

# Pneumologische Diagnostik

*D. Bösch*

## **2.1 Anamnese und körperliche Untersuchung – 10**

- 2.1.1 Dyspnoe – 10
- 2.1.2 Husten – 11
- 2.1.3 Thoraxschmerzen – 12
- 2.1.4 Die körperliche Untersuchung – 13

## **2.2 Lungenfunktionsdiagnostik – 13**

- 2.2.1 Spirometrie – 13
- 2.2.2 Bronchospasmolysetest – 14
- 2.2.3 Inhalativer Provokationstest – 15
- 2.2.4 Bodyplethysmographie – 15
- 2.2.5 Diffusionsmessung – 16
- 2.2.6 Blutgasanalyse – 17

## **2.3 Radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen – 17**

- 2.3.1 Konventionelles Röntgen – 17
- 2.3.2 Computertomographie – 20
- 2.3.3 Magnetresonanztomographie – 21
- 2.3.4 Positronen-Emissions-Tomographie/Computertomographie – 21
- 2.3.5 Szintigraphie – 22

## **2.4 Endoskopie – 24**

## **2.5 Sonographie – 25**

## **2.6 Laborchemische Untersuchungen – 26**

## **2.7 Mikrobiologische Untersuchungen – 26**

## **2.8 Allergologische Diagnostik – 26**

## **2.9 Schlaflabordiagnostik – 27**

## **2.10 Echokardiographie – 29**

## **2.11 Rechtsherzkatheteruntersuchung – 29**

Auch im Zeitalter der Hochtechnologie ist eine gründliche Anamneseerhebung und anschließende körperliche Untersuchung unumgänglich. Mithilfe der Anamnese lässt sich meistens eine Verdachtsdiagnose erheben oder der Formenkreis der zugrundeliegenden Erkrankung deutlich eingrenzen. Die Diagnose lässt sich dann mittels weiterer Untersuchungen sichern und in ihrem Schweregrad beschreiben. Das engere Spektrum an technischen Untersuchungen umfasst das Labor, die Bildgebung mittels Röntgen (inkl. Computertomographie) und die Lungenfunktionsdiagnostik mit ihren sämtlichen Untersuchungsmethoden. Für spezielle Fragestellungen kommen zudem die Bronchoskopie, Thorax-Sonographie, Echokardiographie, Schlaflabormessungen, mikrobiologische Diagnostik, allergologische Diagnostik, szintigraphische Bildgebung oder die Rechtsherzkatheteruntersuchung zum Einsatz.

## 2.1 Anamnese und körperliche Untersuchung

Die sorgfältige Anamneseerhebung und differenzierte Abfrage des Beschwerdebildes ist unerlässlich und von größtem Wert. Nachfolgend sollen die wichtigsten charakteristischen Symptome pneumologischer Krankheitsbilder erörtert werden und zu einer differenzierten Herangehensweise anregen. Neben der Abklärung von Symptomen, sollen die Risikofaktoren (Zigarettenrauchen etc.), inklusive der Berufsanamnese (Hinweise für Asbest etc.) und etwaiger Hobbies (Taubenzucht etc.) sowie die Vorerkrankungen, die Familienanamnese und die Medikamentenanamnese erhoben werden.

### 2.1.1 Dyspnoe

Die Dyspnoe (bzw. Atemnot, Luftnot, Kurzatmigkeit) ist ein häufiges Symptom bei pulmonalen sowie kardialen Erkrankungen und geht mit einer verminderten Belastbarkeit und Einschränkung der Lebensqualität einher.

➤ **Dyspnoe ist definiert als unangenehme Wahrnehmung der Atmung und beschreibt eine primär subjektive Empfindung.**

Pathophysiologisch liegt typischerweise eine komplexe multifaktorielle Genese zugrunde. Häufig handelt es sich, vereinfacht dargestellt, um eine unangenehm empfundene Steigerung des Atemantriebs bei unzureichender muskulärer Atemantwort auf die lungenfunktionelle Anforderung, also einer Dysbalance zwischen muskulärer Kapazität und Beanspruchung.

Eine Dyspnoe sollte weiter differenziert werden in Belastungsdyspnoe (mit unterschiedlicher Belastungsgrenze), Ruhedyspnoe, Orthopnoe (Dyspnoe beim Liegen) oder auch Platypnoe (Dyspnoe beim Aufstehen). Wichtig ist auch der Beginn und Verlauf einer Dyspnoe (akut einsetzend oder langsam steigend). Die Schwere der Dyspnoe unterliegt der subjektiven Interpretation der Patienten und wird, verglichen mit objektiven Daten der Atemfunktion, individuell sehr unterschiedlich wahrgenommen. Die Anwendung einer visuellen Analogskala (VAS) kann helfen, den individuellen Verlauf einer Erkrankung mit Dyspnoe etwas zu objektivieren und quantifizieren. Zudem gibt es standardisierte Skalen zur Selbsteinschätzungen über Beschreibungen der alltäglichen, dyspnoebedingten Einschränkungen, wie z.B. die *modified medical research council dyspnea scale*, kurz MMRC. Neben den verbalen Angaben des Patienten kann auch der Untersucher eine subjektive Einschätzung der zugrundeliegenden Funktionsstörung vornehmen. Neben dem Hören verstärkter oder auch pathologischer Atemgeräusche, erzeugt Dyspnoe meist sichtbaren Stress und Unruhe bei dem Patienten, sofern dieser (noch) nicht entkräftet ist. Mitunter lässt sich auch der Einsatz von Atemhilfsmuskulatur oder ein pathologisches Atemmuster beobachten (■ Abb. 2.1).

Diese subjektiven Eindrücke sollten jedoch stets objektiviert und quantifiziert werden. Ein einfaches und wichtiges Mittel ist das (unbemerkte) Zählen der Atemfrequenz (AF), ähnlich dem Puls der Herzaktivität. Die Atemfrequenz erlaubt einen ersten Eindruck über die Schwere der Atemstörung bzw. den entsprechenden Mehrventilationsbedarf; von einer psychogenen Hyperventilation einmal abgesehen. Die Messung der Sauerstoffsättigung und die Durchführung einer Blutgasanalyse sind erste Möglichkeiten, einen Gesamteindruck über die aktuelle Atemfunktion zu bekommen und eine vermeintliche Atemstörung zu verifizieren und quantifizieren.

Atmungsmuster	Vorkommen
<b>Ruheatmung</b>  N.phrenicus	Eupnoe
<b>oberflächliche Atmung</b> 	Herzinsuffizienz Lungenödem Hirnstammprozesse psychische Erkrankungen
<b>vertiefte Atmung</b> <b>Kussmaulatmung</b> 	akute Hypoxämie Hyperkapnie Azidose Diabetes Niereninsuffizienz Vergiftungen
<b>Apneustische Atmung</b> 	zerebrale Hypoxie zerebrale Ischämie pontine Hirnprozesse
<b>Ataktische Atmung</b> <b>Biot-Atmung</b> 	Meningitis Hirnverletzung erhöhter Hirndruck
<b>Cheyne-Stokes-Atmung</b> 	Schlaf diffuse Hirnprozesse chron. Hypoxämie Herzkrankheiten Vergiftungen (Opiate)
<b>Schnappatmung</b>  Apnoeperioden	Hirnstammprozesse zerebrale Hypoxämie zerebrale Ischämie Frühgeborene
<b>reflektorische, hypoxämische, terminale Apnoe</b> 	Reflexe Hypoxämie Ischämie Hirntod

■ **Abb. 2.1** Atemrhythmusstörungen. Auf der linken Seite sind die verschiedenen Atemmuster dargestellt, wie sie bei verschiedenen Atemrhythmusstörungen auftreten. Mögliche Ursachen sind in der rechten Bildhälfte benannt. (Aus Schmidt, Lang, Heckmann 2011)

Differentialdiagnostisch muss die Dyspnoe manchmal von einer Abgeschlagenheit und allgemeinen Leistungsschwäche, z. B. im Rahmen einer schweren Komorbidität oder auch Depression abgegrenzt werden. Dies ist mitunter schwierig und erfordert einiges an Erfahrung.



■ **Abb. 2.2** Sputumbeurteilung

### 2.1.2 Husten

Husten ist das willkürliche oder aufgrund eines Hustenreizes über den Hustenreflex ausgelöste explosionsartige Ausstoßen von Luft.

➤ **Das Husten per se hat nicht zwangsläufig einen Krankheitswert. Es erfüllt auch die Aufgabe eines wichtigen Schutzmechanismus und ist ein wesentliches Element unseres respiratorischen Clearanceapparates.**

Viele Erkrankungen führen jedoch zu einer deutlichen und mitunter quälenden Steigerung der Hustentätigkeit. Da die **Hustenrezeptoren** nicht nur in den Atemwegen lokalisiert sind (distaler Ösophagus etc.), sollte mitunter auch an extrapulmonale Erkrankungen gedacht werden. Es wird grob zwischen einem trockenen Reizhusten, z. B. im Rahmen eines hyperreagiblen Bronchialsystems, und einem produktiven Husten mit quantitativ stark differenter Auswurfmenge, z. B. im Rahmen eines Atemwegsinfektes, unterschieden. Das **Sputum** sollte stets näher hinterfragt bzw. hinsichtlich der Beschaffenheit und Menge begutachtet werden (Sputumbecher, ■ Abb. 2.2). Der Auswurf reicht von klar bis putride und von wenigen Millilitern bis hin zu mehreren 100 Millilitern täglich. Auch das Vorliegen von Hämoptysen sollte stets hinterfragt werden. Des Weiteren wird zwischen akutem Husten, der bis zu einer Dauer von 8 Wochen anhält, und

**Tab. 2.1** Differentialdiagnose – akuter/chronischer Husten (wichtigste Ursachen).

Akut (< 8 Wochen)	Chronisch (> 8 Wochen)
Infektionskrankheit der oberen Atemwege	Erkrankungen der oberen Atemwege
Allergische Erkrankung der oberen Atemwege	Chronische Bronchitis/ COPD
Tracheobronchitis	Asthma bronchiale
Pneumonie	Lungen-Karzinom
Postinfektiöse Hyperreagibilität	(rez.) Aspiration
Pneumothorax	Interstitielle Lungen-erkrankung
Aspiration	Bronchiektasen
Asthma bronchiale	Tuberkulose
Toxische Inhalation	Pertussis
Lungenembolie	Chronische Herzinsuffizienz
Vocal Cord Dysfunction	Perikarditis
Akute Herzinsuffizienz	Gastroösophagealer Reflux
	Medikamentös-induziert

chronischem Husten, mit einer Dauer von länger als 8 Wochen, unterschieden (Tab. 2.1).

