wasserstoffionen entsteht Kohlensäure, welche zu Wasser und Kohlendioxid zerfällt. Liegt ein ARDS mit schwierigen Beatmungsverhältnissen vor, kann das durch die Pufferung entstehende Kohlendioxid über die Lunge nicht mehr eliminiert werden und damit eine Azidose verstärken (kombinierte metabolische und respiratorische Azidose).
- b. **Falsch.** Mäßige Azidosen werden i. allg. gut toleriert, weil sie zu verschiedenen positiven Wirkungen beitragen. Eine Azidose erhöht über eine Freisetzung aus der Albuminbindung das freie ionisierte Kalzium, was zu einem Anstieg der Inotropie des Herzens und des Blutdrucks, durch eine Tonisierung des Gefäßsystems, führen kann. Gleichsinnig wirkt die unter mäßiger Azidose erhöhte endogene Katecholaminproduktion. Weiterhin tritt eine Verschiebung der O<sub>2</sub>-Bindungskurve nach rechts auf, was die O<sub>2</sub>-Abgabe an das Gewebe erleichtert. Erst bei schweren metabolischen Azidosen – pH-Wert <7,2 – dominieren die

negativen Auswirkungen: Die Ansprechbarkeit des Herzens auf endo- und exogene Katecholamine ist reduziert, es kommt zu generalisierter zerebraler und kardiovaskulärer Depression, und der Kaliumanstieg kann lebensbedrohliche Ausmaße annehmen.

- c. **Falsch.** Eine Azidose führt zu einer Hyperkaliämie. Zur Normalisierung des pH-Werts werden im Austausch mit Kaliumionen verstärkt Wasserstoffionen nach intrazellulär transportiert. Es kommt daher zu einer Erhöhung des Plasmakaliumspiegels, was bei mäßigen Azidosen in der Regel ohne negative Auswirkungen bleibt.
- d. **Falsch.** Im Gegenteil: Eine Azidose führt zu einer erleichterten  $O_2$ -Abgabe an das Gewebe.
- e. **Falsch.** Bei azidotischer Stoffwechsellaage wird freies Kalzium im Plasma erhöht, weil an Albumin gebundenes Kalzium freigesetzt wird.

**? 14 Eine metabolische Azidose kann verursacht werden durch:**

- a. Durchfall
- b. Erbrechen
- c. Diabetes mellitus
- d. Pankreasfistel
- e. Implantation der Ureter in das Kolon

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Bei Durchfall kommt es zu einem Verlust von alkalischem, bikarbonathaltigem Dünndarmsekret und damit zur Entwicklung einer metabolischen Azidose.
- b. **Falsch.** Erbrechen geht mit dem Verlust von saurem Magensaft einher, es entsteht eine metabolische Alkalose.
- c. **Richtig.** Im Rahmen eines Diabetes mellitus kommt es zur Bildung von Ketonkörpern, also fixen Säuren, die eine ausgeprägte metabolische Azidose verursachen können.
- d. **Richtig.** Es kommt zum Verlust von alkalischem Pankreassekret.
- e. **Richtig.** Es kommt zur Ausbildung einer hyperchlorämischen, metabolischen Azidose.

**? 15 Überprüfen Sie die folgenden Zuordnungen:**

- a. Katecholamintherapie: Hypoglykämie
- b. Alkalose: Hyperkaliämie
- c. Morbus Addison: Hyponatriämie

