

Unter Mitarbeit von  
J. Steier · A.K. Osthoff  
S. Teschler



**A. J. R. van Gestel**  
**H. Teschler**

# Physiotherapie bei chronischen Atemwegs- und Lungenerkrankungen

Evidenzbasierte Praxis



Springer

Arnoldus J. R. van Gestel

Helmut Teschler

**Physiotherapie bei chronischen Atemwegs- und Lungenerkrankungen**

Evidenzbasierte Praxis

Arnoldus J. R. van Gestel  
Helmut Teschler

# Physiotherapie bei chronischen Atemwegs- und Lungenerkrankungen

Evidenzbasierte Praxis

Unter Mitarbeit von J. Steier, A.K. Osthoff, S. Teschler

Mit 315 Abbildungen

**Dr. Arnoldus J.R. van Gestel M.SC.PT cand.**

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)  
Department Gesundheit  
Technikumstrasse 71  
CH 8401 Winterthur  
e-Mail: vrns@zhaw.ch

**Prof. Dr. Helmut Teschler**

Ruhrlandklinik Essen-Heidhausen  
Das Lungenzentrum  
Tüschener Weg 40  
45239 Essen

 Sagen Sie uns Ihre Meinung zum Buch [www.springer.de/978-3-642-01434-5](http://www.springer.de/978-3-642-01434-5)

**Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>**

**ISBN 978-3-642-01434-5 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Bibliothek 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 der Springer Science+Business Media  
[springer.de](http://springer.de)

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010

Printed in Germany

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, Applikationsformen und Normwerte kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Planung: Marga Botsch  
Projektmanagement: Claudia Bauer  
Lektorat: Maria Schreier, Heidelberg  
Satz: Fotosatz-Service Köhler GmbH – Reinhold Schöberl, Würzburg  
Layout und Umschlaggestaltung: deblik Berlin

SPIN 12590766

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

## Dankesworte

---

Mit dieser Veröffentlichung erscheint ein deutschsprachiges Fachbuch über die »evidenzbasierte« physiotherapeutische Behandlung lungenerkrankter Menschen. Mein besonderer Dank gilt allen Personen, die durch Engagement, Empfehlungen, Hilfe und Unterstützung dazu beigetragen haben, dass diese deutschsprachige Fassung überhaupt entstehen konnte.

*Mein Dank soll ewig Dich begleiten  
Sowohl am warmen Tag als auch in der kalten Nacht  
Er schütze Dich vor Pech, Problemen und Pannen  
Er ermöglicht immer wieder Weiteres.*

H. Teschler (Autor)  
J. Steier (Koautor)  
A.K. Osthoff (Koautorin)  
S. Teschler (Koautor)

M. Botsch (Planung)  
C. Bauer (Projekt Management)  
M. Schreier (Lektorat)

T. Rozijn (Medical Designer)  
M. Nyman (Musik)  
J. Hofmann (Video)

A. Schämamm (ZHAW)  
P. Meyer (ZHAW)

C. Cegla (Sponsorin)  
J. Flesch (Sponsor)

K. Funk (Model)  
N. Kunz (Model)

B. Köhler (Unterstützung)  
und  
mijn lieve ouders J. und R. van Gestel

## Autoren

---



Dr. rer. medic. A.J.R. van Gestel PT  
Hochschuldozent: innere Organe und Gefässe  
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)  
Departement Gesundheit  
Technikumstrasse 71  
CH-8401 Winterthur  
Telefon: 0041-52 260 6328  
E-Mail: vrns@zhaw.ch



Univ. Prof. Dr. med. Dipl. Ing. Helmut Teschler  
Direktor Abt. Pneumologie  
Ruhrländklinik  
Westdeutsches Lungenzentrum  
Tüschener Weg 40  
45239 Essen  
Deutschland



Dr. med. Jörg Steier  
Facharzt für Innere Medizin und Pneumologie  
Ruhrlandklinik  
Westdeutsches Lungenzentrum  
Tüschener Weg 40  
D-45239 Essen  
ERS Senior Clinical Research Fellow  
King's College London School of Medicine  
Denmark Hill Campus  
London SE5 9RS  
UK



Anne-Kathrin Osthoff B.Sc.Pt  
Physiotherapeutin, Schweiz  
Praxis für Physiotherapie



Dr. rer. medic. Sebastian Teschler  
Atmungstherapeut, Physiotherapeut  
AG Pneumologie Ruhrlandklinik  
Tüschener Weg 40  
D-45239 Essen

# Sponsoren

---

R. Cegla GmbH & Co. KG  
Medizinisch-Technische Geräte  
Horresser Berg 1  
56410 Montabaur  
Telefon: 0 26 02/92 13-0  
Telefax: 0 26 02/92 13-15  
Email: info@cegla.de