➤ **Wegen der Tragweite vermeintlicher Ursachen, wie z. B. einem Lungen-Karzinom oder einer Lungen-Tuberkulose, muss ein chronischer Husten stets abgeklärt werden.**

### 2.1.3 Thoraxschmerzen

Charakteristisch sind thorakale pleuritische (also atemabhängige) Schmerzen im Rahmen einer Pleuritis (z. B. viraler Genese oder auch im Rahmen einer Lungenarterienembolie etc.). Die Schmerzen einer Lungenembolie (zusammen mit Dyspnoe) können nicht sicher von denen einer Koronarinsuffizienz (Angina pectoris) unterschieden werden. Fließende Übergänge gibt es zum Symptom Brustenge bzw. thorakale Beklemmung, welches auch Ausdruck einer Dyspnoe sein kann und weniger Schmerz-

charakter im eigentlichen Sinne hat. Mitunter klagen Patienten auch über retrosternalen, hustenabhängigen »Wundschmerz« bei akuter Tracheobronchitis oder Muskelschmerzen im Bereich von Thorax und Abdomen bei anhaltendem Husten. Mitunter sind atem-, husten- und bewegungsabhängige Schmerzen auch Folge einer Hustenfraktur einer Rippe.

➤ **Neben der Schmerzlokalisierung und -ausstrahlung sind der zeitliche Verlauf und die Beeinflussbarkeit durch Bewegung, Atmung, Haltung etc. in der Beurteilung thorakaler Schmerzen von entscheidender Bedeutung.**

Das weite Spektrum der zugrundeliegenden Erkrankungen reicht von einer harmlosen Pleuritis, einem Pneumothorax oder einer Refluxösophagitis bis hin zum Myokardinfarkt oder einer Aortendissektion bei den extrapulmonalen Ursachen. Nachfolgend eine Übersicht über die wichtigsten Ursachen.

#### Differentialdiagnose - Thoraxschmerzen (wichtige Ursachen)

##### Intrathorakal

- Tracheitis
- Pleuritis
- Pleuratumor
- Pneumothorax
- Lungenembolie/-infarkt
- Lungentumor
- Pulmonale Hypertonie (akut/chronisch)
- Mediastinitis/Pneumomediastinum
- Ösophagitis
- Ösophagusruptur
- Ösophagusspasmen
- Akutes Coronarsyndrom
- Peri-/Myokarditis
- Perikardtamponade
- Aortenklappenstenose
- Aortenaneurysma/-dissektion

##### Thoraxwand

- Erkrankungen von Haut, Nerven, Muskeln, Rippen/Wirbelsäule

##### Abdominal

- Erkrankungen von Pankreas, Magen, Kolon, Leber, Milz



■ **Abb. 2.3** Trommelschlegelfinger und Uhrglasnägel eines Patienten mit Lungenfibrose

### 2.1.4 Die körperliche Untersuchung

Die körperliche Untersuchung schließt sich i. d. R. der Anamnese an bzw. beides geht ineinander über und umfasst den internistischen Untersuchungsgang (Inspektion, Palpation, Perkussion und Auskultation) mit Betonung des Lungen- und Herz-Kreislaufsystems:

#### Körperliche Untersuchung

- Inspektion: Hautkolorit (Zyanose etc.), Thoraxform (Faßthorax etc.), Atemmuster/-frequenz (Tachypnoe etc.), Stauungszeichen (Halsvenen, Unterschenkel), Finger (Uhrglasnägel, Trommelschlegelfinger, ■ Abb. 2.3)
- Palpation: Atemexkursion des Thorax, Stimmfremitus, Lymphknotenschwellungen
- Perkussion: Untere Lungengrenzen, Klopfschallqualität
- Auskultation: Lunge (Atemgeräusch, Nebengeräusche: Stridor, Giemen, feuchte Rasselgeräusche), Herz (Herztöne, -geräusche)

## 2.2 Lungenfunktionsdiagnostik

Die Bandbreite der apparativen Lungenfunktionsdiagnostik ist weit gefächert und reicht von der einfachen Pulsoximetrie bis hin zur Durchführung einer komplexen Spiroergometrie. Der Blutgasanalyse kommt eine besondere Rolle zu. Sie summiert in ihrem Ergebnis quasi die Lungenfunktion in ihrer Gesamtheit und spiegelt die Versorgungs-

situation wieder. Die verschiedenen Lungenfunktionstests sind nachfolgend aufgeführt:

- Spirometrie
- Bodyplethysmographie
- Impulsoszillometrie
- Diffusionsmessung
- Verschlussdruck-/PI<sub>max</sub>-Messung
- Inhalative Provokationstestung
- Bronchospasmolyse
- Blutgasanalyse
- Pulsoximetrie
- 6-Minuten-Gehtest
- Spiroergometrie
- Polygraphie
- Compliance-Messung

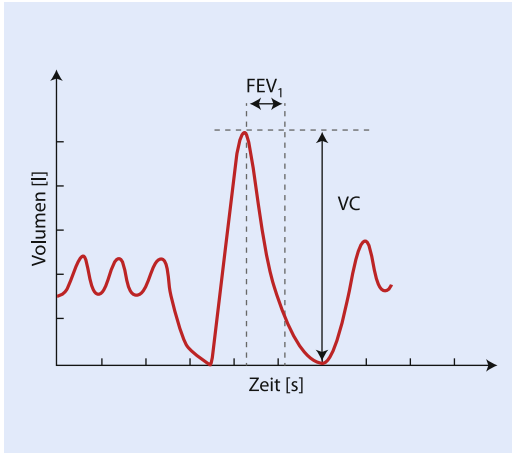
Um die geeignete Methode auszuwählen, sollte man sich zunächst im Klaren sein, was man letztlich wissen möchte. I. d. R. soll untersucht werden, ob eine bestimmte Funktionsstörung vorliegt. Hiermit können wir zum Einen eine Symptomatik erklären oder auch eine bestimmte Erkrankung technisch verifizieren, zum Anderen den Schweregrad einer bestimmten Funktionsstörung (im Verlauf oder unter bestimmtem Therapieeinfluss) ermitteln. Manchmal dient eine Spirometrie o.ä. aber auch nur als Screening-Instrument im Rahmen eines gesundheitlichen Check-Ups.

! **Die meisten Funktionsstörungen sind unspezifisch und ohne Kenntnis der Symptomatik oder zugrundeliegenden Erkrankung mit Vorsicht zu interpretieren.**

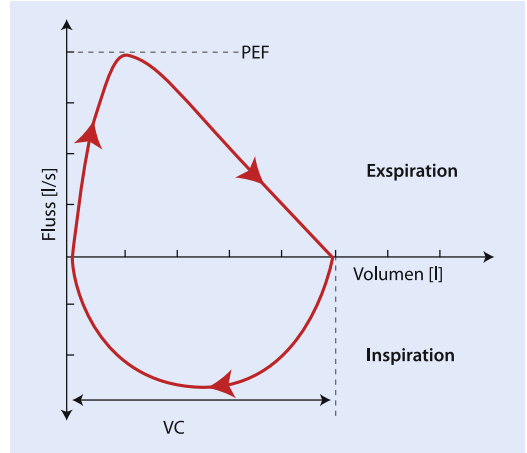
In Bezug auf die Hauptkomponenten der Lungenfunktion (■ Abb. 1.8) ist die Spirometrie und Bodyplethysmographie die Methode der Wahl um Ventilationsstörungen (Obstruktion, Restriktion, gemischte Ventilationsstörungen) darzustellen. Mittels Diffusionsmessung wird die Transferleistung (im Wesentlichen Diffusion und Perfusion) bestimmt. Diese Methoden bilden daher, zusammen mit der Blutgasanalyse, die Eckpfeiler der pneumologischen Lungenfunktionsdiagnostik.

### 2.2.1 Spirometrie

In der Spirometrie wird die Flussgeschwindigkeit gemessen und durch Integration über die Zeit ver-



■ **Abb. 2.4** Volumen-Zeit-Kurve. Gezeigt ist eine kurze Phase von Ruheatmung, gefolgt von einem Tiffeneau-Manöver



■ **Abb. 2.5** Fluss-Volumen-Kurve. Die Flussgeschwindigkeit wird in Relation zum jeweiligen Füllungszustand der Lunge während der In- und Expiration dargestellt

schiedene dynamische Volumina, z. B. die Einsekundenkapazität ( $FEV_1$ ) oder die Vitalkapazität (VC) errechnet. Die Untersuchung liefert quasi alle Informationen über die graphischen Darstellungen (Volumen-Zeit-Kurve, Fluss-Volumen-Kurve (■ Abb. 2.4, ■ Abb. 2.5), in denen man die Zusammenhänge viel besser erkennt, als in den zugehörigen Wertetabellen. Die ermittelten Zahlenwerte dienen erst in einem zweiten Schritt der Verifizierung des Befundes und der numerischen Schweregradbestimmung.

### Spirometrie

Der sitzende Patient atmet über ein Mundstück, an dem die Atemflussgeschwindigkeit gemessen wird. Zunächst wird die Ruheatmung aufgezeichnet. Anschließend werden 2–3 **Tiffeneau-Manöver** zur Messung des  $FEV_1$ , Spitzenflusses (PEF) etc. durchgeführt. Hierfür wird der Patient aufgefordert, zunächst maximal auszuatmen, um dann zügig und vollständig einzuatmen und anschließend die gesamte Luft so schnell und kräftig wie möglich auszuatmen. Da die Ergebnisse des Tiffeneau-Manövers und der VC-Messung stark mitarbeitersabhängig sind, kommt der korrekten Durchführung eine zentrale Rolle zu.

Typische Kurvenverläufe der Fluss-Volumen-Kurve liefern oft schon auf den ersten Blick die Diagnose

und man sollte mit ihnen vertraut sein und sie gegeneinander abgrenzen können.

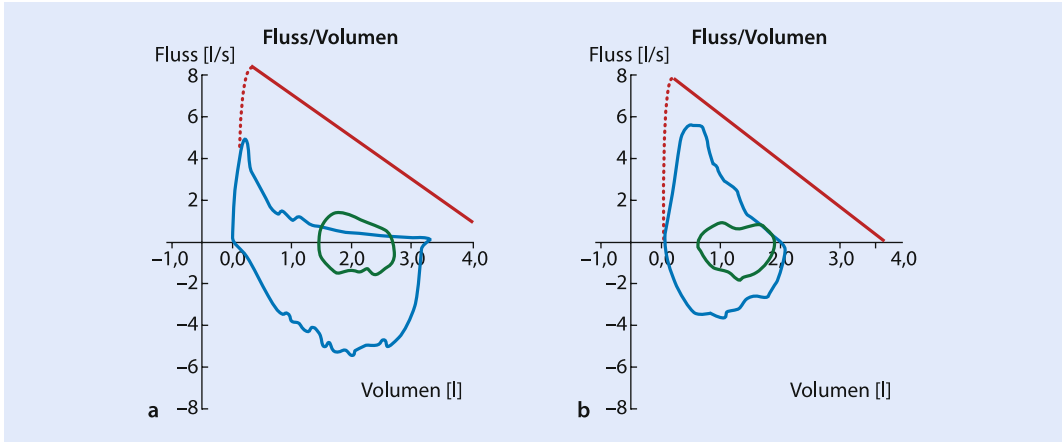
Nachfolgend ist die typische Konfiguration einer Obstruktion (■ Abb. 2.6a) und Restriktion (■ Abb. 2.6b) dargestellt. Die Domäne der Spirometrie ist die Darstellung obstruktiver Ventilationsstörungen. Die Restriktion kann nur bei eindeutigen Befunden spirometrisch diagnostiziert werden. Meist ist die zusätzliche Untersuchung mittels Bodyplethysmographie erforderlich (s. u.).