- d. Morbus Cushing: ACTH-Erhöhung
- e. Pankreatitis: Hyperkalzämie

### ✓ Antworten

- a. **Falsch.** Im Rahmen der Gabe von Katecholaminen kommt es zu einer gesteigerten Glukoneogenese, dies führt zu einer Hyperglykämie.
- b. **Falsch.** Im Rahmen einer metabolischen oder respiratorischen Alkalose nehmen die Zellen Kalium auf und geben Wasserstoffionen in den Extrazellulärraum ab, es kommt also zu einer Hypokaliämie.
- c. **Richtig.** Beim Morbus Addison kommt es durch den Ausfall der Nebennierenrinden zur verminderten Produktion von Kortison und Aldosteron. Aldosteron vermittelt die Resorption von Natrium im distalen Tubulus der Niere. Es kommt zu einer Hyponatriämie mit Hyperkaliämie.
- d. **Richtig.** ACTH-produzierende Tumore der Hirnanhangdrüse sind die häufigste Ursache des endogenen Morbus Cushing.
- e. **Falsch.** Kalzium bindet sich an das nekrotische Pankreasgewebe bzw. das peripankreatitische Fettgewebe; es kommt zu einer Hypokalzämie.

### ? 16 Eine Hypercarbämie geht einher mit:

- a. Diaphorese
- b. Erweiterung der Lungenstrombahn
- c. Erhöhung der Hirndurchblutung
- d. Miosis
- e. Hypotension

### ✓ Antworten

- a. **Richtig.** Eine mäßige Hypercarbämie führt zur Stimulation des Nebennierenmarks mit einer erhöhten Katecholaminausschüttung. Es kommt zu einer Steigerung des Blutdrucks und der Herzfrequenz sowie einer Diaphorese und Mydriasis.
- b. **Falsch.** Eine Hypercarbämie erhöht den Widerstand in der pulmonalen Strombahn; im Systemkreislauf kommt es dagegen zu einer Widerstandsverminderung mit einer Durchblutungssteigerung, u. a. des Hirns.
- c. **Richtig.** Eine Hypercarbämie führt zu einer zerebralen arteriellen Vasodilatation.
- d. **Falsch.** Siehe Antwort a.
- e. **Falsch.** Siehe Antwort a.

**? 17 Bei einem Blut-pH-Wert >7,45:**

- a. kann es zu einer Hypokaliämie kommen.
- b. ist die  $O_2$ -Affinität des Hämoglobins erhöht.
- c. kann sich die  $O_2$ -Abgabe von Hämoglobin an das Gewebe verschlechtern.
- d. kann es zu einer gesteigerten zerebralen Erregbarkeit kommen.
- e. kann es zu einem Blutdruckabfall und einer Herabsetzung der Herzleistung kommen.

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Bei alkalischem pH-Wert geben die Zellen intrazelluläre Wasserstoffionen kompensatorisch ab und nehmen extrazelluläre Kaliumionen auf. Ein pH-Anstieg um 0,1 ist mit einem Kaliumabfall von ca. 0,5 mmol/l verbunden.
- b. **Richtig.** Im alkalischen Milieu ist die  $O_2$ -Affinität des Hämoglobins erhöht, die  $O_2$ -Aufnahme in der Lunge ist erleichtert; im Bereich der peripheren Gewebe dagegen ist die  $O_2$ -Abgabe verschlechtert (Linksverschiebung der  $O_2$ -Bindungskurve).
- c. **Richtig.** Siehe Antwort b.
- d. **Richtig.** Bei Alkalose kann es zu einer gesteigerten motorischen, kardialen und zerebralen Erregbarkeit kommen. Durch den Abfall des ionisierten Kalziums (Albuminbindung) wird die membranstabilisierende Wirkung abgeschwächt und das Auftreten von Karpopedal-spasmen, Herzarrhythmien und zerebralen Krämpfen begünstigt. Die bei der Alkalose gleichzeitig bestehende Hypokaliämie kann die kardiale Arrhythmiebereitschaft zusätzlich erhöhen.
- e. **Richtig.** Durch den mit der Alkalose verbundenen Abfall des freien Kalziums kann die kardiale Kontraktilität und der Gefäßtonus (RR-Abfall) abfallen.

**? 18 Ein Serumkaliumanstieg findet sich bei:**

- a. metabolischer Azidose.
- b. Niereninsuffizienz.
- c. ausgedehnten Gewebeschäden.
- d. intravasaler Hämolyse.
- e. hypovolämischem Schock.

