

Multidetektor-CT-Diagnostik der infektiösen Lungenerkrankungen

M. Horger und A. Küttner

- 24.1 Indikationen für die MSCT – 232
- 24.2 Vorbereitung der Patienten und Aufnahmeparameter – 232
- 24.3 Tipps und Tricks – 232
- 24.4 Aufnahmeparameter – 232
- 24.5 Anatomie – 233
- 24.6 MDCT Bildgebung der Pneumonien – 234
- Literatur – 240

Die Thorax-Übersichtsaufnahme ist aufgrund der Verfügbarkeit und der exzellenten Kosten-Nutzen-Relation die häufigste verwendete Untersuchungsmethode in der Diagnostik der infektiösen Lungenerkrankungen. Allerdings ist ihre Zuverlässigkeit durch eine große Interobserver-Variabilität in der radiologischen Interpretation limitiert [1]. Die Rolle der Computertomographie und der High-Resolution-CT (HRCT) ist aufgrund der überlegenen Detektion und Charakterisation pulmonaler Infiltrate gut etabliert. Dieses ist besonders wichtig in der Differential-Diagnose einer Pneumonie, sowohl bei immunkompetenten wie auch bei immunkompromittierten Patienten [2].

Die vorliegenden wissenschaftlichen Ergebnisse der MDCT, die eine dünne Kollimation und Rekonstruktionsalgorithmen mit einer hohen räumlichen Auflösung verwenden, konnten zeigen, dass die Bildqualität annähernd vergleichbar ist mit der des klassischen inkrementalen-HRCTs mit dem zusätzlichen Vorteil der lückenlosen Volumenabdeckung und der Möglichkeit multiplanare Reformationen (MPR) zu erstellen.

24.1 Indikationen für die MSCT

- Charakterisierung und Differentialdiagnose pulmonaler Infiltrate bei
 - a) Pneumonien bei ambulanten Patienten (Community acquired)
 - b) Nosokomialen Pneumonien (im Krankenhaus akquirierten) und
 - c) Pneumonien bei immunkompromittierten Patienten
- Evaluierung möglicher pneumonieassoziierter Komplikationen (Abszess, Empyem, Mediastinitis)
- Pneumonien pädiatrischer Patienten (z.B. nekrotisierender Pneumonie)
- Evaluierung von Begleitmanifestationen der Lungentuberkulose

24.2 Vorbereitung der Patienten und Aufnahmeparameter

Die meisten Untersuchungen werden mit dem Patienten in Rückenlage durchgeführt. Zur Detektion und Charakterisierung pulmonaler Infiltrate sind Aufnahmen in tiefer Inspiration üblich und in der Regel ausreichend. Aufnahmen in Expirationslage sind besonders hilfreich wenn bestimmt werden soll, ob ein bestimmtes Mosaikmuster durch Erkrankung der Atemwege, der Gefäße oder durch infiltrative Lungenerkrankungen verursacht ist. Untersuchungen mit dem Patienten in Bauchlage können gelegentlich helfen, Lungeninfiltrate und Atelektasen besser differentialdiagnostisch einzuordnen.

Bei Verlaufskontrollen sollte ein HRCT-Niedrigdosisprotokoll (z.B. 30-40 mAs) verwendet werden um eine unnötige Strahlenexposition zu vermeiden. Es konnte gezeigt werden, dass die anatomische Bildauflösung der Niedrigdosis HRCT mit der eines normalen HRCT vergleichbar ist [3,4].

24.3 Tipps und Tricks

Nachverarbeitungstechniken wie multiplanare Reformationen (MPR), die maximale und minimale Intensitätsprojektion (MIP und MinIP), Shaded Surface Displays (SSD), ob mit oder ohne EKG-Gating oder Triggering spielen bei der Diagnose pulmonaler Infektionen keine Rolle.

24.4 Aufnahmeparameter

Details der Aufnahmeparameter sind in [Tab. 24.1](#) aufgeführt. Da die Untersuchungen in der Regel ohne Kontrastmittelinjektion durchgeführt werden können, unterscheiden sich die Untersuchungsparameter der unterschiedlichen Scanner-Generationen nicht wesentlich voneinander. Mit allen MDCT- Scannern, ob 4- oder 64-Zeiler, kann das gesamte Lungenparenchym in einer Atemanhaltephase abgedeckt werden.