➤ **Die korrekte Durchführung bzw. Mitarbeit der Untersuchungen ist für die Validität und somit die Befundung der Messung absolut essentiell und muss stets gefordert bzw. beachtet werden.**

### 2.2.2 Bronchospasmodysetest

Bei spirometrischem Nachweis einer obstruktiven Ventilationsstörung kann die Durchführung eines ergänzenden Bronchospasmodysetestes sinnvoll sein. Der Patient inhaliert ein schnellwirksames Beta-2-Sympathomimetikum, und die Spirometrie wird nach ausreichender Wirkzeit wiederholt. Für spezielle Fragestellung erfolgt mitunter die zusätzliche Inhalation eines Anticholinergikums. Bei einem Anstieg des  $FEV_1$  von über 15% und mehr als 200 ml spricht man von einem positiven Test mit





■ **Abb. 2.6a-b** Obstruktive Ventilationsstörung, im Vergleich zur gestrichelten Sollwertkurve schwergradig verminderte expiratorische Flussgeschwindigkeiten mit konkaver Eindellung. Die VC ist zusätzlich leicht vermindert (a); Restriktive Ventilationsstörung mit mittelgradig verminderter VC bei normalen Flussgeschwindigkeiten, in Proportion zur verminderten VC (b)

partieller oder auch vollständiger Reversibilität der Obstruktion (► Abschn. 4.1.). Ein positiver Bronchospasmodolysetest spricht für das Vorliegen eines Asthma bronchiale. Ein negativer Test schließt ein Asthma jedoch nicht aus, andererseits kann ein positives Testergebnis auch bei anderen Lungenerkrankungen gesehen werden (Sarkoidose, COPD etc.). Bei einer COPD ist die Obstruktion per definitionem jedoch niemals vollständig reversibel.

### 2.2.3 Inhalativer Provokationstest

Um die Frage einer bronchialen Hyperreagibilität zu klären, können die Atemwege mit einem unspezifischen oder seltener auch mit einem spezifischen inhalativen Provokationstest gereizt werden. Bei einem unspezifischen inhalativen Provokationstest werden dem Patienten, nach zunächst normaler Spirometrie, steigende Dosen eines inhalativen, direkt (z. B. Metacholin) oder seltener indirekt (z. B. Mannitol) wirkenden Reizstoffes verabreicht und nach jeder Provokationsstufe die bronchiale Reaktion mittels Spirometrie überprüft. Fällt das  $FEV_1$  um mehr als 20% des Ausgangswertes, gilt der Test als positiv, und anhand der benötigten Dosis wird eine schwere, mittelgradige oder leichte Hyperreagibilität festgestellt. Eine Hyperreagibilität geht meist mit dem Vorliegen eines Asthma bronchiale einher.

### 2.2.4 Bodyplethysmographie

Die Bodyplethysmographie bietet die Möglichkeit, das absolute bzw. statische Lungenvolumen, welches nicht der Ventilation und somit der Spirometrie zugänglich ist, zu messen. Während der Ruheatmung wird mittels Verschlussdruckmessung die **Funktionelle Residualkapazität (FRC)** ermittelt und in Kenntnis des spirometrisch ermittelten **Expiratorischen Reservevolumens (ERV)** und der VC letztlich die **Totale Lungenskapazität (TLC)** errechnet.

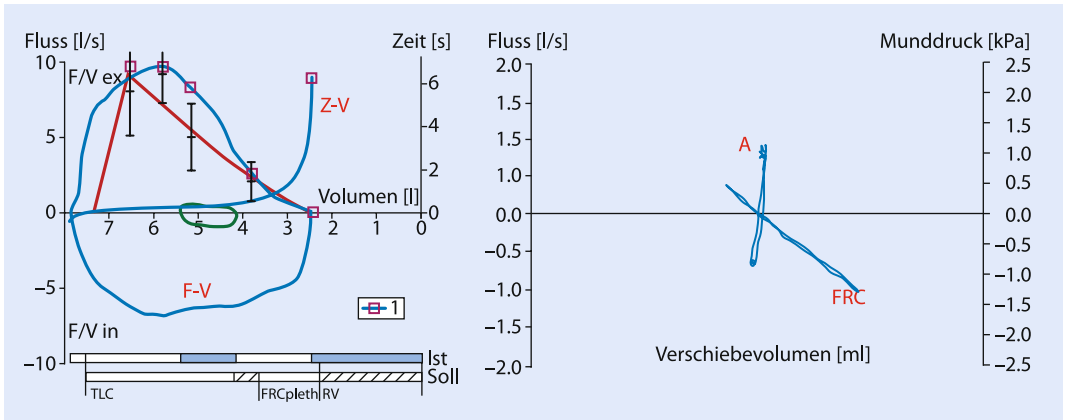
$$TLC = VC + RV$$

wobei

$$RV = FRC - ERV$$

(■ Abb. 1.9.).

Da die Restriktion über die Verminderung der TLC definiert ist, wird die Bodyplethysmographie häufig zur eindeutigen Klärung einer vermuteten restriktiven und vor allem gemischten Ventilationsstörung benötigt. Andererseits kann eine Überblähung im Rahmen einer obstruktiven Ventilationsstörung quantifiziert werden. Neben der Verschlussdruckmessung liegt der Informationsgewinn der Bodyplethysmographie in der Aufzeichnung von Atemschleifen. Sie zeigen die Atemmechanik wäh-



**Abb. 2.7** Messkurven einer Spirometrie-Bodyplethysmographie mit normaler Lungenfunktion (F-V = Fluss-Volumen-Kurve, Z-V = Zeit-Volumen-Kurve, A = Atemschleife, FRC = FRC-Verschlussdruckmessung) VC 106% vom Soll; FEV<sub>1</sub> 120% vom Soll; TLC 105% vom Soll; FRC 114% vom Soll; SR<sub>tot</sub> 30% vom Soll

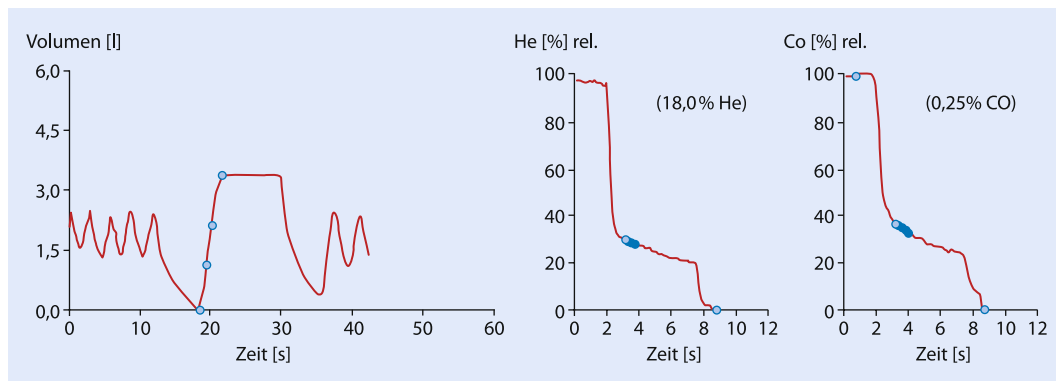
rend der Ruheatmung. Dargestellt ist das benötigte Verschiebevolumen (druckerzeugender Anteil der Thoraxbewegung), welches aufgewendet werden muss, um einen bestimmten Atemfluss für die In- und Expiration zu erzeugen. Die Steigung dieser Schleifen entspricht dem spezifischen Atemwegwiderstand ( $SR_{tot}$ ), einem Maß der Arbeit die aufgewendet werden muss, um einen bestimmten Atemfluss zu erzielen. Bezieht man den  $SR_{tot}$  auf die FRC erhält man den eigentlichen Atemwegwiderstand ( $R_{tot}$ ), der ausdrückt, wie viel Druck aufgebracht werden muss, um einen Fluss von 1 l/s zu erzeugen (Abb. 2.7).

## 2.2.5 Diffusionsmessung

Die Diffusionsmessung mit Kohlenmonoxid (CO) ist eine sehr sensitive Methode zum Nachweis von Gasaustauschstörungen. Parenchymale Störungen (interstitielle Lungenveränderungen etc.) lassen sich mit dieser Untersuchung häufig schon frühzeitig erkennen. Bei der Single-Breath-Methode muss der Patient die Luft, nach Inhalation des Testgases auf TLC-Niveau, für mehrere Sekunden anhalten und anschließend komplett ausatmen. Hierbei wird die CO-Konzentration des Exhalates gemessen, mit der über die parallel erfolgte Heliumdilutionsmessung ermittelte Verdünnung korreliert und so der zwischenzeitliche Gastransfer bestimmt (Abb. 2.8).

Die primären Messgrößen sind die Diffusionskapazität pro Volumen, auch **Krogh-Faktor (KCO)** und das **Alveolarvolumen (VA)**. Die gesamte Diffusionskapazität (DLCO) setzt sich aus KCO und VA zusammen ( $DLCO = KCO \times VA$ ). Da das Ergebnis nicht nur von den eigentlichen Diffusionseigenschaften bestimmt wird, ist es sinnvoller, anstatt der DLCO von Transferleistung bzw. dem Transferfaktor (TLCO) zu sprechen (d. h.  $DLCO = TLCO$ ). Der KCO wird manchmal auch als Transferkoeffizient ( $TLCO/VA$ ) dargestellt, was insofern irreführend ist, als das KCO die primäre Messgröße ist. Die Transferleistung wird neben der Membraneigenschaften (Membrandicke und -fläche) auch von der Blutkomponente mit (Perfusionsvolumen, -geschwindigkeit, Hb-Gehalt etc.) determiniert. Die Konstellation von Veränderungen des TLCO, KCO und VA erlaubt eine gewisse Aussage über die pathophysiologischen Funktionseinschränkungen und lässt, in Zusammenschau mit der Spirometrie/Bodyplethysmographie, Zuordnungen zu bestimmten Erkrankungen zu. Neben pulmonalen Störungen (z. B. Lungenfibrose, Emphysem etc.) gibt es eine Reihe extrapulmonaler Veränderungen (z. B. Pleuraerguss, Kyphoskoliose etc.) oder pulmonalvaskulärer Veränderungen (z. B. Lungenarterienembolie, pulmonal-arterielle Hypertonie etc.), die die Transfereigenschaften beeinflussen.





■ **Abb. 2.8** Diffusionsmessung mit spirometrischer Verlaufsdarstellung links und Konzentrationsmessungen (He und CO) des Ausatemluft rechts.  $K_{CO}$  und  $TL_{CO}$  sind schwer vermindert, während  $V_A$  nahezu normal ist. Der Befund passt zu einem aus-  
geprägten Emphyseanteil bei einem Patienten mit schwerer COPD

Blutgas Ergebnis		
$pO_2$		65,0 mmHg
↓ $pCO_2$		32,6 mmHg
$sO_2$		94,5%
Säure Basen Status		
↑ pH		7,454
$SBE_c$		-0,9 mmol/L
$cHCO_3^-(P, st)_c$		24,3 mmol/L

■ **Abb. 2.9** Kapilläre BGA eines 40-jährigen Patienten mit zentraler Lungenarterienembolie. Die BGA zeigt eine (auf das Alter bezogene) schwere Hypoxämie, trotz Hyperventilation. Entsprechend dazu zeigt sich eine leichte, teilkompensierte respiratorische Alkalose

die Sauerstoffsättigung ( $SaO_2$ ), der pH-Wert sowie wichtige Parameter des Säure-Basen-Haushalts (Bikarbonat, Basenüberschuss) ermittelt (■ Abb. 2.9). Es darf jedoch nicht übersehen werden, dass die eigentliche Sauerstoffversorgung des Organismus noch durch weitere Parameter determiniert wird. Das Sauerstoffangebot ist das Produkt aus Herzzeitvolumen und dem Sauerstoffgehalt ( $CaO_2$ ) des Blutes. Der  $CaO_2$  wiederum ist das Produkt aus Sauerstoffsättigung, Hämoglobin und Hufner-Zahl (► Kap. 1).