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Bei metabolischer Azidose werden kompensatorisch intrazelluläre Kaliumionen gegen extrazelluläre Wasserstoffionen ausgetauscht, um den pH-Wert zu normalisieren.
- b. **Richtig.** Bei der Niereninsuffizienz ist die renale Kaliumexkretion vermindert.
- c. **Richtig.** Bei jedem Zelluntergang wird Kalium aus den zerstörten Zellen freigesetzt (Crush-Syndrom).
- d. **Richtig.** Auch eine Hämolyse setzt intrazelluläres Kalium frei.
- e. **Richtig.** Beim hypovolämischen Schock kommt es aufgrund der Minderperfusion der Gewebe zu einer metabolischen Laktatazidose, welche zu einem Kaliumanstieg führt (s. Antwort a).

**? 19 Eine Hypophosphatämie kann:**

- a. mit einer Zwerchfellschwäche einhergehen.
- b. zu einer Verschlechterung der  $O_2$ -Abgabe ans Gewebe führen.
- c. durch eine Alkalose verursacht werden.
- d. bei Sepsis auftreten.
- e. durch aluminiumhaltige Antazida verursacht werden.

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Phosphat wird zur Bildung von ATP benötigt. Besteht eine Hypophosphatämie, kann es zu verschiedenen Organdysfunktionen kommen. Die Muskulatur ist hiervon auch in Form einer Myopathie betroffen, die zu einer muskulären Ateminsuffizienz führen kann.
- b. **Richtig.** Wenn der 2,3-Diphosphoglyzeratspiegel im Erythrozyten abfällt, ist die  $O_2$ -Affinität des Hämoglobins erhöht; als Folge wird Sauerstoff im Gewebe schlechter abgegeben (Linksverschiebung der  $O_2$ -Bindungskurve).
- c. **Richtig.** Bei einer Alkalose kommt es zu einem erhöhten intrazellulären Phosphatverbrauch.
- d. **Richtig.** Aufgrund der gesteigerten Stoffwechsellage in der Sepsis (s. Antwort 303d) nehmen die Zellen mehr Phosphat auf, und es kommt zu einem Phosphatabfall im Serum.
- e. **Richtig.** Aluminium bindet Phosphat und verhindert seine Resorption im Darm, sodass es zu einem Phosphatmangel kommen kann.

**? 20 Methämoglobin (Met-Hb):**

- a. entsteht vermehrt bei der Behandlung mit nitrathaltigen Medikamenten.
- b. verursacht eine Linksverschiebung der  $O_2$ -Bindungskurve.
- c. führt bei Vorliegen von etwa 5 g/dl zur Zyanose.
- d. im Methämoglobinmolekül liegt Eisen als 3-wertiges Eisen vor.
- e. wird durch Gabe von Methylen-Blau behandelt.

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Besonders Patienten, die nur über subnormale Mengen von Met-Hb-Reduktase verfügen, können bei Behandlung mit Nitroglyzerin oder Nitroprussid mit einer verstärkten Met-Hb-Bildung reagieren.
- b. **Richtig.** Die  $O_2$ -Bindungskurve ist nach links verschoben, d. h. Sauerstoff wird erschwert an das Gewebe abgegeben.
- c. **Falsch.** Eine sichtbare Zyanose besteht schon bei Vorliegen von ca. 15 % Met-Hb (=2,1 g/dl). Die Pulsoximetrie erfasst Met-Hb und zeigt erniedrigte Werte an, die allerdings keinen Rückschluss mehr auf die  $S_aO_2$  zulassen. Ein Met-Hb von ca. 1 % gilt als normal.
- d. **Richtig.** Normales Hämoglobin enthält 2-wertiges Eisen. 3-wertiges Eisen bindet  $O_2$  irreversibel, sodass Met-Hb für den  $O_2$ -Transport ausfällt. Methämoglobin hat eine auffällige braune Farbe und entsteht in geringen Mengen auch physiologischerweise. Es wird durch das im Erythrozyten vorliegende Enzym Met-Hb-Reduktase zu 2-wertigem Eisen reduziert.
- e. **Richtig.** Es wird die Gabe von 1–2 mg/kgKG i.v. empfohlen. Methylenblau vermittelt den Transfer von Elektronen des NADPH auf Met-Hb.