ResMed Switzerland AG  
Viaduktstrasse 40  
CH-4051 Basel  
Telefon: +41 (0) 61 564 7000  
Telefax: +41 (0) 61 564 7010  
E-Mail: joelf@resmed.ch

## Geleitwort

---

Das Berufsfeld der Physiotherapeuten ist einem stetigen Wandel unterzogen. Der Ruf nach evidenz-basierter Praxis und Wirksamkeit, Zweckmäßigkeit sowie Wirtschaftlichkeit physiotherapeutischer Behandlungen in Zeiten knapper finanzieller Ressourcen wird immer eindringlicher und bedarf einer Auseinandersetzung in allen Bereichen. Zudem beträgt die Halbwertszeit medizinischen Wissens ca. 5 Jahre, wodurch eine ständig fortlaufende kritische Auseinandersetzung mit dem aktuellen Wissensstand notwendig ist.

Der Bereich »Innere Organe und Gefäße« hat in der Physiotherapie einen hohen Stellenwert. Das vorhandene Wissen und die praktische Anwendung stützen sich meist auf Erfahrungswissen und empirisches Wissen. Immer häufiger aber werden in der Literatur neue Forschungsergebnisse veröffentlicht. Die Kombination und Integration von neuem wissenschaftlichen Wissen, Erfahrungswissen und Alltagswissen (oder auch gesundem Menschenverstand) bringt eine wissenschaftlich fundierte Betrachtungsweise der physiotherapeutischen Interventionen und ist von großem Nutzen für die Patienten. Zudem wird erst auf diese Art ein professioneller Austausch zwischen allen Berufsgruppen des Gesundheitswesens möglich.

Mit diesem Praxisbuch ist es Arno van Gestel auf eindruckliche Weise gelungen, ein physiotherapeutisches Grundlagenwerk zu erarbeiten, das unmittelbar in der praktischen Arbeit mit Patienten eingesetzt werden kann. Anschaulich dargestellt halten neue Erkenntnisse Einzug in die Praxis, die in den vorgestellten Techniken umgesetzt und anhand vieler Abbildungen praktisch nachvollziehbar gemacht werden.

Ich wünsche allen Physiotherapeutinnen und -therapeuten und allen anderen Leserinnen und Lesern viel Vergnügen bei der Lektüre und deren Anwendung.

Prof. Dr. Astrid Schämänn  
Physiotherapeutin, Diplom-Medizinpädagogin  
Leiterin Institut Physiotherapie

Prof. Dr. Peter C. Meyer  
Direktor Department Gesundheit ZHAW  
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW  
Technikumstr. 72, Postfach  
CH-8401 Winterthur

## Vorwort

Die kardiopulmonale Physiotherapie ist ein äußerst zukunftsträchtiges und ausbaufähiges medizinisches Spezialgebiet. Physiotherapeutinnen und Physiotherapeuten in der pulmonalen Rehabilitation sind gut ausgebildete, qualifizierte Fachkräfte, die in pulmonalen, intensivmedizinischen, pädiatrischen, kardiologischen, chirurgischen Abteilungen, in der Forschung und in der physiotherapeutischen Praxis einsetzbar sind. Dieses Praxisbuch dient der Unterstützung, Ergänzung und Strukturierung des Know-hows dieser qualifizierten Fachkräfte und bietet eine Gesamtdarstellung der aktuellen Assessments und Interventionen in der pulmonalen Rehabilitation.

Dieses Buch gibt eine Anleitung für die physiotherapeutische Untersuchung und nicht-medikamentöse Behandlung chronischer Atemwegs- und Lungenerkrankungen (COPD) sowie begleitender respiratorischer Störungen anderer Erkrankungen. Der Inhalt des Buches stützt sich auf Erfahrungswissen bzw. empirisches Wissen, das sich in der praktischen Tätigkeit angesammelt hat, und gibt eine Kombination der an verschiedenen Orten erlernten Methoden und Konzepte wider. Diese Inhalte von vorhandenem wissenschaftlichen Wissen, Erfahrungswissen und Alltagswissen wurden von Autoren und Coautoren aus den Niederlanden, Belgien, England, Deutschland und der Schweiz zusammengefügt und dokumentiert. Wir hoffen, dass diese wissenschaftlich fundierte Betrachtungsweise der physiotherapeutischen Assessments und Interventionen für die Patienten von großem Nutzen ist.

