

Heck
Fresenius

Repetitorium Anästhesiologie

6. Auflage

Für die
Facharztprüfung
und das
Europäische
Diplom

 Springer

M. Heck

M. Fresenius

Repetitorium Anästhesiologie

6., vollständig aktualisierte Auflage

M. Heck
M. Fresenius

Repetitorium Anästhesiologie

Für die Facharztprüfung und das
Europäische Diplom

Unter Mitarbeit von Cornelius Busch, Universität Heidelberg

6., vollständig aktualisierte Auflage

Mit 130 Abbildungen und 240 Tabellen

 Springer

Dr. med. Michael Heck

Facharzt für Anästhesiologie

– ambulante Narkosen –

Max-Reger-Str. 10

69121 Heidelberg

E-mail: Dr.M.Heck@web.de

<http://www.die-anaesthesie-praxis.de>

Dr. med. Michael Fresenius

Marienhaus Klinikum Neuwied

Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin

Friedrich-Ebert-Straße 59

56564 Neuwied

E-mail: Msfresi@aol.com

ISBN-13 978-3-642-04963-7 6. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

ISBN-13 978-3-540-46575-1 5. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;

detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

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.

Springer Medizin

Springer-Verlag GmbH

ein Unternehmen von Springer Science+Business Media

springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1999, 2001, 2004, 2007, 2010

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

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

Planung: Dr. Anna Krätz, Heidelberg

Projektmanagement: Gisela Schmitt, Heidelberg

Copy-Editing: Michaela Mallwitz, Tairnbach

Layout und Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Satz: TypoStudio Tobias Schaedla, Heidelberg

SPIN: 12752713

Gedruckt auf säurefreiem Papier 22/2122 – 5 4 3 2 1 0

Vorwort zur 6. Auflage

Das *Repetitorium Anästhesiologie* geht bereits in die 6. Auflage. Diese wurde aufgrund zahlreicher fachlicher Änderungen komplett überarbeitet und um neue Themen erweitert.

Die beständig hohe Nachfrage nach diesem Buch hat uns auch diesmal wieder motiviert, den Anforderungen unserer Leser nach knapp formuliertem und aktuellem Wissen nachzukommen.

Umfassende Ergänzungen und Erweiterungen sowohl in dem anästhesiologischen als auch intensivmedizinischen Bereich machten seit der 3. Auflage die Herausgabe dreier eigenständiger Werke notwendig.

Die intensivmedizinischen Kapitel finden sich seither in überarbeiteter und erweiterter Form im *Repetitorium Intensivmedizin* und die schmerztherapeutischen Kapitel im *Repetitorium Schmerztherapie*.

Wir hoffen hiermit den Erwartungen unserer Leser weiterhin zu entsprechen. Für die konstruktiven Hinweise zur Verbesserung der vorangegangenen Auflagen möchten wir uns bei den zahlreichen Lesern vielmals bedanken und würden uns auch weiterhin über Anregungen und konstruktive Kritik sehr freuen.

Für seine engagierte Mitarbeit auch an der 6. Auflage danken wir wieder ganz besonders Herrn **Dr. med. Cornelius Busch**, Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin der Universität Heidelberg.

Heidelberg und Neuwied am Rhein, im April 2010

Dr. med. Michael Heck

Dr. med. Michael Fresenius

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis IX

Anästhetika

1	Inhalationsanästhetika	3
2	Injektionsanästhetika	21
3	Opioide	37
4	Muskelrelaxanzien	51
5	Lokalanästhetika	71

Allgemeine Anästhesie

6	Prämedikation	85
7	Narkosesysteme	99
8	Atemwegsmanagement	111
9	Regionalanästhesie	133
10	Monitoring	167

Spezielle Anästhesie

11	Anästhesie in der Allgemein- und Abdominalchirurgie	203
12	Anästhesie in der Gefäßchirurgie	205
13	Anästhesie in der Urologie	215
14	Anästhesie in der Gynäkologie und Geburtshilfe	219
15	Erstversorgung und Anästhesie bei Neugeborenen	239
16	Anästhesie bei Kindern	245