Tab. 24.1. Aufnahmeparameter

Parameter	4-8-Schicht-Geräte	10-16-Schicht-Geräte	16-32-Schicht-Geräte	32-64-Schicht-Geräte
Initiale CT				
Röhrenspannung (kV)	120	120	120	120
Röhrenstromzeitprodukt (mAs)	100-120	100-120	100-120	100-120
Kollimation (mm)	1	1	0,75	0,6
Normalisierter Pitch	0,65	0,65	0,57	1,2
Rekonstruktionsintervall (mm)	4	4	4	4
Kernel	hart	hart	hart	hart
Specials	Inspirationslage	Inspirationslage	Inspirationslage	Inspirationslage
Scan range	Obere Apertur / Diaphragma	Obere Apertur / Diaphragma	Obere Apertur / Diaphragma	Obere Apertur / Diaphragma
Scan direction	caudocranial	caudocranial	caudocranial	caudocranial
Kontrastmittelapplikation	keine	keine	keine	keine
Verlaufskontrolle				
Röhrenspannung (kV)	120	120	120	120
Röhrenstrom (mAs)	30-40	30-40	30-40	30-40
Kontrastmittelapplikation	keine	keine	keine	keine
Nachbearbeitung	MPR, thin-sliding MIP	MPR, thin-sliding MIP	MPR, thin-sliding MIP	MPR, thin-sliding MIP

24.5 Anatomie

Das Lungenparenchym besteht im Wesentlichen aus einem Netzwerk von Bindegewebe, das als Lungeninterstitium bezeichnet wird und peripheren präformierten luftgefüllten Räumen.

Das Lungeninterstitium kann in ein zentrales Kompartiment, das das bronchiovaskuläre Bündel umgibt und in ein peripheres Interstitium unterteilt werden. Dieses besteht aus den interlobulären Septen und dem subpleuralen Interstitium.

Die sekundären pulmonalen Lobuli repräsentieren die kleinsten Lungeneinheiten, die von Bindegewebssepten abgegrenzt werden. Diese Septen sind normalerweise nicht sichtbar, außer sie sind pathologisch verdickt (ab einer Dicke > 0.1 mm werden sie in der HRCT sichtbar).

Strukturen $\geq 0.2-0.3$ mm können routinemäßig in der HRCT identifiziert werden, wenn diese senkrecht zur Bildebene verlaufen. Im Lungenparenchym verlaufen Bronchien und die Äste der Pulmonalarterie parallel dicht zusammen. Die 1 mm

messende Bronchiole, die die Lobuli versorgt, hat eine ca. 0.15 mm dicke Wand, was gerade an der Auflösungsgrenze der HRCT liegt und nicht immer dargestellt werden kann. Hingegen kann die anatomische Relation einiger pneumonischer Infiltrate im Verhältnis zum Bronchialbaum und dem vaskulären Bündel eine wichtige diagnostische Hilfe sei.

24.6 MDCT Bildgebung der Pneumonien

24.6.1 »Community-acquired« Pneumonie

Die »Community-acquired« Pneumonie (CAP) ist die häufigste Ursache einer parenchymatösen Lungenerkrankung des immunkompetenten, nicht hospitalisierten Patienten. Die häufigste Ursache sind bakterielle Pneumonien, die entweder ein lobäres, segmentales oder lobuläres Infiltrationsmuster aufweisen (■ Tab. 24.2). Dieses kann normalerweise in der konventionellen Übersichtsaufnahme des Thorax diagnostiziert werden. Typische Erreger sind Streptokokken, gram-negative Bakterien, Staphylokokkus aureus oder Mykoplasmen. Die Inzidenz des verursachenden mikrobiellen Agens variiert geographisch und saisonal. Legionella pneumophila, Klebsiellenorganismen und Haemophilus influenzae werden als nächsthäufige Ursache genannt.

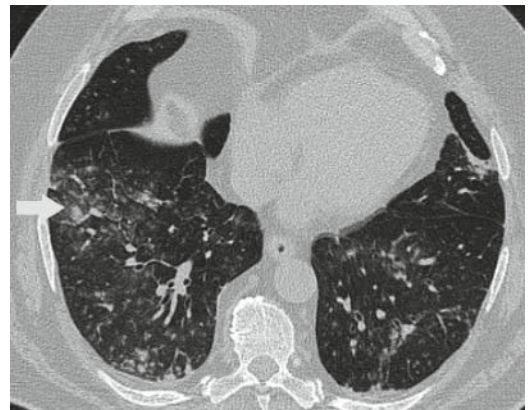
Das charakteristische CT-Bild einer bakteriellen Pneumonie (St. pneumonia, H. influenza) besteht aus Arealen konsolidierter Lungenabschnitte (lobäres oder lobuläres Muster) und gegebenenfalls begleitendem positiven Bronchopneumogramm. Die CT kann Kavernenbildung visualisieren. Das typische Erscheinungsbild einer bakteriellen Infektion schließt eher homogene lobäre Transparenzminderungen, sowie Pleuraergüsse ein.