Pulmonale Rehabilitation ist ein komplexer Prozess und umfasst ein sehr breites Spektrum physiotherapeutischer Assessments und Interventionen, das u.a. Sekretförderung, Atemmuskeltraining, Thoraxmobilisation, aber auch ein kardiopulmonales Leistungstraining beinhaltet. Manche Konzepte und Techniken der muskulo-skelettalen Physiotherapie scheinen zwar für Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen geeignet zu sein, sie sind jedoch nicht direkt übertragbar. Die Lebenswichtigkeit der Interventionen zur Sekretolyse und Reinigung des Bronchialbaumes (Kap. 33) wie auch die Multieffektivität der Interventionen zur Steigerung der kardiopulmonalen Ausdauerkapazität (Kap. 35) stehen im Vordergrund, und weitere Interventionen sind aus Zeitgründen häufig nicht mehr durchführbar. Daher sind die Konzepte und Techniken der muskulo-skelettalen Physiotherapie in einer für Lungenpatienten modifizierten Form dargestellt. Wir bitten um Verständnis für diese unvermeidbare Tatsache.

Das praktische Vorgehen bei Untersuchung (Assessment, Kap. 15–28) und Behandlung (Intervention, Kap. 29–42) wird nach den strengen Kriterien der evidenzbasierten Praxis und den medizinischen Leitlinien beschrieben. Im Grundlagenteil (Kap. 1–14) sind Anatomie und Biomechanik des Atembewegungsapparates, Physiologie und Pathophysiologie der Atmung, Herzfunktion und autonome



Funktionen bei chronischen Atemwegserkrankungen erklärt. Der Praxisteil vermittelt mit knappen, präzisen Textanleitungen und informativen Abbildungen (Fotos und Zeichnungen) alle evaluierten Untersuchungstechniken (Assessments) und Behandlungsverfahren (Interventionen) der pulmonalen Rehabilitation. Auch die Patientenschulung zum Aufbau der Leistungsfähigkeit und körperlichen Belastbarkeit durch Trainingstherapie ist ein wichtiger Bestandteil der Rehabilitation (Kap. 40). In den Videosequenzen der DVD werden die wichtigsten im Buch beschriebenen Assessments (14) und Interventionen (14) praktisch vorgeführt.

Im Anhang sind zwei Schemata dargestellt, die als Leitfaden eine schnelle Orientierung bieten: eine Übersicht über Funktionsstörungen in der pulmonalen Rehabilitation (Zusammenfassung der Kapitel »Biomedizinische Grundlagen«) und eine Übersicht über methodisches Handeln in der pulmonalen Rehabilitation (Zusammenfassung der Kapitel »Assessments« und »Interventionen«).

Über konstruktive Kritik und Verbesserungsvorschläge würden wir uns natürlich sehr freuen. Eventuelle Fragen oder Anregungen nehmen wir gerne unter [vrns@zhaw.ch](mailto:vrns@zhaw.ch) entgegen.

Wir wünschen Ihnen viel Vergnügen beim Lesen und viel Erfolg für Ihre wichtige therapeutische Aufgabe in der Behandlung lungenerkrankter Patienten.

Dr. rer. medic. A.J.R. van Gestel, PT cand.

Hochschuldozent für kardiopulmonale Rehabilitation, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), Winterthur (CH)

Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. H. Teschler, MD

Präsident der Dtsch. Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP) e.V.

Ärztlicher Direktor der Ruhrländklinik-Das Lungenzentrum, Essen (D)