17	Anästhesie in der Hals-Nasen-Ohren- Heilkunde	269
18	Anästhesie in der Mund-Kiefer- Gesichtschirurgie	273
19	Anästhesie in der Augenheilkunde	277
20	Anästhesie in der Traumatologie und Orthopädie	281
21	Anästhesie in der Neurochirurgie	285
22	Anästhesie in der Thoraxchirurgie	299
23	Anästhesie in der Kardiochirurgie	309
24	Anästhesie zur Lebertransplantation	325
25	Anästhesie bei geriatrischen Patienten	331
26	Anästhesie bei minimal-invasiver Chirurgie	333
27	Anästhesie bei Patienten mit Herz- schrittmacher	337
28	Kontrollierte Hypotension	343
29	Anästhesie bei ambulanten Operationen	351
30	Schmerztherapie	355

Anästhesierelevante Krankheitsbilder

31	Neuromuskuläre Erkrankungen	377
32	Endokrinologische Erkrankungen	383
33	Chronisch obstruktive Atemwegs- erkrankungen	391
34	Anästhesie bei Niereninsuffizienz	399
35	Anästhesie bei Leberinsuffizienz	401
36	Anästhesie bei Adipositas	403

37	Schlaf-Apnoe-Syndrom	409
38	Anästhesie bei Rauchern	413
39	Anästhesie bei (ehemaliger) Opioidabhängigkeit	415
40	Maligne Hyperthermie (MH)	417
41	Porphyrie	429

Komplikationen

42	Anästhesierisiko	437
43	Anaphylaktische Reaktionen	439
44	Aspiration	445
45	Herzrhythmusstörungen	449
46	Hypothermie	455
47	TUR-Syndrom	459
48	Übelkeit und Erbrechen	461
49	Zentrales anticholinerges Syndrom	467
50	Intraoperative Wachzustände (Awareness)	471
51	Unterdruck-Lungenödem bzw. „negative pressure pulmonary edema“ (NPPE)	473
52	Nadelstichverletzung	475

Notfallmedizin

53	Polytrauma	479
54	Anästhesie bei Verbrennungen	483
55	Lungenembolie	487
56	Schock	495
57	Kardiopulmonale Reanimation (CPR)	497

Physiologische Grundlagen

58	Physiologie der Atmung	509
59	Wasser-Elektrolyt- und Säure-Basen- Haushalt	527
60	Blutgerinnung	541
61	Blut und Blutprodukte	575
62	Kardiovaskulär wirksame Medikamente	597