Mycoplasma pneumoniae kann ein sehr variables radiographisches Erscheinungsmuster aufweisen. Die CT-Kriterien bestehen aus zentrilobulären verzweigenden Strukturen und Noduli (■ Abb. 24.1), Bronchialwandverdickung, Luftwegskonsolidierung oder »Ground-Glass«-Verdichtungen mit lobären Verteilungsmuster. Obwohl sich diese Pathologien auf die Luftwege beschränken ist eine Verdichtung des axialen Interstitiums und der interlobulären Septen häufig. Pulmonale Komplikationen der Mykoplasmen-Pneumonie können u.a. bei kindlicher Infektion das Swyer-James Syndrom, eine pulmonale Fibrose, sowie die Bronchiolitis obliterans (BO) sein.

Chlamydia pneumoniae ist ein anderes Pathogen das für eine atypische bakterielle Pneumonie verantwortlich ist. Gewöhnlich sieht man in der HRCT Parenchymkonsolidierungen, die mit interstitiellen Infiltrationen gemischt sind. Bei der Erstmanifestation ist die alveoläre Konsolidierung

■ Tab. 24.2. Differentialdiagnose der atypischen bakteriellen Pneumonien (modifiziert nach Grossmann und Horwarth)

Radiologisches Muster	Typischer Erreger
Lobär	Bakteriell (St. pneumonia, H. influenza)
Lobulär	Bakteriell
Interstitiell	Pneumozystis Carinii, Cytomegalie, LIP, Mykoplasma pneumoniae, Chlamydia pneumoniae, Legionella pneumophila und Viren
Nodulär	Mycoplasmen, Aspergillus, Nocardiosis. Cryptokokkus, septische Embolie, Tuberkulose



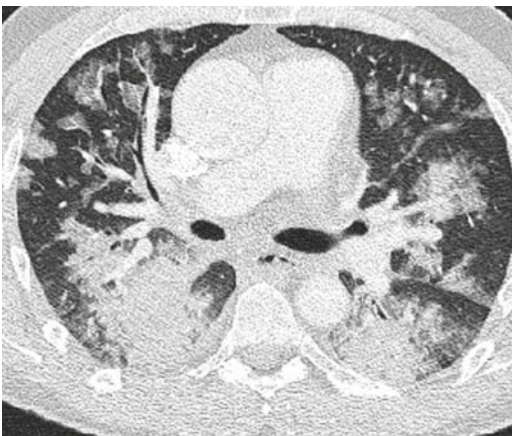
■ Abb. 24.1. Axiale Dünnschicht-CT. Mycoplasma pneumoniae Pneumonie bei einem 44-jährigen Mann. Vordergründige aufzweigende Strukturen mit angedeuteten zentrilobulären Noduli (Tree-in-Bud-Phänomen, Pfeil). Zusätzlich Ground-Glass-Verdichtungen, sowie Bronchialwandverdickung.

die Regel, während beim Rückfall einer Chlamydienpneumonie die interstitielle Verdickung ein Lungenödem vortäuschen kann (■ Abb. 24.3).

Die Differenzierung zwischen den einzelnen atypischen Pneumonien gelingt im Einzelnen oft nur wenn man die einzelnen Manifestationsmuster zur Bildinterpretation heranzieht (■ Tab. 24.1). In



■ **Abb. 24.2.** Axiale Dünnschicht-CT. Bilobäre und segmentale Konsolidierung aufgrund einer *L. pneumophila* Pneumonie. Positives Aerobronchogramm.



■ **Abb. 24.3.** Axiale Dünnschicht-CT. Annähernd symmetrische Verteilung pneumonischer Infiltrate, die von einer Ground-Glass-Verdichtung bis hin zur Konsolidierung reichen. Das perihiläre Lungenparenchym ist besonders betroffen. *Chlamydia pneumoniae*.

Abhängigkeit von den jeweiligen klinischen Umständen kann es bei Patienten mit CAP manchmal notwendig sein, andere Ursachen einer bilateralen Lungenparenchymverdichtung mittels CT auszuschließen. Ein positives Bronchopneumogramm, eine schnelle Größen- und Ausbreitungskinetik sind suggestiv für eine Pneumonie.