## 2.2.6 Blutgasanalyse

Die Blutgasanalyse (BGA) spiegelt das Ergebnis zwischen der pulmonalen Anforderung des Stoffwechsels einerseits und der Leistungsfähigkeit des Atemsystems andererseits wieder. Sie ist somit Ausdruck der Summe der Einzelfunktion der Lungenfunktion und deren Zusammenspiel. Als Goldstandard gilt die arterielle Probengewinnung. In den meisten Fällen ist die kapilläre Abnahme aus dem hyperämisierten Ohr läppchen jedoch nahezu gleich, daher ausreichend und im klinischen Alltag weit verbreitet.

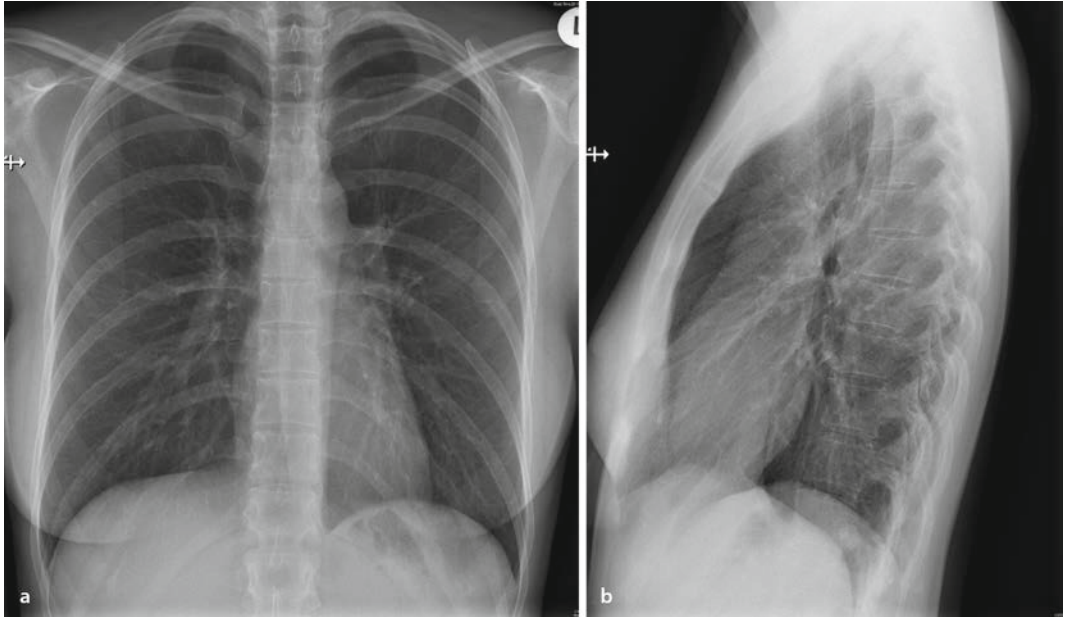
Mittels BGA werden neben den eigentlichen Blutgasen, d. h. Partialdrücke von  $O_2$  und  $CO_2$ , auch

## 2.3 Radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen

Zu den radiologischen und nuklearmedizinischen Untersuchungen der Lunge gehören das konventionelle Röntgen, die Computertomographie, die Magnetresonanztomographie, die Positronen-Emissions-Tomographie/Computertomographie, und die Lungenperfusionsszintigraphie.

### 2.3.1 Konventionelles Röntgen

Neben der Lungenfunktionsprüfung gehört die konventionelle **Röntgenaufnahme des Thorax in zwei Ebenen** zum Standard der technischen Untersuchung pneumologischer Patienten. Wenn möglich wird hierzu eine Aufnahme mit posterior-anteriorem (pa) sowie seitlichem, linksanliegendem



■ **Abb. 2.10a-b** Röntgen-Thorax in p. a. (a) und links anliegend (b) einer 30-jährigen Patientin mit alters- und konstitutionsentsprechendem unauffälligem Herz- und Lungenbefund

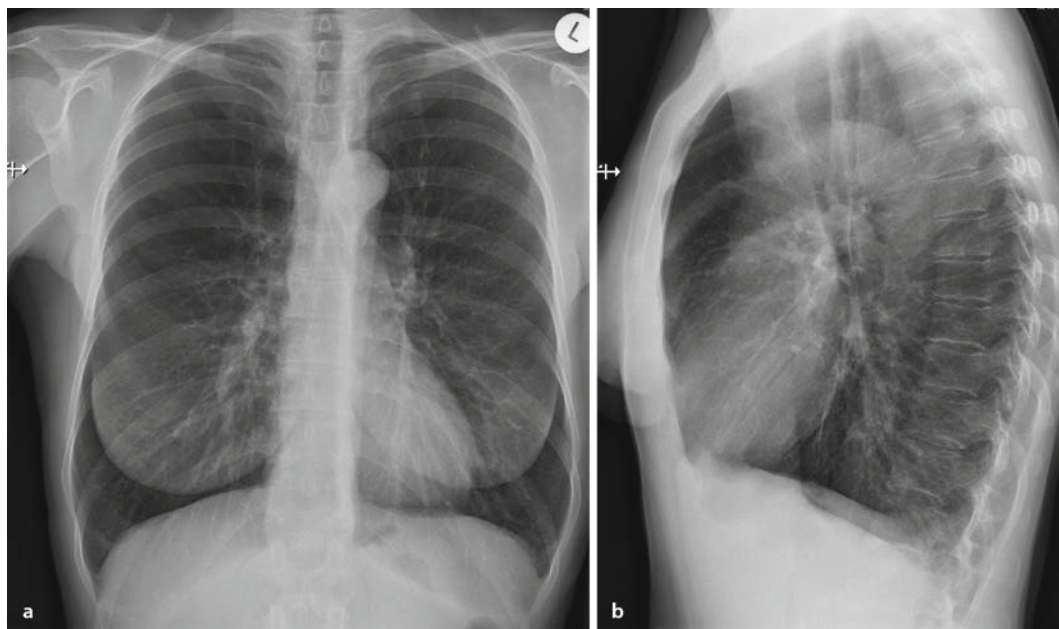
Strahlengang, jeweils im Stehen, angefertigt. Eine Liegendaufnahme mit anterior-posteriorem Strahlengang ist deutlich aussageschwächer und daher immer nur als Behelf, z. B. bei bettlägerigen Patienten, anzusehen. Überhaupt sollte die Aussagekraft der konventionellen Röntgenaufnahme nicht überschätzt werden. Im Vergleich zur **Computertomographie (CT)** wird deutlich, dass die konventionelle Radiologie deutliche Grenzen hat. Andererseits muss berücksichtigt werden, dass die CT aufwendiger und teurer ist und mit einer deutlich höheren Strahlenbelastung einhergeht (ca. 80-fach).

In der konventionellen Röntgen-Thoraxaufnahme in zwei Ebenen geht es um die Darstellung der Lungen, der Pleura und Thoraxwand, des Mediastinums einschließlich der Trachea und des Herzens sowie der großen Gefäße bzw. Hilusstrukturen (■ Abb. 2.10a-b bzw. 12.1).

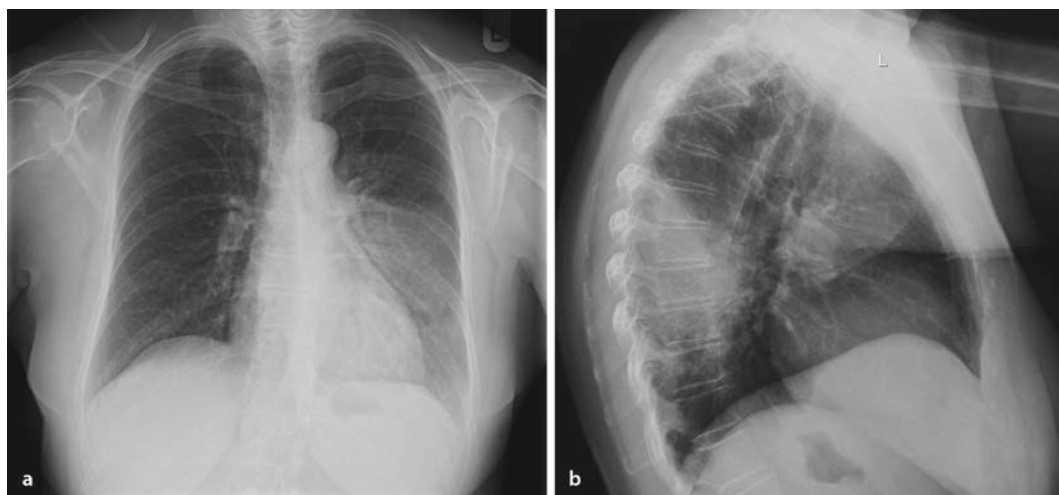
Die lufthaltige Lunge stellt normalerweise keine relevante Schwächung für die Röntgenstrahlen dar. Der Gefäßbaum bildet die Grundstruktur der Lungen, da auch die übrigen interstitiellen Strukturen im Normalzustand nicht auf dem Röntgenbild dargestellt werden. Die Thoraxwand (Adipositas, Mammæ etc.) sowie die Atemlage haben maßgeb-

lichen Einfluss auf die Darstellung und müssen stets berücksichtigt werden. Im Wesentlichen werden folgende pathologischen Strukturen in Projektion auf die Lungen unterschieden:

- **Transparenzerhöhung** ein- oder beidseitig, z. B. im Rahmen eines Pneumothorax, einer Überblähung im Rahmen eines Asthma-Anfalls oder eines Lungenemphysems (■ Abb. 2.11a-b)
- **Transparenzminderung** ein- oder beidseitig, meist lokal begrenzt, z. B. bei entzündlichem Infiltration, Rundherd, Tumor, Atelektase, interstitieller Mehrzeichnung, pulmonalvenöser Stauung, Pleuraerguss, Pleuraplaques etc. (■ Abb. 2.12a-b). Es sei betont, dass die verschiedenen Befunde oft nicht eindeutig einer Pathologie zugeordnet werden können und stets in den klinischen Kontext und ggf. über den Verlauf gesehen werden müssen. So kann eine Lymphangiosis carcinomatosa z. B. als ein atypisches pneumonisches Infiltrat fehlgedeutet werden usw.
- Der **Mediastinalschatten** und die beiden **Hili** sind ebenfalls von besonderem pneumologischem Interesse. Hier zeigen sich Verlagerungen oder Einengungen der Trachea, Ver-