**? 21 Methämoglobinämie wird verursacht durch:**

- a. Atropin
- b. Prilokain
- c. Blausäure
- d. NO-Inhalation
- e. Ascorbinsäure

**✓ Antworten**

- a. **Falsch.** Auch hohe Dosen Atropin, z. B. 3 mg intravenös bei Asystolie, führen zu keiner relevanten Bildung von Methämoglobin.
- b. **Richtig.** Bei Gabe von mehr als 600 mg Prilokain kann es zu einer relevanten Bildung von Methämoglobin kommen. Prilokain wird in der



1 Leber zu Ortho-Toluidin verstoffwechselt, welches die Methämoglobinämie verursacht.

- c. **Falsch.** Blausäure führt zur Unterbrechung der Atmungskette in den Mitochondrien.
- d. **Richtig.** Die Inhalation von Stickstoffmonoxid im Rahmen der Behandlung eines ARDS kann zu klinisch relevanter Methämoglobinämie führen.
- e. **Falsch.** Ascorbinsäure (Vitamin C) kann ebenfalls zur Behandlung der Methämoglobinämie eingesetzt werden, die Dosierung ist hier 2 mg/kgKG.

## ? 22 Überprüfen Sie folgende Aussagen:

- a. Der perioperative Einsatz der viskoelastischen Point-of-care-(POC-) Gerinnungsdiagnostik reduziert sowohl den Blutverlust als auch die Exposition des Patienten gegenüber allogenen Blutprodukten.
- b. Der perioperative Einsatz der viskoelastischen Point-of-care-Gerinnungsdiagnostik senkt die Morbidität und Mortalität.
- c. Schon eine leichte Hypothermie führt zu einem erhöhten perioperativen Transfusionsbedarf.
- d. Die perioperative Gabe allogener Erythrozytenkonzentrate ist ein unabhängiger Risikofaktor für Morbidität und Mortalität.
- e. Die Exposition gegenüber einer einzigen Einheit »fresh frozen plasma« (FFP) kann zu einem transfusionsassoziierten Lungenschaden (TRALI) führen.

## ✓ Antworten

- a. **Richtig.** Prospektive, randomisierte Studien im Bereich der Kardi-chirurgie konnten nachweisen, dass durch den Einsatz viskoelastischer POC-Verfahren zur Gerinnungsdiagnostik sowohl der perioperative Blutverlust als auch der Transfusionsbedarf (Erythrozyten, Thrombozyten, Plasma) gesenkt wird; dessen ungeachtet ergab sich aber keine Senkung der Mortalität und Morbidität.
- b. **Falsch.** Siehe Antwort a.
- c. **Richtig.** Fällt die Körperkerntemperatur von ca. 36,5 °C auf 35,5 °C, also um nur ein Grad, sind der perioperative Blutverlust und der Transfusionsbedarf signifikant erhöht. Unter Hypothermie kommt es zu einer (unspezifischen) Hemmung der plasmatischen Gerinnung sowie der Thrombozytenfunktion.

- d. **Richtig.** Der Grund für diese Tatsache ist weiterhin unklar: Sind Patienten, die viele Einheiten eines Erythrozytenkonzentrats erhalten, per se kränker oder führt die Gabe der Erythrozytenkonzentrate selbst zu einer Verschlechterung des Zustands dieser Patienten? Es könnte auch ein Einfluss durch das Alter der Erythrozytenkonzentrate bestehen, da junge Konserven besser sind als ältere.
- e. **Richtig.** Beim TRALI handelt es sich um ein immunologisches Phänomen. Es wird postuliert, dass Antikörper im Spenderplasma in der Lunge des Empfängers Komplement aktivieren, was zu Leukozytensequestration mit (massiver) Entzündungsreaktion in der Empfängerlunge führt. Für die Auslösung eines TRALI genügt auch schon die Transfusion nur einer Einheit FFP. Es gibt Plasmapräparate, die so gereinigt sind, dass keine Spenderantikörper mehr enthalten sind und somit kein TRALI ausgelöst wird.