24.6.2 Nosokomiale Pneumonien (NP)

Nosokomiale Pneumonien (NP) werden am häufigsten von anaeroben **gram-negativen Bakterien** verursacht (Enterobacteriae, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, etc.). Ihr radiographisches Muster kann sehr variabel sein, meistens sieht man lobäre Konsolidierungsareale in beiden Lungen (■ Abb. 24.4 a,b). Nach intravenöser KM-Gabe können sekundäre Lungenabszesse, die sich als Luft-Flüssigkeitsspiegel mit reaktivem Randsaum demarkieren genauso korrekt diagnostiziert werden wie nekrotisierende Pneumonien, die kein KM aufnehmen. Zusätzlich können Lungenabszesse unter CT-Kontrolle aspiriert oder drainiert werden (■ Abb. 24.5).

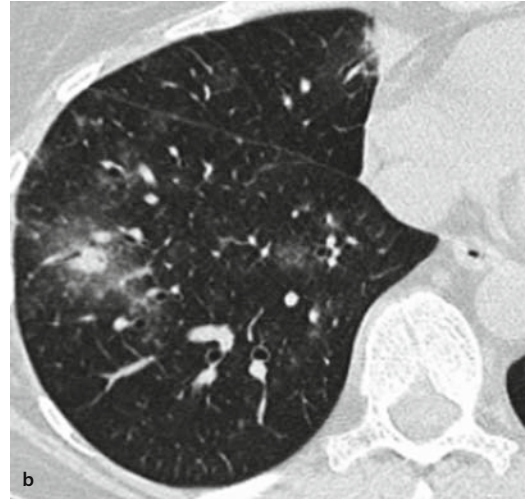
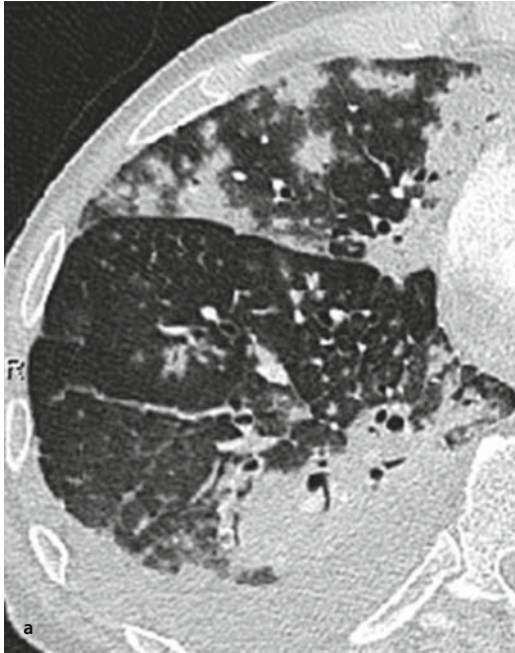
Infektiöse Komplikationen stellen das größte Risiko während der Neutropenie nach Hoch-Dosis Chemotherapie dar. Die Lunge ist dabei das mit Abstand am häufigsten betroffene Organ. Der Einsatz der CT, insbesondere der HRCT, als Untersuchungsmethode der Lunge wurde bei Empfängern einer peripheren allogenen Stammzelltransplantation umfassend untersucht. Der Befall durch Pilze, wie durch die **Candida** Spezies, sind hauptsächlich mit Ground-Glass-Verdichtungen und schlecht abgrenzbaren Noduli assoziiert, selten kommen große konsolidierte Areale vor (■ Abb. 24.6).

Aspergillus, der zweithäufigste Mikroorganismus, ist meist assoziiert mit schlecht abgrenzbaren, grob strukturierten Noduli oder fokalen Konsolidierungen (■ Abb. 24.7 a,b). Vergrößerte Lymphknoten oder Pleuraergüsse sind selten. Wird eine Mycel innerhalb einer kavernenartigen Struktur nachgewiesen (»Halo« Zeichen), so ist dies sehr suggestiv für das Vorliegen einer angiotropen Pilzinfektion, z.B. *Aspergillus* [5]. In ca. 30% der invasiven Aspergillose bricht der Pilz

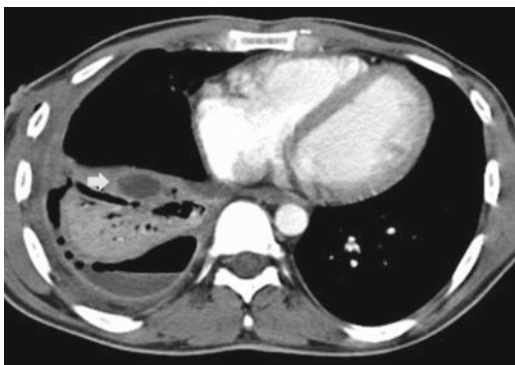
in die Luftwege ein, die CT-Untersuchung weist dann ein peribronchiales oder peribronchioläres Verteilungsmuster auf (»Tree in Bud«-Phänomen) (Abb. 24.8). Seltene angiotrope Pilzpathogene sind z.B. die Mucormycosis. Wie viele Aspergillen Spezies infiltriert die Mucormycosis oft die Brustwand, das Mediastinum oder das Diaphragma. Op-

timale angulierte MPR-Bilder helfen diese Komplikation genau zu erfassen (Abb. 24.9 a,b).