# Inhaltsverzeichnis

<b>I Biomedizinische Grundlagen</b>		
<b>1 Krankheitslehre</b> . . . . .	3	
<i>S. Teschler, A.J.R. van Gestel, H. Teschler</i>		
<b>1.1 Atemwegs- und Lungenerkrankungen</b> . . . . .	3	
1.1.1 Restriktive Lungenerkrankungen . . . . .	3	
1.1.2 Obstruktive Lungenerkrankungen . . . . .	5	
1.1.3 Mischformen . . . . .	5	
<b>1.2 Asthma bronchiale</b> . . . . .	5	
<b>1.3 Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)</b> . . . . .	5	
1.3.1 Differenzialdiagnosen . . . . .	5	
1.3.2 Symptome der COPD . . . . .	5	
1.3.3 Schweregradeinteilung der COPD . . . . .	6	
1.3.4 Ursachen der COPD . . . . .	7	
1.3.5 Entwicklung der COPD . . . . .	7	
1.3.6 Zur Atemwegsobstruktion beitragende Faktoren . . . . .	7	
1.3.7 Physiotherapeutische Behandlung bei chronischen Lungenerkrankungen . . . . .	8	
1.3.8 Akute Exazerbation . . . . .	8	
1.3.9 Prävalenz der COPD . . . . .	9	
<b>1.4 Pulmonale Rehabilitation</b> . . . . .	9	
1.4.1 Atemphysiotherapie . . . . .	9	
1.4.2 Ziele der pulmonalen Rehabilitation . . . . .	10	
1.4.3 Effekte der pulmonalen Rehabilitation . . . . .	10	
<b>1.5 Diagnostik in der pulmonalen Rehabilitation</b> . . . . .	11	
1.5.1 Ärztliche Diagnostik . . . . .	11	
1.5.2 Physiotherapeutische Diagnostik . . . . .	11	
<b>1.6 Therapieplanung</b> . . . . .	12	
<b>1.7 Literatur</b> . . . . .	12	
<b>2 Atembewegungsapparat</b> . . . . .	14	
<i>A.J.R. van Gestel, A.K. Osthoff, H. Teschler</i>		
<b>2.1 Thorax</b> . . . . .	14	
2.1.1 Pneumothorax . . . . .	15	
2.1.2 Bewegungen des Thorax bei Inspiration . . . . .	15	
<b>2.2 Anatomie des Zwerchfells</b> . . . . .	16	
2.2.1 Zwerchfellmuskulatur . . . . .	16	
2.2.2 Öffnungen des Zwerchfells . . . . .	16	
<b>2.3 Biomechanik des Zwerchfells</b> . . . . .	16	
2.3.1 Das Zwerchfell: Appositionsdruck nach lateral . . . . .	17	
2.3.2 Das Zwerchfell: Insertionsdruck nach kranial . . . . .	18	
2.3.3 Zusammenfassung . . . . .	19	
<b>2.4 Literatur</b> . . . . .	19	
<b>3 Widerstände im respiratorischen System</b> . . . . .	20	
<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>		
<b>3.1 Physische Variablen der Atemmechanik</b> . . . . .	21	
<b>3.2 Atemwiderstand (Resistance)</b> . . . . .	21	
3.2.1 Laminare und turbulente Strömung . . . . .	22	
<b>3.3 Compliance von Lunge, Thorax und Atembewegungsapparat</b> . . . . .	23	
3.3.1 Compliance der Lunge . . . . .	23	
3.3.2 Compliance des Thorax . . . . .	23	
3.3.3 Gesamtcompliance . . . . .	23	
3.3.4 Zusammenfassung . . . . .	24	
<b>3.4 Inertance</b> . . . . .	24	
3.4.1 Belüftungsgeschwindigkeit und Gleichmäßigkeit der Belüftung . . . . .	24	
<b>3.5 Literatur</b> . . . . .	26	
<b>4 Sauerstoff (O<sub>2</sub>)</b> . . . . .	27	
<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>		
<b>4.1 Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>)</b> . . . . .	27	
<b>4.2 Blut als Transportmedium von Sauerstoff</b> . . . . .	28	
<b>4.3 Beurteilung der Sauerstoffversorgung der Organe</b> . . . . .	28	
<b>4.4 Sauerstoffbindungskurve für Hämoglobin</b> . . . . .	29	
4.4.1 Bohr- und Haldane-Effekt . . . . .	30	
<b>4.5 Objektivierung des arteriellen Sauerstoffwertes</b> . . . . .	30	
<b>4.6 Trainingstherapie unter kontinuierlicher Sauerstoffzufuhr</b> . . . . .	30	
<b>4.7 Sauerstoff-Langzeittherapie</b> . . . . .	31	
4.7.1 Indikationen für eine Sauerstoff-Langzeittherapie . . . . .	31	
4.7.2 Negative Effekte der Sauerstoffgabe . . . . .	31	
4.7.3 Wirkung einer Sauerstoffgabe auf kardio-pulmonale Funktionen . . . . .	31	
4.7.4 Sauerstoffzuleitungen . . . . .	32	
<b>4.8 Literatur</b> . . . . .	32	
<b>5 Der Säure-Basen-Haushalt</b> . . . . .	34	
<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>		
<b>5.1 Rolle des Atemsystems bei der Energiegewinnung</b> . . . . .	34	
5.1.1 Energiegewinnung . . . . .	35	
<b>5.2 Puffersysteme zur Aufrechterhaltung der physiologischen Homöostase</b> . . . . .	35	
5.2.1 Funktionsweise der Puffer . . . . .	35	
<b>5.3 Einfluss der Atmung auf die physiologische Homöostase</b> . . . . .	35	
5.3.1 Respiratorische Azidose . . . . .	36	
5.3.2 Ursachen einer respiratorischen Azidose . . . . .	37	
5.3.3 Renale Kompensation einer respiratorischen Azidose . . . . .	37	
5.3.4 Zusammenfassung . . . . .	37	
<b>5.4 Ausschlussdiagnostik zur Feststellung einer respiratorischen Insuffizienz</b> . . . . .	37	
<b>5.5 Chronisch-respiratorische Insuffizienz</b> . . . . .	38	
<b>5.6 Literatur</b> . . . . .	39	