Anhang

63	Endokarditisprophylaxe	609
64	Historie auf einen Blick	613
65	Nachschlageteil	615
	Stichwortverzeichnis	621

Abkürzungen

Erläuterung einiger Abkürzungen

AAA	abdominelles Aortenaneurysma	CC	„closing capacity“ (Verschlusskapazität)
AaDO ₂	alveolararterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz	CHE	Cholinesterase
ACH	Acetylcholin	CI	Herzindex
ACT	„activated clotting time“	CIP	„critical illness polyneuropathy“
ADH	antidiuretisches Hormon	C _{LA}	Konzentration des Lokalanästhetikums
AEP	akustisch evozierte Potentiale	C _m	minimale Konzentration
AGW	Atemgrenzwert	CMRO ₂	„cerebral metabolic rate for oxygen“ (zerebraler Metabolismus)
AK	Antikörper	CO	Herzzeitvolumen (Herzminutenvolumen)
ALI	„acute lung injury“	CO ₂	Kohlendioxid
AMV	Atemminutenvolumen	COLD	„chronic obstructive lung disease“
Anm	Anmerkung	COPD	„chronic obstructive pulmonary disease“
ANV	akutes Nierenversagen	COT	„clot observation time“
AP	arterieller Systemdruck	CPAP	„continuous positive airway pressure“
ARDS	„acute respiratory distress syndrome“ (früher: „adult respiratory distress syndrome“)	CPP	zerebraler Perfusionsdruck
AS	Aminosäuren	CPPV	„continuous positive pressure ventilation“
ASA	American Society of Anesthesiologists	CSE	kombinierte Spinal- und Epiduralanästhesie
ASB	„assisted spontaneous breathing“	CSF	Liquor cerebrospinalis
ASS	Acetylsalicylsäure	CV	„closing volume“ (Verschlussvolumen)
ATC	„automatic tube compensation“	c _v O ₂	venöser Sauerstoffgehalt
avDO ₂	arteriovenöse Sauerstoffdifferenz	CVVHD	kontinuierliche venovenöse Hämodialyse
		CVVHDF	kontinuierliche venovenöse Hämodiafiltration
		CVVHF	kontinuierliche venovenöse Hämofiltration
BE	„base excess“ (Basenüberschuss)	DBS	Double-burst-Stimulation
BEL	Beckenendlage	DD	Differentialdiagnose
BGA	Blutgasanalyse oder Bundesgesundheitsamt (aus Kontext ersichtlich)	DIC	disseminierte intravasale Koagulopathie (Verbrauchskoagulopathie)
BIPAP	„biphasic positive airway pressure“	DK	Blasendauerkatheter
BtMVV	Betäubungsmittelverordnung	DL _{CO}	Diffusionskapazität der Lunge für CO
BZ	Blutzucker	DLV	„different lung ventilation“ (seitendifferente Beatmung)
C	Compliance	DO ₂	Sauerstoffangebot
CAO	„chronic airflow obstruction“	ECCO ₂ R	extrakorporale CO ₂ -Elimination
c _a O ₂	arterieller Sauerstoffgehalt	ECMO	extrakorporale Membranoxygenierung
CARS	„compensatory antiinflammatory response syndrome“	ECT	„ecarin clotting time“
CAVHD	kontinuierliche arteriovenöse Hämodialyse	ED	Einzeldosis
CAVHF	kontinuierliche arteriovenöse Hämofiltration bzw. Spontanfiltration	EDCF	„endothelium-derived contracting factor“
CBF	zerebraler Blutfluss (Hirndurchblutung)	EDRF	„endothelium-derived relaxing factor“
CBV	zerebrales Blutvolumen	EDV	enddiastolisches Volumen

X Abkürzungen

EF	Ejektionsfraktion (Auswurffraktion)	ICR	Interkostalraum
EK	Erythrozytenkonzentrat	ID	Innendurchmesser
EKK	extrakorporaler Kreislauf	IHSS	idiopathische hypertrophe Subaortenstenose
EKZ	extrakorporale Zirkulation	Ind	Indikation
EMLA	eutektische Mixtur von Lokalanästhetika	IPPV	„intermittent positive pressure ventilation“ (kontrollierte Beatmung)
ERV	expiratorisches Reservevolumen	IRDS	„infant respiratory distress syndrome“
ESV	endsystolisches Volumen	IRV	inspiratorisches Reservevolumen
ESWL	extrakorporale Stoßwellenlithotripsie	ITN	Intubationsnarkose
etCO ₂	endexpiratorische CO ₂ -Konzentration (in Vol.-%)		
F_AO₂	alveoläre Sauerstoffkonzentration	KG	Körpergewicht
FCKW	fluorierte Chlorkohlenwasserstoffverbindungen	KH	Kohlenhydrate
FDA	Food and Drug Administration	KI	Kontraindikation
FEV ₁	Ein-Sekunden-Kapazität	KOD	kolloidosmotischer Druck
FEV ₁ /FVC	relative Ein-Sekunden-Kapazität in %	KOF	Körperoberfläche
F _{ex} CO ₂	expiratorische CO ₂ -Konzentration	LA	Lokalanästhetikum (Lokalanästhetika)
FFP	Fresh-frozen-Plasma	LAP	linker Vorhofdruck
FFS	freie Fettsäuren	LCT	„long chain triglycerides“ (langkettige Triglyceride)
FG	Frühgeborene	LE	Lungenembolie
FiO ₂	inspiratorische Sauerstoffkonzentration	LTPL	Lebertransplantation
FKW	fluorierte Kohlenwasserstoffe	LVEDP	linksventrikulärer enddiastolischer Druck
FRC	funktionelle Residualkapazität	LVEDV	linksventrikuläres enddiastolisches Volumen
FS	Fettsäuren	LVEF	linksventrikuläre Ejektionsfraktion (Auswurffraktion)
FSP	Fibrin(ogen)spaltprodukte	LVF	linksventrikuläre Pumpfunktion
FVC	forcierte Vitalkapazität	LVP	linker Ventrikeldruck
GABA	γ-Aminobuttersäure	LVSWI	linksventrikulärer Schlagarbeitsindex
GCS	Glasgow Coma Scale	MAC	minimale alveoläre Konzentration
GFR	glomeruläre Filtrationsrate	MAP	mittlerer arterieller Druck
GHB	γ-Hydroxybuttersäure	MCT	„middle chain triglycerides“ (mittelkettige Triglyceride)
GI	gastrointestinal	MEP	motorisch evozierte Potentiale
GISA	Glykopeptid-intermediär empfindlicher Staphylococcus	MER	Muskeigenreflex
HF	Herzfrequenz	MG	Molekulargewicht
HFV	„high frequency ventilation“ (Hochfrequenzbeatmung)	MH	maligne Hyperthermie
HLM	Herz-Lungen-Maschine	MM	Muttermund
HMV	Herzminutenvolumen	MMEF	maximaler mittlerer expiratorischer Flow
HPV	hypoxische pulmonale Vasokonstriktion	MODS	„multiple organ dysfunction syndrome“
HTPL	Herztransplantation	MOV	Multiorganversagen
HWZ	Halbwertszeit	MPAP	mittlerer Pulmonalarteriendruck
HZV	Herzzeitvolumen (Herzminutenvolumen)	MR	Muskelrelaxanzien
IAP	intraabdomineller Druck	MRSA	Methicillin-resistenter Staphylococcus aureus
ICP	intrazerebraler Druck		