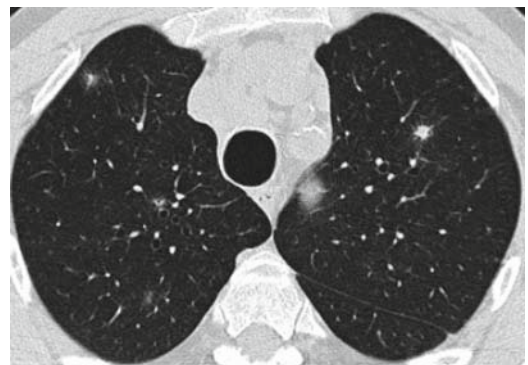
Eine Pneumonie bei **Legionellen** – häufig nach Nierentransplantationen oder in immuninkompetenten Patienten – zeigt solitäre oder multiple segmentale periphere Konsolidierungen, die sich schnell ausbreiten und einen oder mehrere



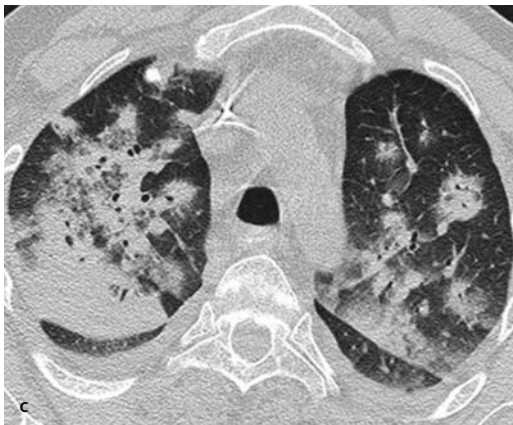
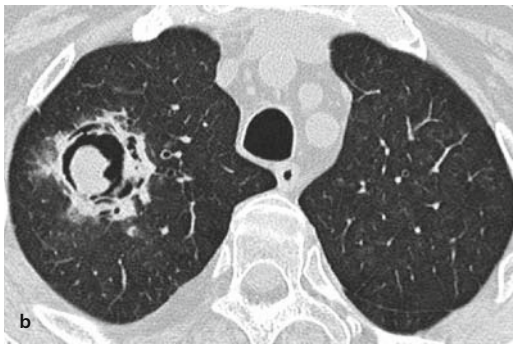
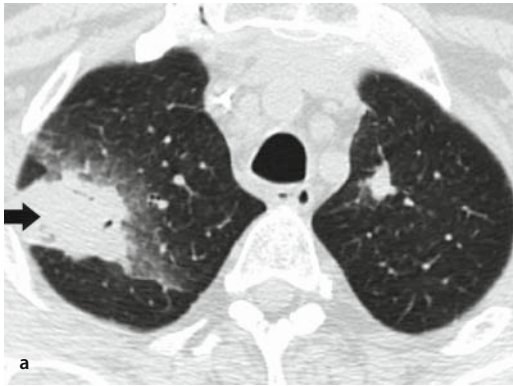
■ **Abb. 24.4 a,b.** Fokale Parenchymkonsolidierung als Ausdruck einer gram-negativen bakteriellen nosokomialen Pneumonie. Die Lungeninfiltrate auf Abb. 24.4 a wurden von *Pseudomonas aeruginosa* verursacht, in Abb. 24.4b war *E coli* das verursachende Pathogen (gewonnen durch eine Bronchiallavage).



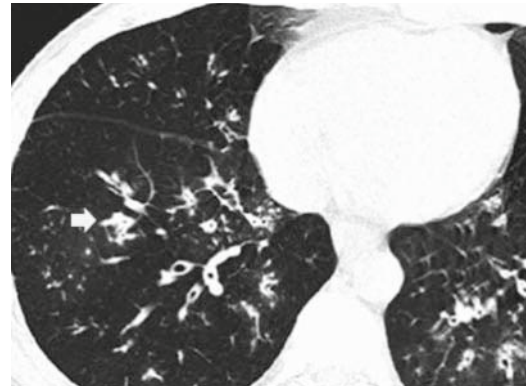
■ **Abb. 24.5.** Unterlappenpneumonie mit Begleitpleuraerguss rechts von *S aureus* verursacht. Der Erguss wurde nach diagnostischer Punktion als Pleuraempyem diagnostiziert. Beachte den umschriebenen Lungenabszess hinter dem rechten Interlobärsplatt.