■ **Abb. 2.11a-b** Röntgen-Thoraxbild einer Patientin mit schwerem Emphysem, in p. a. (a) und in linkslateralem Strahlengang (b). Das Bild zeigt eine homogene Transparenzerhöhung mit Gefäßrarefizierung und deutlichen Zeichen der Überblähung: Rippen horizontal verlaufend/ Rippenzwischenräume verbreitert, Zwerchfelle bds. tiefstehend und abgeflacht sowie Fass-thoraxform von lateral



■ **Abb. 2.12a-b** Röntgen-Thoraxbild einer Patientin mit Lobärpneumonie in p. a. (a) und in linkslateralem (b) Strahlengang. Das Bild zeigt eine Transparenzminderung in Form einer relativ homogenen, flächigen Verschattung im Sinne eines Infiltrates im linken Unterlappen mit vereinzelter Darstellung eines positiven Bronchopneumogramms. Die Lokalisation des Unterlappens wird durch das Kulissenphänomen (syn. Silhouettenphänomen) in der p. a. Aufnahme, d. h. Abgrenzbarkeit vom Herzschatten, sowie der zusätzlichen linkslateralen Aufnahme deutlich



■ **Abb. 2.13** Röntgen-Thoraxbild eines Patienten mit rechtszentralem Bronchial-Karzinom. Der rechte Hilus ist deutlich verbreitert, zeigt streifige Ausläufer und ist nach kranial verzogen. Zudem Atelektase des rechten Oberlappens mit entsprechender Transparenzminderung apiko-medial, Verlagerung der Trachea und Zwerchfellhochstand rechts. Es zeigen sich diskrete infiltrative Veränderungen im linken Unterfeld und nebenbefundlich Drahtcerclagen des Sternums (als Hinweis auf eine Herz-OP) und eine ausgeprägte thorakale Aortenektasie

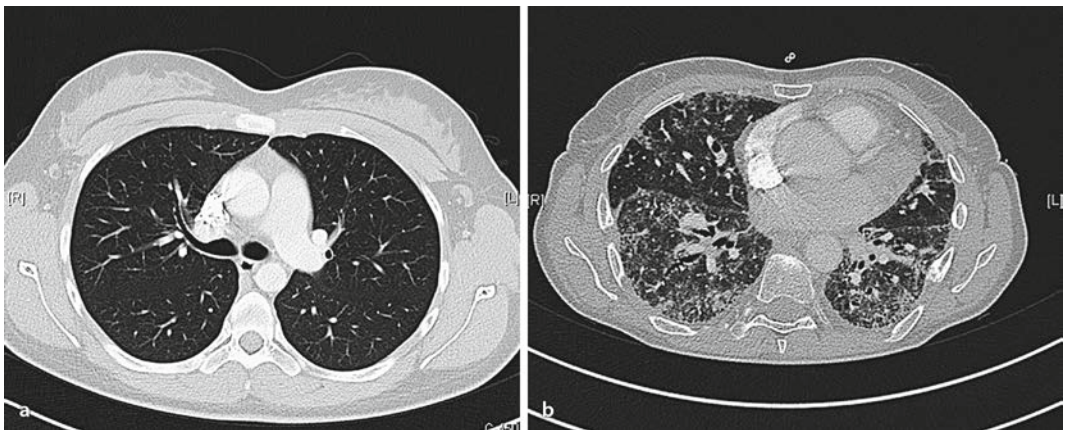
breiterungen des Mediastinums oder der Hili sowie Konturveränderungen des Herzens, die oft auch differentialdiagnostisch von Bedeutung sind. Nicht selten finden sich auch verschiedene Befunde kombiniert in einer Röntgen-Thorax Aufnahme (■ Abb. 2.13).

Die konventionelle Röntgentechnik in Form einer **Durchleuchtung** wird nur noch sehr selten zur funktionellen Darstellung der Zwerchfellbeweglichkeit genutzt, findet aber regelmäßige Anwendung in Kombination mit der Bronchoskopie, um Probenentnahmen aus dem Lungenparenchym radiologisch gesteuert vorzunehmen.

### 2.3.2 Computertomographie

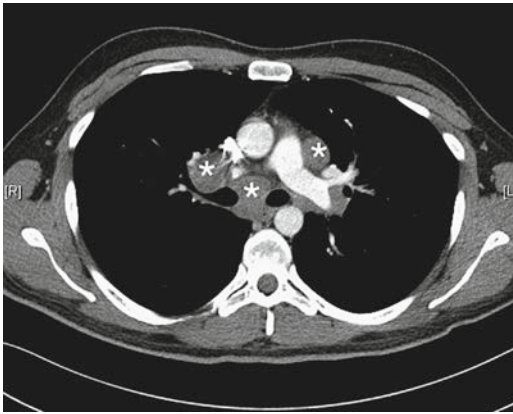
Die Computertomographie (CT) hat für pneumologische Fragestellungen einen sehr hohen Stellenwert und ist häufig unverzichtbar. Einerseits geht es um die differenzierte morphologische Darstellung, die Lokalisation und Ausdehnung pulmonaler Veränderungen (Lungenfenster, ■ Abb. 2.14a-b). Andererseits um die Untersuchung des Mediastinums (Weichteilfenster), z. B. mit der Frage des Lymphknotenbesatzes, der Pulmonalarterien (Ausschluss Lungenembolie) oder auch der Pleura etc. (■ Abb. 2.15, ■ Abb. 2.16).

Mittels moderner mehr-zeiliger Spiral-Computertomographen ist es heute möglich, bei Scan-Zeiten  $\leq 5$  Sekunden, überlagerungsfreie Darstellungen feinsten Lungenstrukturen verzerrungsfrei zu erzielen. Durch Herausrechnen sehr dünner Schichten können heute zudem aus jeder CT auch hochauflösende HR-Schichten (*high-resolution*) dargestellt werden. Dies ist zur differenzierten Untersuchung

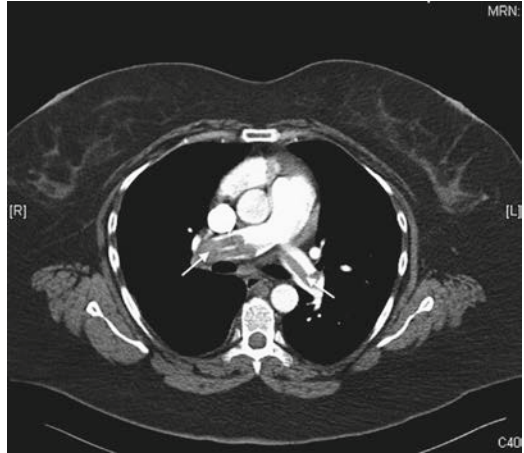


■ **Abb. 2.14a-b** CT-Thorax (Lungenfenster): Normalbefund einer jungen Patientin (a), zum Vergleich Befund einer älteren Patientin (b) mit ausgedehnter interstitieller Lungenerkrankung (retikuläre Zeichnungsvermehrung, peribronchovaskuläre Kon-solidierung, Milchglasstrübung und Honigwabenbildung)





**Abb. 2.15** CT-Thorax (Weichteilfenster) eines Patienten mit Sarkoidose. Mediastinal zeigen sich mehrere vergrößerte Lymphknoten (\*)



**Abb. 2.16** CT-Thorax (Weichteilfenster) einer Patientin mit Dyspnoe. Bei Kontrastmittelgabe zeigen sich Lungenarterienembolien beidseits (Pfeile)

interstitieller Lungenerkrankungen hilfreich. Bei den meisten Fragestellungen wird intravenös ein jodhaltiges, röntgendichtes Kontrastmittel (KM) appliziert.

**!** Bei KM-Applikation gilt es, eine vorbestehende Niereninsuffizienz, Schilddrüsenüberfunktion, Komedikation mit Metformin sowie vorherige Unverträglichkeit auszuschließen, um den Patienten nicht zu gefährden.

Zudem ist die nicht unerhebliche Strahlenexposition im Sinne einer Strahlenhygiene zu beachten.

Im Rahmen der Ausdehnungsuntersuchung eines Lungen-Karzinoms (Staging) wird die CT-Technik in der Pneumologie auch über den Thorax hinaus eingesetzt (z. B. Darstellung von Fernmetastasen: Hirn, Nebennieren, Leber, Lymphknoten, Knochen etc.).

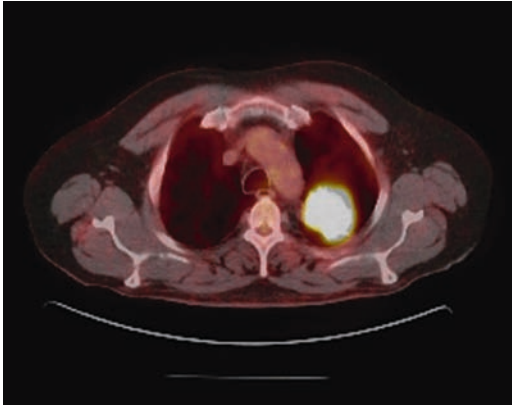
### 2.3.3 Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie (MRT) hat für die Pneumologie kaum Bedeutung, da die Lunge große Mengen Luft enthält, die nicht magnetisch anregbar ist, und so das Organ nur unzureichend dargestellt werden kann. Bei Patienten mit Lungen-Karzinom hat die Untersuchungsmethode dennoch gewisse Relevanz, da sie aufgrund ihrer Sensitivität,

zum Ausschluss von Hirnmetastasen, die Methode der Wahl ist und durch die optimale Darstellung von Weichteilgewebe ein mögliches Einwachsen des Tumors in benachbartes Weichteilgewebe, z. B. die Thoraxwand bei Pancoast-Tumoren oder auch das Perikard, besser klären kann.

### 2.3.4 Positronen-Emissions-Tomographie/Computertomographie

Bei der Positronen-Emissions-Tomographie (PET)/CT handelt es sich um eine kombinierte Untersuchung von PET und CT. Bei der PET wird Glukose mit einem radioaktiven Tracer, zu einem Radiopharmakon ( $^{18}\text{F}$ -FDG: Fluor-18-Fluor-Desoxy-Glucose) gekoppelt und dem Patienten intravenös appliziert. Das Radiopharmakon reichert sich in Organen und Geweben mit gesteigertem Stoffwechsel an und zerfällt, die lokal entstehende Gamma-Strahlung wird sodann von den Detektoren des PET registriert. Die regionale funktionelle Aktivität wird durch die PET zeitgleich mit den anatomisch-morphologischen Schichten der CT erfasst und im Weiteren kombiniert dargestellt. Da die Aktivität in Tumorgewebe erhöht ist, lässt sich neben der Darstellung des Primarius eine Metastasierung (außer im Hirn) relativ sicher nachweisen bzw. ausschließen, sodass die Methode bei ausgewählten Patienten



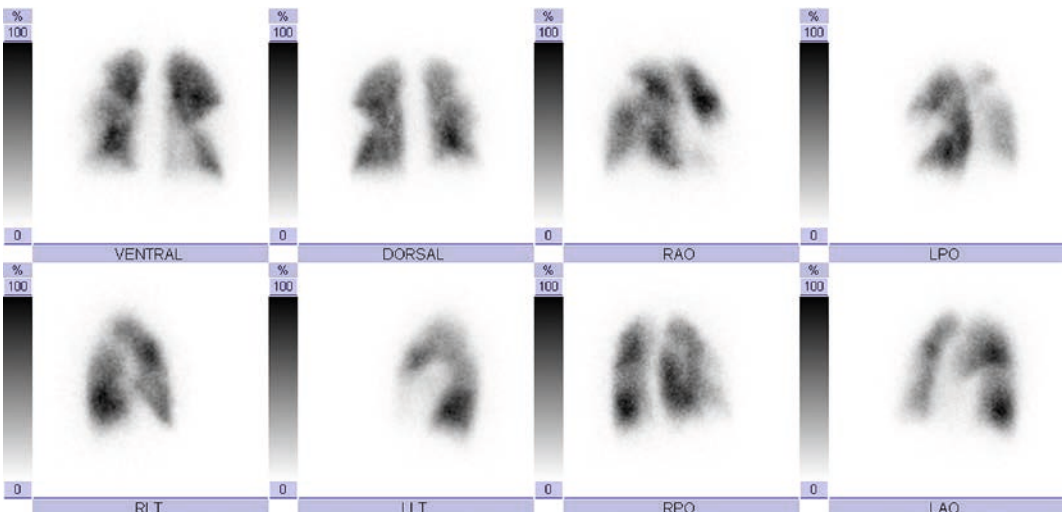
■ **Abb. 2.17** PET/CT bei einem Patienten mit einem Adenokarzinom der Lunge. Das PET/CT zeigt die Darstellung des Primarius im linken Oberlappen

ten mit Lungen-Karzinom zum Einsatz kommt (■ Abb. 2.17).