Abkürzungen

MRSE	Methicilin-resistenter Staphylococcus epidermidis	PTT	partielle Thromboplastinzeit
MS	Magensonde	PTZ	Thrombinzeit
MSSA	Methicillin-empfindlicher Staphylococcus aureus	p_vO_2	gemischtvenöser Sauerstoffpartialdruck
		PVR	pulmonaler Gefäßwiderstand
N_2	Stickstoff	Q_L	Lungenperfusion
N_2O	Stickoxidul (Lachgas)	Q_s/Q_t	intrapulmonaler Shunt
ndMR	nichtdepolarisierende Muskelrelaxanzien	R	Resistance (Atemwegswiderstand)
NLA	Neuroleptanästhesie	RAP	rechter Vorhofdruck
NMB	neuromuskuläre Blockade	RBF	renaler Blutfluss
NMDA	N-Methyl-D-Aspartat	RQ	respiratorischer Quotient
NMH	niedermolekulares Heparin	RR	systemarterieller Blutdruck (nach Riva-Rocci)
NMM	neuromuskuläres Monitoring	RV	Residualvolumen
NO	Stickstoffmonoxid	RVEF	rechtsventrikuläre Ejektionsfraktion (Auswurfraction)
NSAID	„nonsteroidal anti-inflammatory drugs“ (nichtsteroidale Antiphlogistika)	RVP	rechter Ventrikeldruck
NTPL	Nierentransplantation	RVSWI	rechtsventrikulärer Schlagarbeitsindex
NW	Nebenwirkung	RWBS	regionale Wandbewegungsstörungen
NYHA	New York Heart Association	RZ	Reptilasezeit
O_2	Sauerstoff	S_aO_2	fraktionelle arterielle Sauerstoffsättigung
P	Druck	SHT	Schädel-Hirn-Trauma
p	Partialdruck	SI	Schlagvolumenindex
PAK	Pulmonalarterienkatheter	SIRS	„systemic inflammatory response syndrome“
p_AO_2	alveolärer O_2 -Partialdruck	SO_2	fraktionelle Sauerstoffsättigung
p_aO_2	arterieller O_2 -Partialdruck	SPA	Spinalanästhesie
PAP	Pulmonalarteriendruck	SSEP	somatosensorisch evozierte Potentiale
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit	SSW	Schwangerschaftswoche
PCA	patientenkontrollierte Analgesie	SV	Schlagvolumen
PCEA	patientenkontrollierte Epiduralanalgesie	SVES	supraventrikuläre Extrasystole(n)
pCO_2	CO_2 -Partialdruck	$S_{vj}O_2$	jugularvenöse Sauerstoffsättigung
PCWP	Pulmonalkapillardruck = Wedgemitteldruck	SVR	systemischer Gefäßwiderstand
PDA	Periduralanästhesie	SVT	supraventrikuläre Tachykardie
PDK	Periduralkatheter	TAA	thorakales Aortenaneurysma
PEEP	„positive endexpiratory pressure“ (positiver endexpiratorischer Druck)	TAAA	thorakoabdominelles Aortenaneurysma
PEG	perkutane endoskopische Gastrostomie	TAT	Thrombin-Antithrombin-III-Komplex
$p_{et}CO_2$	endexpiratorischer CO_2 -Partialdruck	TEE	transösophageale Echo(kardio)graphie
Pha	Pharmakologie	TEG	Thrombelastogramm
pH_i	intramukosaler pH-Wert	TFA	Trifluoracetylchlorid
PONV	„postoperative nausea and vomiting“ (postoperative Übelkeit und Erbrechen)	TG	Triglyzeride
ppm	parts per million = ml/ m_3	THAM	Tris-Hydroxy-Aminomethan
p_3O_2	partielle oder funktionelle Sauerstoffsättigung	TIVA	totale intravenöse Anästhesie
PTC	„post tetanic count“ (posttetanische Zahl)	TK	Thrombozytenkonzentrat
		TLC	totale Lungenkapazität
		TOF	„train-of-four“