■ **Abb. 24.6.** *Candida* Pneumonie bei einem 37-jährigen Mann, der an einer akuten myeloischen Leukämie erkrankt ist. Die Bronchiallavage erbrachte die Diagnose. Beachte die relativ typischen schlecht abgrenzbaren multifokalen pneumonischen Noduli, die sich in beiden Lungenflügeln ausbreiten.



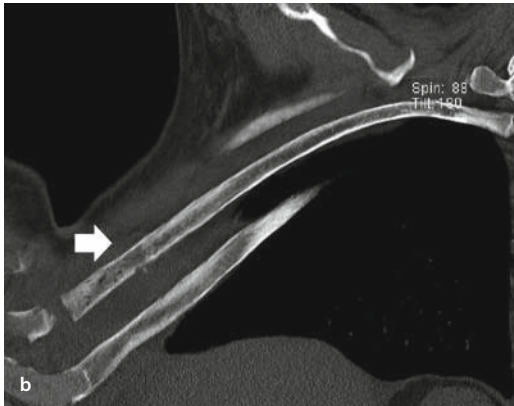
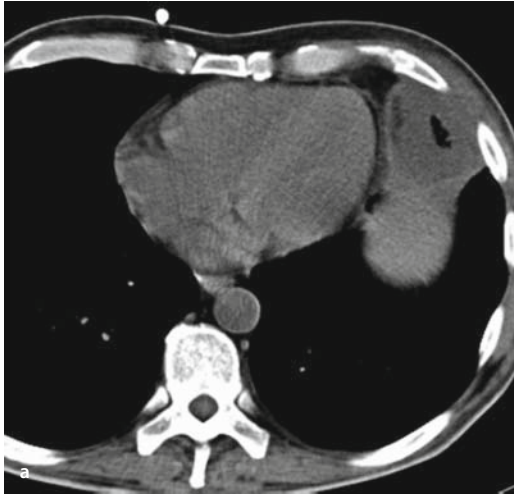
■ **Abb. 24.7 a–c.** Große Parenchymkonsolidierung und Noduli in beiden Oberlappen bei einer 44-jährigen Patientin kurz nach allogener PBST. Die Bronchiallavage erbrachte eine *Aspergillus fumigatus* Infektion. Beachte das Halo-Zeichen um die Läsion der rechten Lunge. In Abb. 24.7 b »Air Crescent« Zeichen mit Lungensequester. Zu diesem Zeitpunkt fast vollständige Auflösung des Begleit-Halo. Abb. 24.7 c zeigt eine in die Luftwege invasiv eindringende Aspergillose bei einer anderen Patientin mit multiplen fleckigen und nodulären Parenchymkonsolidierungen, die sich um einen Bronchus gruppieren.



■ **Abb. 24.8.** Axiale Dünnschicht-CT bei einem Patienten mit *Aspergillus negrus* Bronchitis und Bronchiolitis. Beachte die verdickten Bronchialwände mit dem begleitenden Tree-in-Bud-Phänomen, das durch die verdickte Wand der Bronchiole oder den luminalen Verschluss entsteht.

Lungenlappen erfassen können (■ Abb. 24.2) und sich oft auch bilateral manifestieren. Die Legionellose mündet relativ häufig in ein ARDS und zeigt dann eine Mortalität von 13%. Bis zu 25% der Pneumonien aller hospitalisierten Patienten mit CAP werden von *Legionella pneumophila* verursacht und betreffen häufiger ältere Patienten. Die Konsolidierung des Lungenparenchyms erfolgt meistens in der Peripherie der Lunge in segmentaler Ausbreitung mit einem schnellen Progress in Richtung lobärer Infiltrationen. Ein Charakteristikum der Legionellenpneumonie besteht in einer klinischen und radiologischen Verschlechterung in den ersten Tagen nach der Diagnose trotz adäquater antibiotischer Therapie. Deshalb ist die kurzfristige Verlaufskontrolle obligat.