## 1.2 Physik

---

**?** 23 In der Anästhesie häufig benutzte Systeme der arteriellen Druckmessung bestehen aus einem flüssigkeitsgefüllten Schlauchsystem, das an einen elektromechanischen Druckwandler angeschlossen ist. Für diese Systeme gilt:

- a. Die Resonanzfrequenz ist die Eigenfrequenz, mit der das System oszilliert, wenn es von außen nicht angeregt wird.
- b. Das Ausmaß der Dämpfung ist indirekt proportional der Zeit, in der das System Gleichgewichtsbedingungen erreicht.
- c. Je näher die Resonanzfrequenz des Systems an der Frequenz des Messsignals liegt, desto genauer ist die Messung.
- d. Je länger die Schlauchverbindung, desto größer die Resonanzfrequenz.
- e. Luftblasen im Schlauchsystem vermindern die Resonanzfrequenz und erhöhen die Dämpfung.

### ✓ Antworten

- a. **Richtig.** Die Resonanzfrequenz ist die eine Determinante, mit der man ein Schlauch-/Druckwandler-Messsystem beschreiben kann.
- b. **Richtig.** Die Dämpfung ist die zweite Determinante, mit der man ein Schlauch-Druckwandler-Messsystem beschreiben kann.

- c. **Falsch.** Je näher die Resonanzfrequenz an der Frequenz des Messsignals liegt, desto ungenauer wird die Messung, da es zu einer Überhöhung der Schwingungsamplitude kommt. Daraus resultiert eine falsch-hohe Messung des systolischen Blutdrucks. Die Frequenz der arteriellen Blutdruckschwankungen liegt in Ruhe bei 60/min, d. h. bei 1 Hz. Weil Schwingungen 2. und 3. Ordnung durch Reflexion und Oberschwingungen auftreten ist das resultierende Frequenzspektrum etwa 10-fach höher als die Frequenz der Grundschiwingung. Das Messsignal (Blutdruckschwankung) hat demnach eine Frequenz von rund 10 Hz, und das Messsystem sollte eine Resonanzfrequenz  $>10$  Hz haben.
- d. **Falsch.** Je länger und weicher ein Schlauchsystem ist, desto geringer ist seine Resonanzfrequenz.
- e. **Richtig.** Luftblasen erhöhen die Compliance des Systems (weicher) und vermindern damit die Resonanzfrequenz. Zum anderen erhöht sich die Reibung (Luft ist kompressibel) und damit die Dämpfung. Hierbei gilt: Je mehr Masse dazwischengeschaltet wird, d. h. je dicker der Schlauch ist (mehr Flüssigkeit mehr Masse), desto größer wird die Dämpfung.

Im klinischen Alltag kann man die Resonanzeigenschaften einer gegebenen Messanordnung leicht überprüfen. Man betätigt die Spülvorrichtung der arteriellen Kanüle für einige Sekunden und zeichnet den Kurvenverlauf nach Beendigung der Spülung mit. Es treten dann Schwingungen auf, die innerhalb von maximal 2 Perioden abgeklungen sein sollten. Schwingt das System länger, ist die Eigenfrequenz zu nah an der Messsignalfrequenz. Aus der Anzahl der Schwingungen pro Sekunde lässt sich dann die Resonanzfrequenz bestimmen und aus der Abnahme der Schwingungsamplitude der aufeinanderfolgenden Schwingungen die Dämpfung.