<b>6</b>	<b>Chronische Überblähung bei COPD: Einfluss auf die Funktion der primären Atemmuskulatur</b> . . . . .	41	9.2.3	Lungenfibrose . . . . .	72
	<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>		9.2.4	COPD . . . . .	72
<b>6.1</b>	<b>Unvollständige Expiration</b> . . . . .	42	<b>9.3</b>	<b>Fick-Gesetz</b> . . . . .	72
<b>6.2</b>	<b>Chronische Überblähung: Längenadaptation der Atemmuskeln</b> . . . . .	42	<b>9.4</b>	<b>CO-Diffusionskapazität</b> . . . . .	73
<b>6.3</b>	<b>Kontraktur des Zwerchfells</b> . . . . .	44	<b>9.5</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	74
<b>6.4</b>	<b>Unspezifische Aktivierung der Atempumpe</b> . . . . .	46	<b>10</b>	<b>Akuter und chronischer Husten</b> . . . . .	75
<b>6.5</b>	<b>Morphologische und vasomotorische Veränderungen des Zwerchfells: Folge der chronischen Überblähung</b> . . . . .	46		<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>	
<b>6.6</b>	<b>Atemimpedanz bei COPD-Patienten</b> . . . . .	47	<b>10.1</b>	<b>Bronchialsekret</b> . . . . .	75
<b>6.7</b>	<b>Kompensationsmechanismen bei persistierender respiratorischer Insuffizienz</b> . . . . .	47	<b>10.2</b>	<b>Mukoziliare Obstruktion</b> . . . . .	76
<b>6.8</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	47	<b>10.3</b>	<b>Autonomes Nervensystem: Einfluss auf die Schleimsekretion</b> . . . . .	76
<b>6.9</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	48	<b>10.4</b>	<b>Der Zilienschlag: Charakterisierung der mukoziliaren Clearance</b> . . . . .	76
<b>7</b>	<b>Primäre und sekundäre Atemmuskeln</b> . . . . .	50	<b>10.5</b>	<b>Viskosität des Bronchialsekrets</b> . . . . .	77
	<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>		<b>10.6</b>	<b>Folge der Hypersekretion</b> . . . . .	77
<b>7.1</b>	<b>Primäre und sekundäre Inspirationsmuskeln</b> . . . . .	50	<b>10.7</b>	<b>Differenzierung des Hustens</b> . . . . .	78
7.1.1	Mm. scaleni und M. sternocleidomastoideus . . . . .	51	10.7.1	Reizhusten bzw. trockener Husten . . . . .	78
7.1.2	Mm. intercostales . . . . .	53	10.7.2	Produktiver Husten . . . . .	79
7.1.3	Abdominale Muskulatur . . . . .	56	10.7.3	Bluthusten . . . . .	79
<b>7.2</b>	<b>Aktive Expiration</b> . . . . .	56	<b>10.8</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	79
7.2.1	M. transversus abdominis . . . . .	57	<b>11</b>	<b>Modell der segmentalen Dysbalance</b> . . . . .	80
7.2.2	Mm. pectoralis major und minor . . . . .	59		<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>	
7.2.3	M. trapezius und M. levator scapulae . . . . .	61	<b>11.1</b>	<b>Vegetatives und somatisches Nervensystem</b> . . . . .	81
<b>7.3</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	61	<b>11.2</b>	<b>Entstehung einer segmentalen Dysbalance</b> . . . . .	81