Im Einzelfall wird die PET seit kurzer Zeit auch mit der MRT kombiniert (PET/MRT). Dies ist jedoch ungleich aufwendiger und wird bisher nur von wenigen Zentren angeboten. Der Stellenwert der Untersuchung in der Pneumologie ist noch nicht abschließend bewertet.

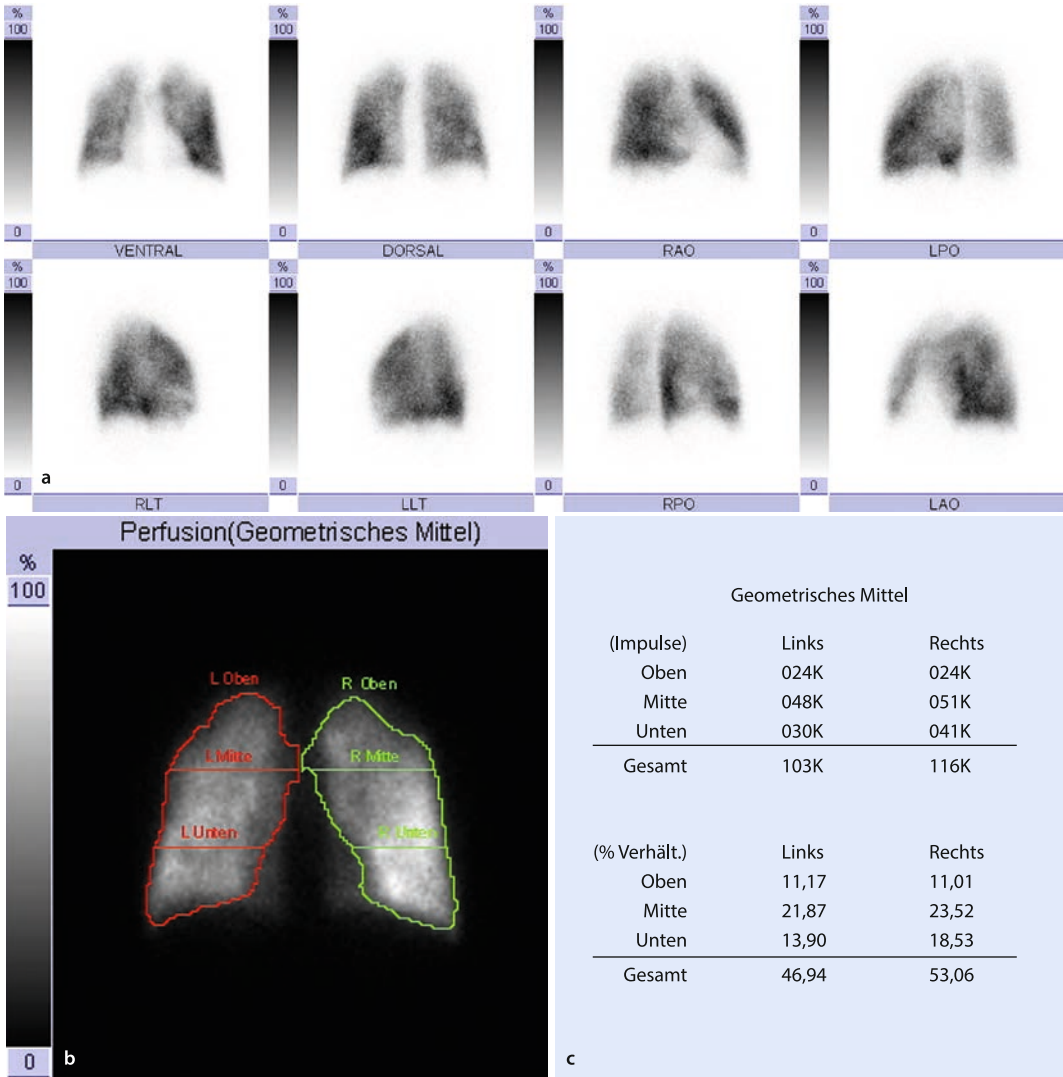
### 2.3.5 Szintigraphie

Mittels **Lungenszintigraphie** kann die Perfusion und optimalerweise zusätzlich die Ventilation der Lunge gemessen und miteinander verglichen werden. Die Lungenszintigraphie wird zur Klärung des Verdachts auf das Vorliegen einer Lungenembolie alternativ zur CT durchgeführt. Hierbei wird zunächst ein radioaktives Gas eingeatmet und dann die regionale Ventilation in Form des Aktivitätsverteilungsmusters (Erfassung mittels Gamma-Kamera) dargestellt. Anschließend werden  $^{99m}\text{Tc}$  markierte Eiweißpartikel intravenös appliziert und das Aktivitätsverteilungsmuster für die Perfusion aufgezeichnet. Das szintigraphische Korrelat einer Lungenembolie ist der regionale, typischerweise lappen-, segment- oder subsegmentbezogene Perfusionsausfall bei erhaltener Ventilation (sog. V/Q mismatch). Die Ventilationsszintigraphie unterliegt jedoch, im Vergleich zur Perfusionszintigraphie, einer eingeschränkten Verfügbarkeit, sodass zum Ausschluss von ventilationsbedingten oder strukturellen Perfusionsausfällen (Atelektase, Bulae etc.) zumindest eine konventionelle Röntgen-Thoraxaufnahme durchgeführt werden muss. Dies erhöht jedoch das ohnehin erhöhte Risiko falsch



■ **Abb. 2.18** Lungenperfusionsszintigraphie einer Patientin mit vorliegender Niereninsuffizienz (Kontraindikation CT-Kontrastmittel). Die Szintigraphie zeigt mehrere periphere Perfusionsausfälle beidseits (keilförmige fehlende Aktivitätsbelegung), ohne röntgenologisches Korrelat. Befund ist vereinbar mit beidseitiger peripherer Lungenarterienembolie und bestätigte den klinischen Verdacht





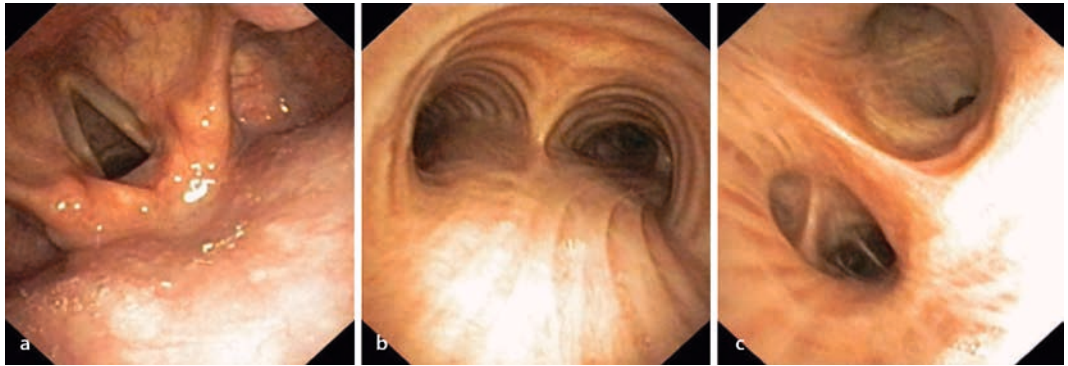
■ **Abb. 2.19a-c** Fleckig-inhomogene Nuklidfixierung bei Emphysemthorax. Lokale Minderperfusion im Bereich des Bronchialkarzinoms des rechten Unterlappens bei ansonsten im Wesentlichen seitengleicher Nuklidfixierung. Planare Lungenperfusionsszintigraphie in verschiedenen Projektionen (a-b) und im geometrischen Mittel (c)

positiver Befunde, und die isolierte Perfusionsszintigraphie sollte daher nur bei Patienten mit Kontraindikationen für eine KM-Applikation im Rahmen einer CT angewandt werden (■ Abb. 2.18).

Bei Patienten mit eingeschränkter Lungenfunktion wird zur präoperativen Diagnostik einer Lungenteilresektion oft eine Lungenperfusionsszintigraphie zur orientierenden Voraussage der postoperativen Lungenfunktion durchgeführt. Hiermit

soll vermieden werden, dass funktionell essentielle Lungenabschnitte entfernt werden (■ Abb. 2.19a-c).

Als weitere nuklearmedizinische Untersuchung hat die **Knochenszintigraphie** zum Ausschluss bzw. Nachweis einer ossären Filiarisierung eine Relevanz bei Patienten mit Lungen-Karzinom.



■ **Abb. 2.20a-c** Bronchoskopischer Blick auf den Larynx mit den Stimmlippen (a), die untere Trachea mit Hauptcarina und den beiden Hauptbronchien (b) sowie den distalen linken Hauptbronchus mit Unterlappenabgang (unten) und Oberlappenabgang (oben) (c)

## 2.4 Endoskopie

Mittels Bronchoskopie werden die Atemwege und Lungen in flexibler oder seltener in starrer Technik untersucht bzw. behandelt.