XII Abkürzungen

TRALI	„transfusion-related acute lung injury“	V _D	Totraumvolumen
Trp	Tropfen	VES	ventrikuläre Extrasystole(n)
TUR-Blase	transurethrale Elektroresektion der Blase	VK	Verteilungskoeffizient
TUR-Prostata	transurethrale Elektroresektion der Prostata	ṠO ₂	Sauerstoffaufnahme (Sauerstoffverbrauch)
		V _T	Tidalvolumen (Atemzugvolumen)
		VT	ventrikuläre Tachykardie
UBF	uteriner Blutfluss	VVBP	venovenöse Biopumpe (Bypass)
UFH	normales (unfraktioniertes) Heparin	vWF	von-Willebrand-Jürgens-Syndrom
URS	Ureterorenoskopie		
		WM	Wirkmechanismus
V _A	alveoläre Ventilation	WW	Wechselwirkung
V _A /Q	Ventilations-Perfusions-Verhältnis		
VC	Vitalkapazität	ZAS	zentrales anticholinerges Syndrom
VCO ₂	CO ₂ -Produktion	ZVD	zentraler Venendruck

Anästhetika

Kapitel 1 Inhalationsanästhetika – 3

Kapitel 2 Injektionsanästhetika – 21

Kapitel 3 Opioide – 37

Kapitel 4 Muskelrelaxanzien – 51

Kapitel 5 Lokalanästhetika – 71

Inhalationsanästhetika

Historie

- 1842 Horace Wells demonstriert eine erfolglose Lachgasanästhesie im Massachusetts General Hospital in Boston
- 16.10.1846 T.G. Morton führt erste erfolgreiche, öffentliche Ätheranästhesie am Patienten Gilbert Abbott mit Parotistumor durch
- 1959-1966 Terrell et al. synthetisieren 700 verschiedene Methyl-Äthyläther, von denen die 347. Substanz das Enfluran, die 469. Substanz das Isofluran und die 653. Substanz das Sevofluran sind

WM:

Verstärkung inhibitorischer Funktionen oder Dämpfung der Erregungsübertragung in Synapsen oder Nervenendigungen von Axonen. Der Wirkort und Wirkmechanismus auf molekularer Ebene mit Störung des Ionentransports ist bisher noch nicht geklärt. Es existieren daher verschiedene Theorien

Narkosetheorien

1. Theorie des kritischen Volumens

1954 Mullins

Absorption der Anästhetika in die doppel-schichtige Phospholipidschicht der neuronalen

Membran → Volumenexpansion mit Obstruktion der Proteinkanäle für den Natriumeinstrom → Erregbarkeit ↓

2. Fluidisationstheorie (Verflüssigungstheorie)

1973 Trudell

Störung der parallel angeordneten Fettalkylketten und deren Mobilität innerhalb der Phospholipidmembran → Störung der Membranproteine (Ionophorenkanäle)