<b>8</b>	<b>Ventilations-Perfusions-Verhältnis der Lunge</b> . . . . .	63	11.2.1	Segmentale Dysbalance: Einfluss auf das Myotom . . . . .	81
	<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>		11.2.2	Segmentale Dysbalance: Einfluss auf das Dermatome . . . . .	82
<b>8.1</b>	<b>Ventilations-Perfusions-Verhältnis der Lunge</b> . . . . .	63	11.2.3	Segmentale Dysbalance: Einfluss auf das Bindegewebe . . . . .	82
8.1.1	Ventilations- und Perfusionsinhomogenitäten . . . . .	64	11.2.4	Segmentale Dysbalance: Einfluss auf die Psyche . . . . .	83
<b>8.2</b>	<b>Heterogenität der pulmonalen Perfusion</b> . . . . .	66	11.2.5	Zusammenfassung . . . . .	84
<b>8.3</b>	<b>Heterogenität der pulmonalen Ventilation und Compliance der Lunge</b> . . . . .	66	<b>11.3</b>	<b>Praxis: Assessment bei segmentaler Dysbalance</b> . . . . .	84
<b>8.4</b>	<b>Der transpulmonale Druck: Einfluss auf die alveoläre Ventilation</b> . . . . .	67	11.3.1	Schmerzanamnese . . . . .	84
<b>8.5</b>	<b>Die funktionelle Residualkapazität: Einfluss auf die Lungenfunktion</b> . . . . .	68	11.3.2	Inspektion und Palpation der Haut . . . . .	84
<b>8.6</b>	<b>Die funktionelle Residualkapazität: Einfluss auf die Compliance des gesamten Atemapparates</b> . . . . .	68	<b>11.4</b>	<b>Praxis: Behandlung einer segmentalen Dysbalance</b> . . . . .	84
<b>8.7</b>	<b>Die funktionelle Residualkapazität: Einfluss auf den Atemwegwiderstand</b> . . . . .	69	<b>11.5</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	85
<b>8.8</b>	<b>Die funktionelle Residualkapazität: Einfluss auf die Zwerchfellfunktion</b> . . . . .	69	<b>12</b>	<b>Herzfunktion bei COPD-Patienten</b> . . . . .	86
<b>8.9</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	69		<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>	
<b>9</b>	<b>Diffusion</b> . . . . .	70	<b>12.1</b>	<b>Lungenüberblähung: Einfluss auf die rechtsventrikuläre Vorlast</b> . . . . .	87
	<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>		<b>12.2</b>	<b>Hypoxie, Hyperkapnie und Lungenüberblähung: Einfluss auf die rechtsventrikuläre Nachlast</b> . . . . .	87
<b>9.1</b>	<b>Die Zellmembran</b> . . . . .	70	<b>12.3</b>	<b>Low-Cardiac-Output-Syndrom: Einfluss auf die linksventrikuläre Vorlast</b> . . . . .	88
<b>9.2</b>	<b>Diffusionsstörungen</b> . . . . .	71	<b>12.4</b>	<b>Ventrikulärer Septum-Shift: Einfluss auf die linksventrikuläre Nachlast</b> . . . . .	88
9.2.1	Interstitielles Lungenödem . . . . .	72	<b>12.5</b>	<b>Arteriosklerose: Einfluss auf die systolische linksventrikuläre Dysfunktion</b> . . . . .	89
9.2.2	Alveoläres Lungenödem . . . . .	72	<b>12.6</b>	<b>Störungen des autonomen Nervensystems: Einfluss auf die Herzfunktion</b> . . . . .	89