### Flexible Bronchoskopie

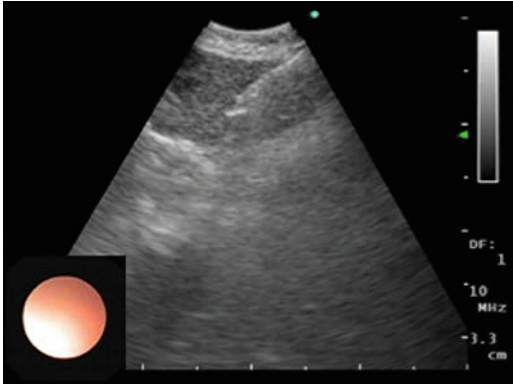
Bei der flexiblen Bronchoskopie wird der sedierte Patient über Mund (oder Nase) mit dem flexiblen Endoskop intubiert. Eine lokale Anästhesie unterdrückt hierbei den natürlichen Hustenreiz. Es werden sodann der Larynx, die Trachea und das Bronchialsystem inspiziert (■ **Abb. 2.20a-c**). Der Bronchialbaum kann hierbei meist bis auf Subsegmentebene beurteilt werden, und entzündliche oder tumoröse Veränderungen lassen sich i. d. R. gut erkennen und mitunter bereits makroskopisch spezifischen Diagnosen zuordnen. Zur Früherkennung von malignen Schleimhautveränderungen wird die Inspektion mit Weißlicht z. T. um die Beurteilung unter speziellen Lichtverhältnissen ergänzt (*Narrow Band Imaging* oder *Autofluoreszenz*). Neben der Inspektion wird häufig eine Probeentnahme über das Bronchoskop durchgeführt. Bronchialsekret, gezielte Gewebeproben aus Schleimhaut, suspektem Tumorgewebe etc. können per Sekretaspiration bzw. Zangen- oder Kryobiopsie entnommen werden. Des Weiteren besteht mittels Bronchoalveolärer Lavage (BAL) die Möglichkeit, Sekret bzw. Zellmaterial aus dem Alveolarbereich bestimmter Lungensegmente zu gewinnen oder

auch Biopsien aus dem (nicht sichtbaren) Lung parenchym zu entnehmen. Hierbei wird die Zange unter Röntgendurchleuchtung an die gewünschte Region (Raumforderung, Infiltrat etc.) herangeführt.

Mitunter werden auch Interventionen, wie z. B. die thermische Tumorverkleinerung mittels APC-Beaming oder die Ventilimplantation o. ä., zur endoskopischen Lungenvolumenreduktion bei Emphysem durchgeführt.

Vor allem bei aufwendigeren Interventionen (Laserbehandlung eines Tumors, Stentimplantation bei Stenosen etc.) ist es sinnvoll, die **Bronchoskopie mittels starrer Technik** durchzuführen. Das Indikationsspektrum wurde aufgrund der guten technischen Entwicklung der flexiblen Bronchoskopie in den letzten Jahren zunehmend enger, und die Verfügbarkeit ist zudem deutlich eingeschränkt. Bei der starren Bronchoskopie wird dem vollnarkotisierten Patienten bei stark rekliniertem Kopf ein Metallrohr bis in die Trachea vorgeschoben und dann über das starre Bronchoskop die Instrumentarien etc. eingeführt.

Seit einigen Jahren wird zusätzlich der **endo-bronchiale Ultraschall (EBUS)** angewandt. Aufgrund seiner bahnbrechenden Möglichkeiten, ist die Technik mittlerweile weit verbreitet. Am distalen Ende des flexiblen Bronchoskops befindet sich neben einer Optik ein kleiner Sektor-Ultraschallkopf, sodass die Atemwege über die sichtbare Schleimhaut hinaus beurteilt werden können.

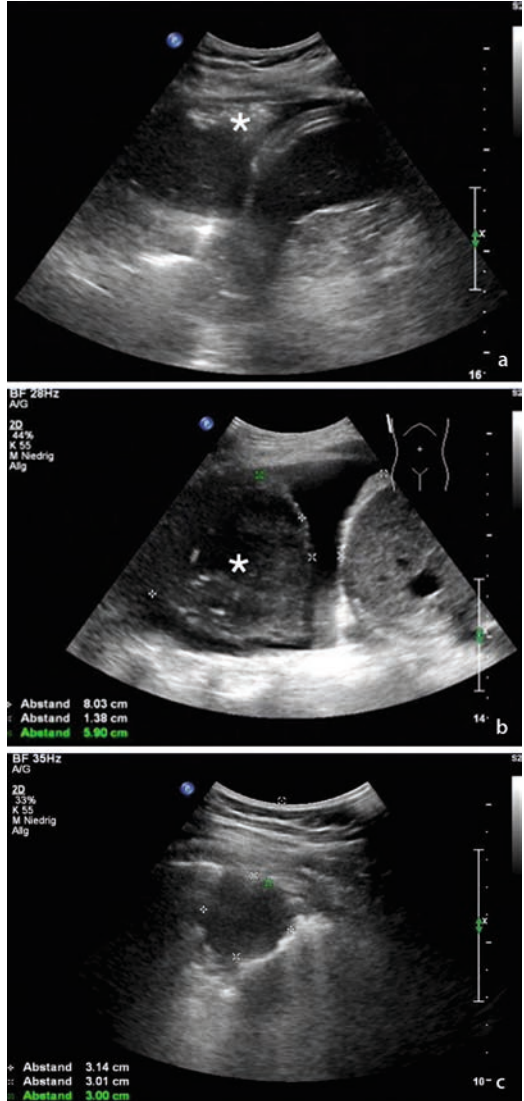


■ **Abb. 2.21** Bild während des endobronchialen Ultraschalls mit sonographischer Darstellung eines mediastinalen Lymphknotens, der gerade transbronchial punktiert wird (Stanznadel von oben rechts im Bild in den LK eingeschoben sichtbar)

Lymphknoten oder Raumforderungen in unmittelbarer Nähe zur Trachea und den großen Bronchien können, sonographisch gesteuert, transbronchial punktiert (TBNA) werden, wodurch eine zytologische und oft histologische Untersuchung des Stanzmaterials ermöglicht wird (■ Abb. 2.21). Eine abklärende Mediastinoskopie, z. B. im Rahmen eines Lungen-Karzinoms, ist somit heute nur noch selten nötig. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, mittels Minisonde mit radialem Schallkopf, sonographische Untersuchungen der peripheren Atemwege durchzuführen. Dies ist jedoch selten nötig und auch nur stark eingeschränkt verfügbar.

## 2.5 Sonographie

Die eigentliche Lunge lässt sich aufgrund ihres Luftgehaltes nur bedingt sonographisch darstellen, da Luft die Ultraschallwellen nahezu komplett reflektiert. Dennoch gehen die Möglichkeiten der Thoraxsonographie heute weit über das Erkennen eines Pleuraergusses hinaus (■ Abb. 2.22a-c). Die Einsatzgebiete des endobronchialen Ultraschalls wurden schon erörtert. Der **transthorakale Ultraschall** ermöglicht eine differenzierte Darstellung der Thoraxwand bis einschließlich der Pleura. Pathologische Lungenprozesse können zudem dargestellt werden, wenn sie die Pleura erreichen oder durch



■ **Abb. 2.22a-c** Sonographische Darstellung eines pneumonischen Infiltrates im linken Unterlappen (\*) mit kleinem parapneumonischen Randwinkelerguss (a), eines rechtsseitigen Pleuraergusses und Lungentumors (\*) im rechten Unterlappen (b), eines pleuraständigen Lungentumors (c)

ein schallleitendes Medium (Pleuraerguss oder Atelektase) der Bildgebung zugänglich sind. Zum Einsatz kommen sowohl der B-Mode (*brightness mode*), in dem die Stärke der Echosignale in einem zweidimensionalen Schnittbild in Graustufen sichtbar gemacht wird, als auch die farbkodierte Duplexsonographie, in der das B-Bild um die vaskulären

Flussverhältnisse aus der Dopplersonographie (Strömungsrichtung und -geschwindigkeit farbkodiert dargestellt) ergänzt werden.

### Thoraxsonographie

Die möglichen Befunde der transthorakalen Thoraxsonographie werden nachfolgend aufgeführt:

- **Thoraxwand**
  - Lymphknoten, entzündlich/reaktiv
  - maligne Lymphome
  - Lymphknotenmetastasen
  - Tumorinfiltration
  - Weichteilmetastase
  - Abszess
  - Lipom
  - Hämatom
  - Rippenfraktur
- **Pleura**
  - Pleuraerguss/Ergussseptierung
  - Pleuraschwiele
  - Pleuraverdickung/-plaque
  - Pleuramesotheliom
  - Pleurametastasen
- **Subpleurale Lungenkonsolidierungen**
  - Atelektase
  - pneumonisches Infiltrat
  - Lungen-Karzinom
  - Lungenembolie
- **Dynamische Darstellungen**
  - Zwerchfellbeweglichkeit
  - Pneumothorax

Neben der strukturellen oder funktionellen Darstellung der Befunde wird die Sonographie unterstützend bei verschiedenen Probeentnahmen eingesetzt (Lymphknotenpunktion, Thorakozentese, Pleurastanzbiopsie, Lungenstanzbiopsie etc.). Zudem nimmt die allgemein-internistische **sonographische Untersuchung des Abdomens und des Halses**, z. B. zum Ausschluss bzw. zur Darstellung von Metastasen im Rahmen eines Lungen-Karzinoms (Hals-Lymphknoten, Leber, Nebennieren etc.), eine wichtige Stellung ein.

## 2.6 Laborchemische Untersuchungen

Laborchemische Untersuchungen werden zur Diagnostik (Abklärung, Verlaufskontrolle) der verschiedenartigen pneumologischen Krankheitsbilder eingesetzt. In folgenden Kategorien kommen laborchemische Untersuchungen vornehmlich zum Einsatz:

- Infektiöse Erkrankungen (Pneumonie, Tuberkulose etc.): Blutbild, CRP, PCT, IGRA etc.
- Entzündliche Erkrankungen (Sarkoidose, M. Wegener etc.): Autoantikörper etc.
- Tumorerkrankungen (Lungenkarzinom etc.): Blutbild, CRP, NSE etc.
- Thromboembolische Erkrankungen (Lungenarterienembolie): D-Dimere etc.
- Pneumologische Erkrankungen mit weiteren Organbeteiligungen (Leber, Nieren etc.): Kreatinin, GOT, GPT etc.

## 2.7 Mikrobiologische Untersuchungen

Mikrobiologische Untersuchungen werden eingesetzt, um Krankheitserreger zu identifizieren oder auszuschließen. Untersucht werden vor allem Bronchialsekret, Sputum, Pleuraerguss und Blut. Zum Einsatz kommt die Mikroskopie, kulturelle Anzucht und Nukleinsäurenachweis (z. B. PCR). Selten wird eine Antikörper Serologie notwendig.

## 2.8 Allergologische Diagnostik

Die Erhebung einer spezifischen Anamnese ist sehr wichtig. Darüber hinaus werden verschiedene Allergietestungen angewandt:

- **Hauttest** zur Untersuchung IgE-vermittelter Soforttypreaktionen, meist als Pricktest.

### Pricktest

An der volaren Unterarmseite werden Tropfen von Allergen-Testlösungen auf die Haut aufgetragen. Dann wird die Haut, mittels Pricktest-Lanzette, durch den Tropfen hindurch oberflächlich ange-



## 2.9 · Schlaflabordiagnostik

stochen. Die Ablesung erfolgt nach 15–20 min. Als Kontrollen dienen eine 0,9%ige NaCl- sowie 1%ige Histaminlösung. Verwertbar ist der Test nur, wenn die Negativkontrolle (NaCl-Lösung) im Pricktest eine allenfalls 2 mm große Quaddel, die Histaminreaktion hingegen eine mindestens 3 mm durchmessende Quaddel (»1+«-Reaktion) ergibt. Es werden dann die Quaddel-Reaktionen für die einzelnen Allergen-Testlösungen abgelesen und wie folgt dokumentiert: 0 = »Ø« (negativ); <3 mm »(+)-« (fraglich positive Reaktion); ≥3 bis <4 mm »++«; ≥4 bis <5 »+++«; ≥5 bis <6 »++++«; ≥6 »+++++« (ein- bis vierfach positive Reaktion, ■ Abb. 2.23).