3. Gashydrattheorie

1961 Pauling und Miller

Bildung von hydratisierten Mikrokristallen in der hydrophilen Schicht der Zellmembran → Wechselwirkung mit Membranproteinen (Einwand gegen diese Theorie: Gashydrate sind instabil und nur kurzlebig, außerdem sind einige Anästhetika zur Gashydratbildung nicht fähig)

4. Proteinvermittelte Wirkung

Hemmung des Abbaus von γ -Aminobuttersäure (GABA) → Verschiebung des GABA/NMDA-Gleichgewichtes zugunsten der GABA-ergen Hemmung (NMDA = N-Methyl-D-Aspartat)

Allgemeines

Dampfdruck

Jedes Inhalationsanästhetikum besitzt seinen eigenen, **spezifischen Dampfdruck**, der temperatur-

abhängig ist (je höher die Temperatur, desto höher der Dampfdruck)

Dalton-Gesetz

- der **Gesamtdruck** eines Gasgemisches ergibt sich aus der **Summe der Partialdrucke** aller im Gemisch vorhandenen Gase
 $p_G = p_1 + p_2$ (p_G = Gesamtgasdruck, p_1 = Gasdruck 1, p_2 = Gasdruck 2)

- die Beimischung eines Fremdgases vermindert anteilmäßig den Partialdruck der physiologischen Atemgase im Inhalationsgemisch
- der **Partialdruck** bestimmt die Geschwindigkeit, mit der sich ein Gleichgewicht zwischen Konzentration des Anästhetikums in der Atemluft und im Blut einstellt
- die im Blut **physikalisch gelöste Gasmenge** (n) ist direkt proportional dem Partialdruck (p) des Anästhetikums im Blut, d. h. die Löslichkeit nimmt mit steigendem Partialdruck zu

Henry-Gesetz

$p = n \times K(T)$

p = Gasdruck, n = Anzahldichte der in der Flüssigkeit gelösten Gasmoleküle, K = Löslichkeitskoeffizient, T = Temperatur

Meyer-Overton-Regel

- Die Potenz eines volatilen Anästhetikums ist zu seiner Lipophilie proportional

Ferguson-Regel

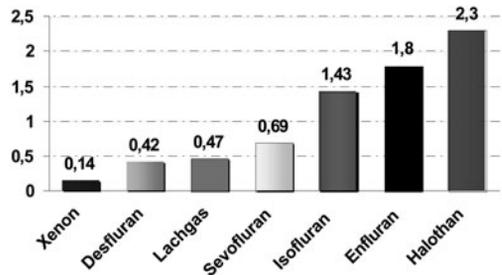
- Der Dampfdruck ist umgekehrt proportional zur biologischen Wirksamkeit

Aufnahme und Verteilung

- **Beginn der Anästhesie**, wenn im Gehirn der entsprechende Partialdruck (p_{br}) erreicht ist, als Maß hierfür dient der alveoläre Partialdruck (p_A)
- **Gradienten des Partialdruckes der Einleitungsphase („Gaskaskade“):**
 Verdampferdruck > p_i (inspiratorisch) > p_A (alveolär) > p_a (arteriell) > p_{br} (Gehirn)

Löslichkeit

- von besonderer Bedeutung sind zwei Verteilungskoeffizienten (VK):
 Blut-Gas-VK und Gehirn-Blut-VK
- bei einem hohen Blut-Gas-VK wird viel Gas im Blut gespeichert und der zerebrale Partialdruck (p_{br}) gleicht sich nur langsam dem alveolären Partialdruck (p_A) an, d. h.:
je größer die Löslichkeit (Blut-Gas-VK), desto langsamer Ein- und Ausleitung und umgekehrt!



■ Abb. 1.1. Blut-Gas-Verteilungskoeffizient volatiler Anästhetika und Narkosegase

Partialdrücke der Atemgase auf Meereshöhe (760 mmHg)

Atemgas	Einatemluft (mmHg)	Alveolarluft (mmHg)	Ausatemluft (mmHg)
Sauerstoff (O ₂)	159	104	120
CO ₂	0,3	40	27
Stickstoff (N ₂)	597	569	566
H ₂ O	3,7	47	47

$P_{Gas} = p_{Baro} \times \text{Gasanteil} \rightarrow$ z. B. Sauerstoff: $760 \text{ mmHg} \times 0,21 = 159,6$