12.7	Zusammenfassung	89	16.3.2	Praxis: Palpationsbefund	119
12.8	Literatur	90	16.4	Literatur	121
<b>13</b>	<b>Pulmonalkreislauf</b>	92	<b>17</b>	<b>Analyse des Atemmusters</b>	122
	<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>			<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>	
13.1	Pulmonal-arterieller Druck bei körperlicher Belastung gesunder Menschen	93	17.1	Transport der Atemgase	122
13.2	Euler-Liljestrand-Mechanismus	93	17.2	Sauerstoff- und Kohlendioxidtransport	123
13.3	Spätfolgen einer chronischen hypoxischen Vasokonstriktion	94	17.2.1	Ventilation und Konvektion	123
13.4	Pulmonale Hypertonie und Cor pulmonale	94	17.2.2	Gasgesetz	123
13.5	Pulmonaler Blutdruck bei körperlicher Belastung von COPD-Patienten	96	17.3	Ventilation und Atemfrequenz	123
13.6	Medikamentöse selektive pulmonale Vasodilatation	96	17.4	Anatomischer Totraum	124
13.7	Literatur	97	17.5	Atemintensität	124
<b>14</b>	<b>Sympathovagale Imbalance</b>	98	17.5.1	Störvariablen	124
	<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>		17.5.2	Rapid Shallow Breathing	125
14.1	Autonomes Nervensystem	98	17.6	Atemgrenzwert und Atemreserve	125
14.2	Medulla oblongata: Übergeordnetes Kopplungszentrum des kardiorespiratorischen Netzwerks	100	17.7	Borg-Skala für Dyspnoe und Ermüdung	125
14.3	Zentrale Chemorezeptoren	100	17.8	Normales Atemmuster und Atemtypen	126
14.4	Arterielle Chemorezeptoren	100	17.8.1	Thorakale Atmung	126
14.5	Arterielle Barorezeptoren	101	17.8.2	Abdominale Atmung	126
14.6	Dehnungsrezeptoren in der A. pulmonalis und in den Atria cordis	102	17.8.3	Physiologische Mischatmung	126
14.7	Herzfrequenzvariabilität	103	17.8.4	Auxiliaratmung	127
14.8	Respiratorische Sinusarrhythmie	104	17.9	Verhältnis abdominale-thorakale Atmung (AT-Verhältnis)	127
14.8.1	Das Atemmuster: Einfluss auf die respiratorische Sinusarrhythmie	105	17.9.1	Das asynchrone AT-Verhältnis	127
14.9	Dehnungsrezeptoren der Lunge	105	17.10	Pathologische Atemmuster bzw. Atemtypen	128
14.10	Propriozeptoren der Atemmuskulatur	105	17.10.1	Kussmaul-Atmung	128
14.11	Ätiologie der sympathovagalen Imbalance	106	17.10.2	Cheyne-Stokes-Atmung	128
14.12	Erhöhter Sympathikotonus in Ruhe	106	17.10.3	Seufzeratmung	128
14.13	Erhöhter Parasympathikotonus bei körperlicher Belastung	106	17.10.4	Biot-Atmung	129
14.14	Literatur	107	17.10.5	Schnappatmung	129
			17.11	Pause im Atemzyklus	129
			17.12	Praxis: Assessment-Analyse des Atemmusters	130
			17.12.1	Vorgehensweise	131
			17.13	Literatur	133
			<b>18</b>	<b>Husten-Assessment</b>	134
				<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>	
			18.1	Forcierte Expirationstechnik (FE-I)	134
			18.2	Praxis: Befundaufnahme	135
			18.2.1	Analyse des Bronchialsekrets	135
			18.2.2	Ausreichende Inspirationskapazität/Inspirationstechnik (>1500 ml)	135
			18.2.3	Vollständiger Glottisverschluss	136
			18.2.4	Ausreichend kräftiger Atemstoß (>160 l/min, FEV <sub>1</sub> >60% des VK-Sollwertes, PEF <sub>R</sub> >2,7 l/sec)	136
			18.2.5	Kein Risiko für einen Tracheobronchialkollaps	137
			18.3	Literatur	139
			<b>19</b>	<b>Herz- und Lungenauskultation, Perkussion und Stimmfremitus</b>	140
				<i>A.J.R. van Gestel, A.K. Osthoff, H. Teschler</i>	
			19.1	Auskultation der Lungengeräusche	140
			19.1.1	Physiologische Atemgeräusche	142
			19.1.2	Pathologische Atemgeräusche	143
			19.2	Perkussion der Lunge	144
			19.2.1	Praktische Durchführung der Perkussion	144
			19.3	Stimmfremitus	147
<b>II</b>	<b>Assessments</b>				
<b>15</b>	<b>Anamnese (subjektiver Befund)</b>	111			
	<i>A.J.R. van Gestel, A.K. Osthoff, H. Teschler</i>				
15.1	Praxis: Eingangsbefund	111			
<b>16</b>	<b>Inspektion und Palpation von Haut und Thorax</b>	114			
	<i>A.J.R. van Gestel, H. Teschler</i>				
16.1	Allgemeine Inspektion	114			
16.2	Inspektion des Thorax	115			
16.2.1	Thorax bei COPD-Patienten	117			
16.2.2	Praxis: Inspektionsbefund	117			
16.3	Palpation des Thorax	118			
16.3.1	Palpationsuntersuchung	118			