#### **? 24 Für ein zur Messung des arteriellen Drucks benutztes Schlauch-Druckwandler-Messsystem gilt:**

- a. Die Resonanzfrequenz ist am höchsten, wenn der Schlauch möglichst steif ist und ein großes Lumen aufweist.
- b. Kritische Dämpfung ist dann gegeben, wenn nach einer plötzlichen Druckänderung keine Schwingung auftritt.
- c. Die Vergrößerung der Dämpfung vermindert den Messwert des mittleren arteriellen Drucks.
- d. Typische klinische Schlauch-/Druckwandler-Messsysteme haben eine Dämpfung von 0,2–0,3.

- e. Eine Verminderung der Dämpfung führt zu einer Vergrößerung des systolischen Druckwerts.

### ✓ Antworten

- a. **Falsch.** Die Resonanzfrequenz ist am höchsten, wenn der benutzte Schlauch möglichst steifwandig und mit einem möglichst geringen Lumen versehen ist. Dies vermindert die Masse der bewegten Flüssigkeitssäule.
- b. **Richtig.** Tritt eine kritische Dämpfung auf, wird die Kurvenform zu flach, d. h. die Amplitude wird zu klein. Für eine möglichst genaue Messung des Kurvenverlaufs des arteriellen Drucks soll eine Dämpfung resultieren, die die Amplitude nicht verändert. Dies ist theoretisch bei einem Wert von rund 60 % der kritischen Dämpfung gegeben und entspricht ungefähr einer Dämpfung von 0,5.
- c. **Falsch.** Eine Vergrößerung der Dämpfung vermindert die Amplitude der arteriellen Druckschwankung (systolische und diastolische Werte), nicht aber den mittleren arteriellen Druck.
- d. **Richtig.** Dies sind empirisch ermittelte Dämpfungswerte.
- e. **Richtig.** Siehe Antwort c. Eine Verminderung der Dämpfung führt zu einer Vergrößerung der Blutdruckamplitude.

### ? 25 Die Wheatstone-Brücke

- a. dient der Messung von Spannungsdifferenzen.
- b. dient der Messung von Widerständen.
- c. ist ein Potentiometer.
- d. wird in Druckmesssystemen eingesetzt.
- e. wird zur Impulsmessung eingesetzt.

### ✓ Antworten

- a. **Falsch.** Die Wheatstone-Brücke ist eine Zusammenschaltung von 4 Widerständen mit einem Spannungsmessgerät und einer Spannungsquelle. Sie misst über Spannungsdifferenzen ohmsche Widerstände oder Widerstandsänderungen.
- b. **Richtig.** Die Wheatstone-Brücke dient der Messung von ohmschen Widerständen und kann z. B. in temperaturabhängigen Widerständen die Grundlage für ein Thermometer sein.
- c. **Richtig.** Ein Potentiometer ist ein elektrisches Widerstandsbauelement, es gehört als Spannungsabgleichsregler zur Wheatstone-Brücke.

- 1
- d. **Richtig.** Der Druckwandler, auch Transducer genannt, realisiert die Umwandlung des Drucksignals in ein auswertbares elektrisches Signal. Die Signalumwandlung kann je nach Ausführung und Bauart des Transducers auch als Wheatstone-Brücke erfolgen, als sog. Widerstandsmanometer. Andere Bautypen sind:
1. Induktionsmanometer: Durch Auslenkung einer Membran wird innerhalb einer Spule ein Eisenkern verschoben; die induzierte Spannung dient als Messsignal.
  2. Kapazitätsmanometer: Hierbei ändert die durch den anliegenden Druck hervorgerufene Durchbiegung einer Druckmembran, welche eine Platte eines Plattenkondensators bildet, die Kapazität des Kondensators.
  3. Manometer nach dem Piezoeffekt: Bei bestimmten Quarzkristallen entsteht bei Zug- oder Druckbelastung zwischen gegenüberliegenden Flächen eine elektrische Spannung. Diese Spannung wird gemessen; sie ist proportional zur jeweiligen Belastung.
  4. Halbleiterdruckelemente: Halbleiterelemente erfahren bei Längenänderung eine Widerstandsänderung. Sie erlauben wesentlich kleinere Bauformen und haben sich insbesondere durch ihre Verwendung in Einmalprodukten durchgesetzt
- e. **Falsch.** Es findet keine Impulsmessung statt. In der Physik beschreibt Impuls die Bewegung eines massereichen Körpers. Anschaulich entspricht der Impuls ungefähr der »Wucht« zweier aufeinanderprallender Gegenstände. Jeder bewegliche Körper kann seinen Impuls bei einem Stoßvorgang ganz oder teilweise auf andere Körper übertragen bzw. von anderen Körpern übernehmen.