■ **Abb. 2.23** Pricktest mit multiplen z. T. hochpositiven Reaktionen. (Aus Weber 2012)

Da die Reaktion durch bestimmte Medikamente (Antihistaminika, Glukokortikosteroide und Anti-depressiva) beeinflusst wird, sollten diese, wenn möglich, entsprechend pausiert werden.

- **IgE-Bestimmung** (Gesamt IgE und spezifisches IgE) als in-vitro-Verfahren, bei Kontraindikationen für einen Hauttest oder unklarem Befund.

- **Spezifische nasale oder bronchiale Provokation** mit Allergenextrakten oder nativem Material, wenn Anamnese und Hauttest bzw. spez. IgE-Bestimmung nicht eindeutig.

➤ **Die Tests weisen lediglich eine Sensibilisierung nach. Die klinische Relevanz einer Sensibilisierung leitet sich erst aus einer positiven Anamnese sowie entsprechenden Allergenexposition ab, d. h. eine nicht manifeste Sensibilisierung bleibt ohne therapeutische Konsequenz.**

## 2.9 Schlaflabordiagnostik

Neben der spezifischen Anamneseerhebung und der Erfassung klinischer Beschwerden über Patienten-Fragebögen, ist eine klinische Untersuchung der oberen Atemwege (Nasen, Rachen) notwendig. Zudem kommen in der Schlaflabordiagnostik sehr komplexe technische Untersuchungsmethoden zum Einsatz. Unterschieden wird eine (kardiorespiratorische) Polygraphie von einer Polysomnographie, welche die eigentliche Schlaflaboruntersuchung darstellt.

Die **Polygraphie** wird meist als Screening-instrument bei V. a. einer schlafbezogene Atmungsstörung eingesetzt. Sie umfasst die nächtliche Messung/ Registrierung von nasalem Atemfluss, thorakoabdominaler Atembewegung, Schnarchgeräuschen, Pulsfrequenz, Sauerstoffsättigung und Körperlage.

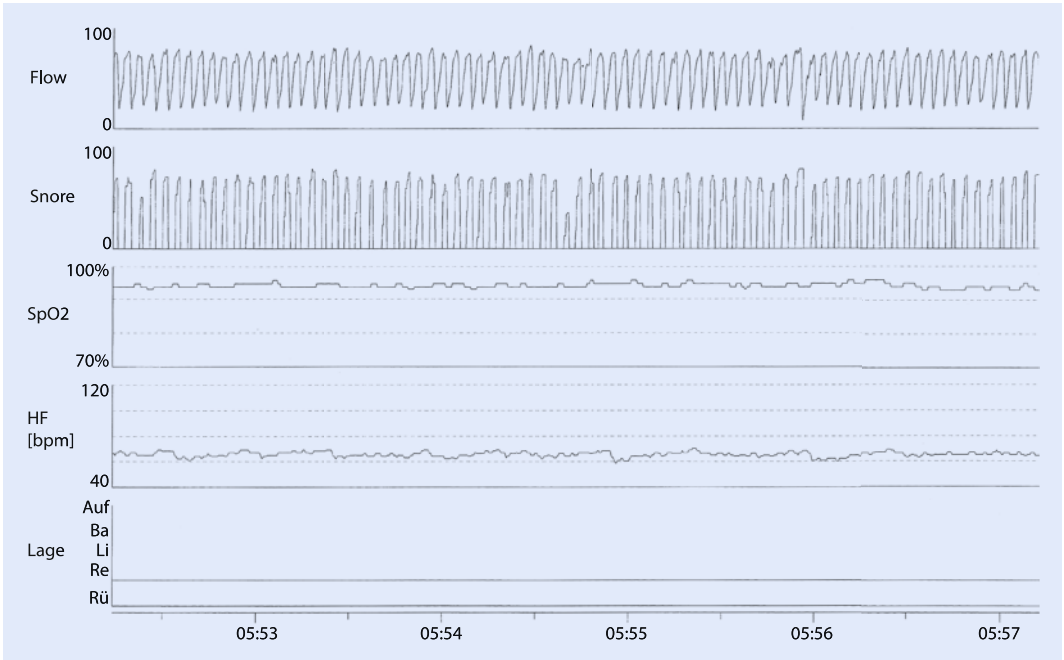
Die Messung ist mobil einsetzbar und wird auch ambulant durchgeführt. Eine automatisierte Analyse detektiert zentrale Apnoen, obstruktive Apnoen und Hypopnoen sowie assoziierte Ereignisse im Sinne von Enttächtigungen und Herzfrequenzveränderungen (■ Abb. 2.24). Anschließend werden die Rohdaten manuell überarbeitet und die Analyse validiert.

Die **Polysomnographie** wird in einem Schlaflabor durchgeführt und umfasst, neben den o.g. Parametern der Polygraphie, zusätzlich die Aufzeichnung eines Elektroenzephalogramms.

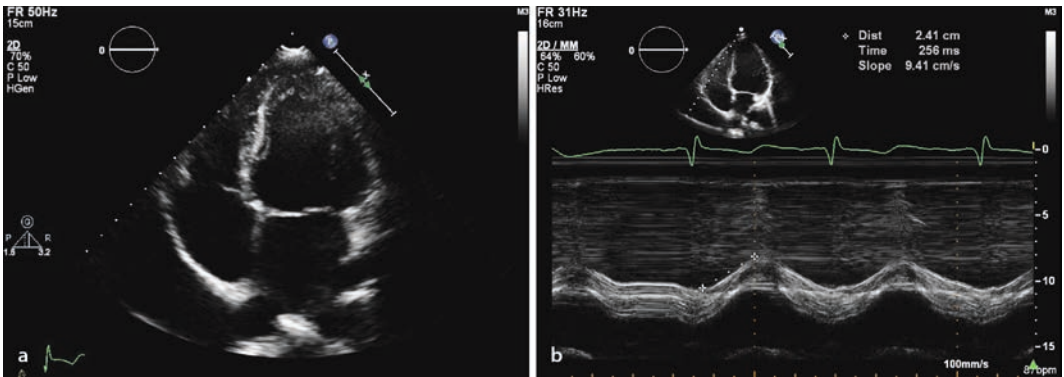
(EEG), eines Elektrokardiogramms (EKG), eines Elektrookulogramms (EOG) und eines Elektromyogramms (EMG). Zudem erfolgt ein Bild- und Tonmitschnitt des Raums.

Die Messung dient der differenzierten Abklärung von Schlafstörungen sowie der genauen Adaptation einer etwaigen Therapie (z. B. nCPAP etc.).





**Abb. 2.24** Nächtliche Polygraphie (5-Kanal) eines 46-jährigen Patienten mit Adipositas und Verdacht auf das Vorliegen eines obstruktiven Schlafapnoe-Syndroms. Gezeigt ist ein 5-Minuten Ausschnitt in den frühen Morgenstunden. Der Patient liegt auf der Seite und schnarcht. Fluss, Atemexkursionen, Puls und Sättigung sind normal



**Abb. 2.25a-b** Apikaler 4-Kammerblick: normal großer rechter Ventrikel (a), TAPSE-Messung: normale Distanz der Bewegung des Trikuspidalanulus von der Enddiastole bis zur Endsystole (b). (Mit freundlicher Genehmigung von PD Dr. Jan Steffel, Oberarzt Kardiologie, Universitätsspital Zürich)





■ **Abb. 2.26a-b** Swan-Ganz-Katheter mit Katheterspitze (Pfeil) in der rechten Pulmonalarterie (a), korrelierende Druckmessung der rechten Pulmonalarterie (b). VCI: Vena cava inferior, RA: rechter Vorhof, RV: rechter Ventrikel, PA: Pulmonalarterie, RPA: rechte Pulmonalarterie. (Mit freundlicher Genehmigung von PD Dr. Jan Steffel, Oberarzt Kardiologie, Universitäts-spital Zürich)

## 2.10 Echokardiographie

Die Ultraschalluntersuchung (Echokardiographie) des Herzens dient, unter pneumologischen Gesichtspunkten, zum Einen der differenzialdiagnostischen Abklärung unspezifischer Beschwerden (z. B. Dyspnoe im Rahmen einer Linksherzinsuffizienz), zum Anderen der gezielten Beurteilung des rechten Herzens und des pulmonalarteriellen Druckes (PAP). Echokardiographisch werden sowohl Morphologie als auch Funktion des Herzens untersucht. Die Beurteilung der Funktion des rechten Ventrikels (RV-Funktion) fängt mit der Bestimmung der RV-Größe und der qualitativen Abschätzung ihrer Funktion an. Hierzu wird der B-Mode (brightness mode) genutzt (■ Abb. 2.25a). Im Weiteren kann die longitudinale systolische Funktion z. B. mittels TAPSE (*tricuspid annular plane systolic excursion*) quantifiziert werden. Die TAPSE wird mittels M-Mode (*motion mode*) gemessen und entspricht der Distanz der Bewegung des Trikuspidalanulus von der Enddiastole bis zur Endsystole (■ Abb. 2.25b).

Zudem wird untersucht, ob eine pulmonale Hypertonie (PH) vorliegt. Im Zuge einer PH kommt es zu einer Trikuspidalinsuffizienz, die es ermöglicht, den systolischen PA-Druck (PAPs) durch die Bestimmung der maximalen Geschwindigkeit des Trikuspidalinsuffizienz-Flusssignals (im conti-

nuous-wave-Doppler) abzuschätzen. Die modifizierte Bernoulli-Gleichung ermöglicht die Umrechnung in Druckwerte. Zu dem gewonnenen Wert muss der abgeschätzte zentralvenöse Druck (ZVD) addiert werden. Dies geschieht u. a. durch sonographische Beurteilung der V. cava inferior (Weite, inspiratorischer Kollaps). Bei latenter Druckerhöhung ist mitunter die Durchführung einer Echokardiographie unter Belastungsbedingungen (Stress-echokardiographie) sinnvoll bzw. nötig.

## 2.11 Rechtsherzkatheteruntersuchung

Die Rechtsherzkatheteruntersuchung erfolgt mit dem Swan-Ganz-Katheter, der mittels aufgeblasenem Ballon über die zentralvenöse Strombahn in das rechte Herz und die A. pulmonalis eingeschwenkt wird (■ Abb. 2.26a-b). Beim Vorschieben werden die verschiedenen Drücke an verschiedenen Positionen (rechter Vorhof, rechter Ventrikel, Pulmonalarterie bis zur Wedge-Position) gemessen. Die direkte Bestimmung der Druckverhältnisse ist der Goldstandard in der Diagnostik der pulmonalen Hypertonie. Über die Thermodilutionsmethode kann zudem das Herz-Zeit-Volumen (HZV) invasiv ermittelt werden.



Lunge und Atemwege

Bösch, D. - Steffel, J.; Luscher, Th. (Hrsg.)

2014, XII, 160 S., Softcover

ISBN: 978-3-642-28222-5