19.4	<b>Auskultation des Herzens</b> . . . . .	147	23.2.1	Maximaler In- und Expirationsdruck . . . . .	170
19.4.1	Herztöne . . . . .	147	23.2.2	Transdiaphragmaler Druck . . . . .	170
19.4.2	Herzinsuffizienz . . . . .	150	<b>23.3</b>	<b>Insertionstendopathien</b> . . . . .	171
19.5	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	151	<b>23.4</b>	<b>Kraftverlust der respiratorischen Muskulatur</b> . . . . .	171
19.6	<b>Literatur</b> . . . . .	151	<b>23.5</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	172
<b>20</b>	<b>Blutgasanalyse (BGA)</b> . . . . .	152	<b>24</b>	<b>Thoraxmobilität</b> . . . . .	173
	<i>A.J.R. van Gestel, H. Teschler</i>			<i>A.J.R. van Gestel, A.K. Osthoff, H. Teschler</i>	
20.1	<b>Objektivierung des arteriellen Sauerstoffwertes</b> . . . . .	152	24.1	<b>Hypomobilität des Thorax</b> . . . . .	173
20.2	<b>Indikation für eine Blutgasanalyse</b> . . . . .	152	24.2	<b>Praxis: P/E-Untersuchung der BWS-Beweglichkeit</b> . . . . .	174
<b>21</b>	<b>Kardiopulmonale Ausdauerkapazitätstests</b> . . . . .	153	24.2.1	Allgemeine BWS- und Thoraxmobilitätsprüfung . . . . .	174
	<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, H. Teschler</i>		24.2.2	Spezifische BWS- und Thoraxmobilitätsprüfung . . . . .	175
21.1	<b>Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>max)</b> . . . . .	153	<b>24.3</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	183
21.2	<b>Die ventilatorisch bestimmte anaerobe Schwelle</b> . . . . .	154	<b>25</b>	<b>Lungenfunktionsprüfung</b> . . . . .	184
21.3	<b>Der respiratorische Quotient</b> . . . . .	155		<i>A.J.R. van Gestel, H. Teschler</i>	
21.4	<b>Oxygenierungsindex</b> . . . . .	155	25.1	<b>Spirometrie</b> . . . . .	185
21.5	<b>Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>)</b> . . . . .	155	25.2	<b>Ganzkörperplethysmographie</b> . . . . .	185
21.6	<b>Atem- und Herzfrequenzreserve</b> . . . . .	155	25.3	<b>Praxis: Physiotherapeutische Messung der Lungenfunktionsparameter</b> . . . . .	186
21.7	<b>Borg-Skala für Dyspnoe und Ermüdung</b> . . . . .	156	25.3.1	RC-Test COPD . . . . .	186
21.8	<b>Praxis: Symptomlimitierter maximaler Ausdauerkapazitätstest</b> . . . . .	156	25.3.2	Peak-Flow-Messung . . . . .	186
21.8.1	Primäres Ziel des symptomlimitierten maximalen Ausdauerkapazitätstests . . . . .	157	25.4	<b>Transferfaktor für Kohlenmonoxid</b> . . . . .	187
21.8.2	Sekundäres Ziel des symptomlimitierten maximalen Ausdauerkapazitätstests . . . . .	157	<b>25.5</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	187
21.8.3	Kardiopulmonale Funktionsstörungen . . . . .	157	<b>26</b>	<b>Hypertonus und Kontraktur der sekundären Atemmuskeln</b> . . . . .	188
21.9	<b>6-Minuten-Gehtest</b> . . . . .	161		<i>A.J.R. van Gestel, A.K. Osthoff, H. Teschler</i>	
21.10	<b>Shuttle-Walk-Test</b> . . . . .	161	26.1	<b>Muskuläre Dysbalance</b> . . . . .	189
21.11	<b>Körperliche Aktivität, messbar durch Accelerometrie</b> . . . . .	161	26.1.1	Hypertonus: Zu hohe Aktivität des neuromuskulären Apparates . . . . .	189
21.12	<b>Literatur</b> . . . . .	162	26.1.2	Hypertonus: Aktivierung der α-Motoneurone eines Muskels . . . . .	190
<b>22</b>	<b>Kraftmessung der peripheren Muskulatur</b> . . . . .	165	26.1.3	Hypertonus durch Reizung der Muskel-Nozizeptoren . . . . .	190
	<i>A.J.R. van Gestel, J. Steier, S. Teschler, H. Teschler</i>		26.1.4	Hypertonus verursacht durch das limbische System . . . . .	191
22.1	<b>Anpassung der biochemischen und metabolischen Versorgung der peripheren Muskulatur</b> . . . . .	165	26.1.5	Hypertonus verursacht durch das pulmonale System . . . . .	191
22.2	<b>Anpassung der peripheren Muskulatur durch Hypertrophietraining</b> . . . . .	166	26.2	<b>Kontraktur: Verkürzung der viskoelastischen Elemente eines Muskels</b> . . . . .	191
22.3	<b>Praxis: Kraftmessung der peripheren Muskulatur</b> . . . . .	166	26.3	<b>Längenadaptation: Abnahme der Anzahl seriell geschalteter Sarkomere</b> . . . . .	192
22.3.1	Oddvar-Holten-Kurve: Dynamische Kraftmessung . . . . .	166	26.4	<b>Praxis: Untersuchung der muskulären Dysbalance</b> . . . . .	193
22.3.2	Break-Test und Make-Test nach Andrews: Isometrische Kraftmessung . . . . .	167	26.4.1	Differenzierung . . . . .	193
22.4	<b>Literatur</b> . . . . .	168	<b>26.5</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	194
<b>23</b>	<b>Respiratorische Muskelkraft</b> . . . . .	169	<b>27</b>	<b>Lebensqualität</b> . . . . .	195
	<i>A.J.R. van Gestel, H. Teschler</i>			<i>A.J.R. van Gestel, S. Teschler, H. Teschler</i>	
23.1	<b>Bestimmung der Stärke des in- und expiratorischen Drucks</b> . . . . .	169	27.1	<b>Exazerbationen: Beeinträchtigung der Lebensqualität</b> . . . . .	195
23.2	<b>Praxis: Untersuchung des in- und expiratorischen Drucks</b> . . . . .	170	27.2	<b>Praxis: Assessment der gesundheits-spezifischen Lebensqualität</b> . . . . .	196
			27.3	<b>Verbesserung der Lebensqualität</b> . . . . .	196
			<b>27.4</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	196