**? 26 Hinsichtlich der physikalischen Größe Druck gilt:**

- a. Die SI-Einheit ist Pascal (Pa) und bedeutet  $1\text{N/m}^2$ .
- b. Der Atmosphärendruck auf Seehöhe beträgt 101,3 kPa.
- c. Der Druck, der von einer Quecksilbersäule mit einer Höhe von 1 cm ausgeübt wird, entspricht dem Druck, den eine Wassersäule von 13,6 cm Höhe ausübt.
- d. Der Druck, der von einer 1 mm hohen Quecksilbersäule ausgeübt wird, wird Torr genannt.
- e. Ein Sphygmomanometer misst den intrapleuralen Druck.

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Gebräuchlicher ist die Einheit  $\text{kPa} = 1\,000\text{ Pa}$ .
- b. **Richtig.** Der Druck, der auf Seehöhe auf  $1\text{ m}^2$  lastet, beträgt  $101\,300\text{ N} = 10\,130\text{ kg} = 10,13\text{ t/m}^2 = 1,013\text{ kg/cm}^2$ . Dieser Druck heißt auch  $1\text{ atm} = \text{bar}$ . Es gilt:  $760\text{ Torr} = 760\text{ mmHg} = 1,013\text{ bar} = 1013\text{ mbar} = 101,3\text{ kPa}$ .
- c. **Richtig.** Quecksilber hat eine Dichte, die 13,6-mal größer als die von Wasser ist. Die Dichte hat die Einheit  $\text{kg/m}^3$ .
- d. **Richtig.** Zu Ehren des italienischen Forschers Evangelista Torricelli (1608–1647).
- e. **Falsch.** Ein Sphygmomanometer ist ein Gerät zur Blutdruckmessung, im einfachsten Fall also ein Quecksilbermanometer.

**? 27 Eine laminare Strömung wird beeinflusst von:**

- a. Dichte
- b. Viskosität
- c. Radius in 4. Potenz
- d. Druckdifferenz
- e. Reynolds-Zahl

**✓ Antworten**

- a. **Richtig.** Ob sich eine laminare oder turbulente Strömung durch Röhren ausbildet, hängt von den spezifischen Gegebenheiten ab. Turbulente Strömung ist proportional zu Strömungsgeschwindigkeit, Länge der Röhre, Geschwindigkeit und Dichte und umgekehrt proportional zur Viskosität.
- b. **Richtig.** Siehe Antwort a.
- c. **Richtig.** Bei laminaren Strömungen gilt das Gesetz nach Hagen-Poiseuille.
- d. **Richtig.** Die Druckdifferenz bestimmt die Strömungsgeschwindigkeit.
- e. **Richtig.** Die Reynolds-Zahl gibt an, wann eine laminare in eine turbulente Strömung umschlägt. Unterhalb der kritischen Reynolds-Zahl bleibt die Strömung laminar.

**? 28 Für die Strömung von Flüssigkeiten durch eine Röhre gilt:**

- a. Laminarer Fluss tritt nur dann auf, wenn die Röhrenwände parallel verlaufen, glatt sind und keine Verzweigungen auftreten.
- b. Bei laminarer Strömung ist der Fluss proportional dem Druckgradienten entlang der Röhre.