Aufnahme eines Anästhetikums

In die Lunge (p_A) ist abhängig von

- Löslichkeit im Blut (= Blut-Gas-Verteilungskoeffizient)
- Herzzeitvolumen (HZV) (hohes HZV → langsame Anflutung)
- alveolopulmonalvenöse Partialdruckdifferenz des Anästhetikums

In das Gewebe (Gehirn, Fett, Muskulatur) (p_{Gewebe}) ist abhängig von

- Löslichkeit im Gewebe (= Gewebe-Blut-VK)
- Durchblutung des Gewebes (Anteil am HZV): während gut durchblutete Gewebe (Gehirn, Herz, Nieren [45% des HZV]) bereits aufgesättigt sind (10–15 min), nehmen andere noch lange Zeit das Anästhetikum auf (z. B. Haut, Muskulatur [90 min], Fett [bis zu Stunden])
- Partialdruckdifferenz des Anästhetikums zwischen Blut und Gewebe

Modifizierende Faktoren

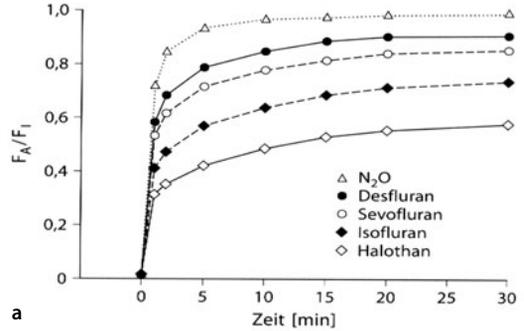
- Konzentration in der Inspirationsluft (Second-gas-Effekt, s. unten)
- Ventilaton (besonders bei gut löslichen Anästhetika)
- Größe des HZV (und Verteilung auf einzelne Gewebe)

Konzentrationseffekt

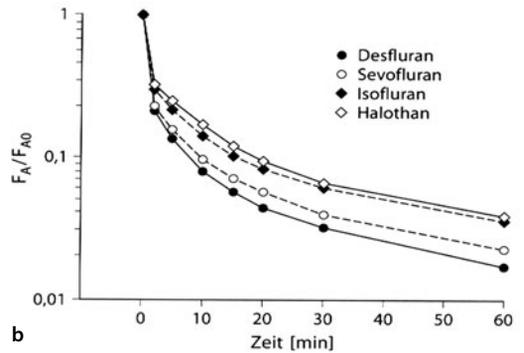
Je höher die inspiratorische Gaskonzentration, desto rascher der Anstieg der alveolären Konzentration. Rasche Diffusion ins Blut bei hoher inspiratorischer Konzentration führt zur Konzentrationerniedrigung im verbleibenden kleineren Volumen. Durch das entstehende „Vakuum“ wird um so schneller neues Anästhetikum in die Alveolen gesaugt.

Second-gas-Effekt

Durch Kombination von volatilen Anästhetika mit Lachgas steigt deren alveoläre Konzentration rascher an als wenn das Anästhetikum allein zugeführt würde. Die rasche Diffusion des Lachgases führt zu Volumenverlust in den Alveolen, durch den die Konzentration der volatilen Anästhetika im verbleibenden kleineren Volumen erhöht wird.



a



b

■ **Abb. 1.2a, b.** Kinetik der Anflutung (a) und Elimination (b) von volatilen Anästhetika (Mod. nach Yasuda et al., Anaesth. Analg 1991)

MAC-Wert

MAC

MAC-Wert = minimale alveoläre Konzentration

- ist die Konzentration, bei der 50% aller Patienten auf die Hautinzision nicht mehr mit Abwehrbewegungen reagieren
- der MAC-Wert aller volatilen Anästhetika ist von verschiedenen Faktoren **abhängig!**

Modifizierende Faktoren sind:

MAC ↓:

- Schwangerschaft, Neugeborene, hohes Alter
- Hypothermie, Hypotension (MAP < 40 mmHg), Hypoxie (p_aO_2 < 38 mmHg)
- Anämie, Hyponatriämie
- zentral wirksame Medikamente z. B. Opiate (außer bei Abhängigkeit und Toleranz), Barbiturate, Benzodiazepine, α_2 -Agonisten, Lithium, akute Alkoholintoxikation