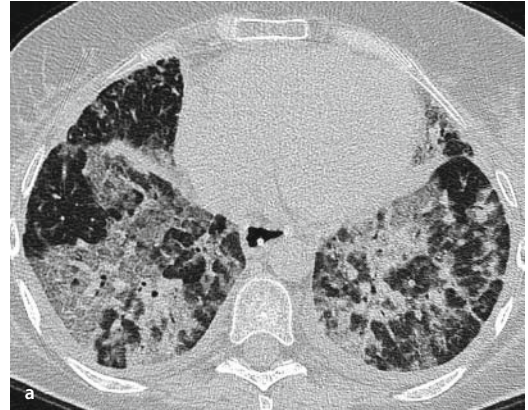
Cytomegalieviren (CMV) sind die häufigsten Pathogene, die in der ersten Phase nach Stammzelltransplantation für pulmonale Komplikationen verantwortlich gemacht werden (■ Abb. 24.10 a,b und ■ Abb. 24.11 a,b). Allerdings ist die Inzidenz dieser beiden Pathogene aufgrund gezielter antimikrobieller Prophylaxe in den letzten Jahren drastisch zurückgegangen. Die Manifestation der CMV-Pneumonie in der HRCT sind sehr variabel und polymorph. Das Infektionsmuster bei **Cytomegalie (CMV)** zeigt bilateral feine retikuläre Muster in Kombination mit nodulären Strukturen.



▣ **Abb. 24.9 a,b.** 63-jähriger Patient mit Osteomyelofibrose, der nach einer Chemotherapie Fieber entwickelte. Die axiale kontrastmittelangehobene Dünnschicht-CT zeigt einen großen avaskulären Lungensequester im linken Oberlappen (Lingula-Segment). Im Knochenfenster zeigt sich die ossäre Infiltration der 5. Rippe durch Mukormykosis (gekrümmte MPR). Dem Patienten wurde operativ die Rippe und das pneumonische Infiltrat reseziert.

Die Infektion kann Ground-Glass Muster aufweisen. Pleuraergüsse kommen vor.

Das charakteristische Muster der HRCT einer **Pneumocystis jirovecii-Pneumonie (PCP)** kann zum einen eine teils diffuse Ground-Glass-Verdichtung sein, kann retikuläre Muster oder ein perihiläres Verteilungsmuster aufweisen, das die benachbarten sekundären Lobuli ausspart. Pneumatocelen

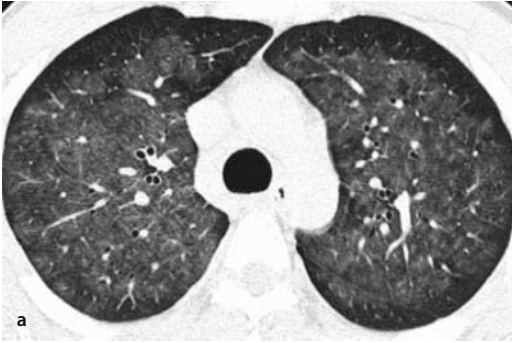


▣ **Abb. 24.10 a,b.** CMV-Pneumonie bei zwei Patienten mit akuter myeloischer Leukämie. Axiale Dünnschicht-CT mit diffusen, bilateralen Ground-Glass-Verdichtungen, septalen Verdickungen, fleckigen Arealen mit »crazy paving«-Muster und Parenchymkonsolidierungen, bei interstitiellen viralen Pneumonien.

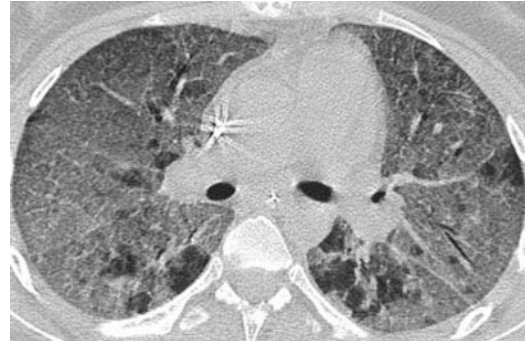
kommen in circa 10% vor. Eine Lymphknotenvergrößerung oder ein Pleuraerguss ist untypisch für eine PCP. Differentialdiagnosen sind die CMV und LIP.

Virale Pneumonieerreger wie das Herpes simplex Virus, das Respiratory Syncytial Virus, Adenoviren (ADV) (▣ Abb. 24.12) und andere sind in der konventionellen Übersichtsaufnahme schwer zu diagnostizieren [6,7], und zeigen in der CT ein feines, eher interstitiell-retikuläres Muster.

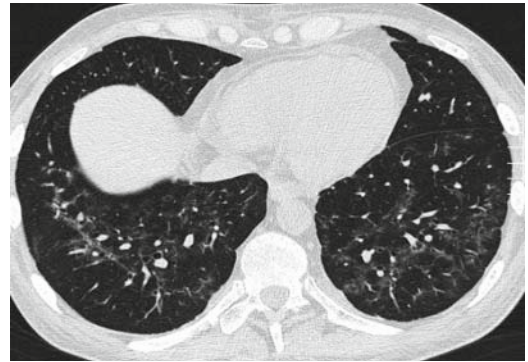
Wichtige **Differentialdiagnosen** sind Entitäten wie das Non-Hodgkin Lymphom, ein vasogenes Ödem, eine intrapulmonale Blutung, eine Graft-versus-host Erkrankung bei Transplantatträgern, und eine Sarkoidose. Pleuraergüsse, Empyem und



■ **Abb. 24.11 a,b.** 44-jähriger männlicher HIV-Patient mit Fieber und Dyspnoe (Abb. 24.11 a). Diffuse, fast symmetrische Ground-Glass-Verdichtung in beiden Lungen. Der subpleurale Raum ist ausgespart. Abb. 24.11 b zeigt eine frühe Manifestation einer *Pneumocystis carinii* Pneumonie (PCP) mit weniger symmetrischer Verteilung und geringerer Verdichtung.



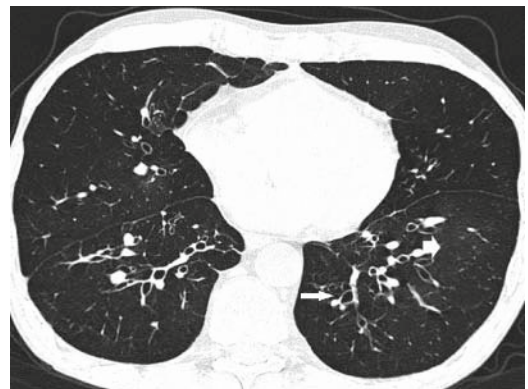
■ **Abb. 24.12.** Immunkompromittierter männlicher Patient mit Dyspnoe und Fieber. Die axiale Dünnschicht-CT zeigt eine diffuse bilaterale Ground-Glass-Verdichtung. Die Bronchiallavage ergab eine Adenovirus-Pneumonie.



■ **Abb. 24.13.** zeigt subpleural eine lineare und retikuläre Parenchymverdichtung mit beginnender Konsolidierung bei einem Patienten mit kryptogener organisierender Pneumonie.

als seltenere Entität das Lungengangrän sind Komplikationen einer Pneumonie, die insbesondere bei immun-kompromittierten Patienten und solchen mit spätem Beginn der Antibiotikatherapie auftreten. Die Differenzierung gelingt meist nur mittels CT (■ **Abb. 24.13** und ■ **Abb. 24.14**).

Zusammenfassend spielen die CT und insbesondere die HRCT eine entscheidende Rolle in der Diagnose einer pulmonalen Infektion. In erster Linie ist dies auf einen kontinuierlichen Fortschritt in der Charakterisierung von atypischen pneumonischen Infiltraten und ihren Komplikationen zurückzuführen. Die MDCT ermöglicht zudem eine lückenlose Thorax-Untersuchung in HR-Qualität und ersetzt deshalb mehr und mehr die inkrementale HRCT.



■ **Abb. 24.14.** mit generalisiertem Air-Trapping in beiden Lungen mit mosaikförmigem Verteilungsmuster und Dilatation der Bronchiallumen aufgrund einer Bronchiolitis obliterans, verursacht durch eine Graft versus Host Reaktion nach allogener PBSCT.

Literatur

1. Albaum MN, Hill LC, Murphy M, et al. Interobserver reliability of the chest radiograph in community-acquired pneumonia. *Chest* 1996;11:343.
2. Schoepf UJ, Bruening RD, Hong C, et al. Multislice helical CT of focal and diffuse lung disease: comprehensive diagnosis with reconstruction of contiguous and high-resolution CT sections from a single thin-collimation scan. *AJR* 2001;177:179-184.
3. Rotondo A, Guidi G, Catalano O, et al. High resolution computerized tomography in the study of the lung parenchyma: possibility of a low-dose protocol. *Radiol Med* 1994;35:603-607.
4. Lucaya J, Piqueras J, Garci-Pena P, et al. Low-dose high-resolution CT of the chest in children in young adults. *AJR* 2000;175:985-992.
5. Soubani AO, Chandrasekar PH. The clinical spectrum of pulmonary aspergillosis. *Chest* 2002;121:1988-1999.
6. Matar LD, McAdams HP, Palmer SM, et al. Respiratory viral infections in lung transplant recipients: Radiologic findings with clinical correlation. *Radiology* 1999;213:735-742.
7. Worthy S, Flint J, Müller N. Pulmonary complications after bone marrow transplantation: high-resolution CT and pathologic findings. *Radiographics* 1997;17:1359-1371.