

## ÜBERSICHTSARBEIT

# Radiologische Diagnostik von Lungenerkrankungen

Beachtung der Therapieoptionen bei Wahl des Verfahrens

Mark O. Wielpütz, Claus P. Heußel, Felix J. F. Herth, Hans-Ulrich Kauczor

## ZUSAMMENFASSUNG

**Hintergrund:** Röntgenthorax, Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) haben jeweils charakteristische Vor- und Nachteile, die im klinischen Kontext beachtet werden müssen. Dies wird exemplarisch anhand der klinisch wichtigsten Lungenerkrankungen diskutiert.

**Methoden:** Es erfolgte eine selektive Literaturrecherche in den Datenbanken PubMed und Google Scholar. Einbezogen in die Suche wurden Leitlinien zu den wichtigsten Lungenerkrankungen und Studien zur radiologischen Diagnostik.

**Ergebnisse:** Nur wenige große, kontrollierte Studien vergleichen einzelne radiologische Verfahren miteinander. Der Röntgenthorax hat die Rolle einer orientierenden Erstdiagnostik insbesondere bei Pneumonie, Krebs und chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD). Die Multidetektor-CT bietet eine nahezu isotrope Auflösung bei mittlerweile deutlich reduzierter Dosis von 0,2–5 mSv. Die wichtigsten leitlinienbasierten Indikationen sind Tumoren, akute Lungenembolie, pulmonale Hypertonie, Lungenfibrose, fortgeschrittene COPD und Pneumonien bei Risikopatienten. Die MRT wird in der Diagnostik von zystischer Fibrose, Lungenembolie, pulmonaler Hypertonie und Bronchialkarzinom eingesetzt. Der positive prädiktive Wert (ppW) des Röntgenthorax bei ambulanter Pneumonie beträgt lediglich 27 % (Goldstandard CT), wohingegen die MRT in einer ersten, nichtrandomisierten Studie bei der nosokomialen Pneumonie einen ppW von 95 % erreichte. Für die Dignitätsbeurteilung mediastinaler Lymphknoten beim Bronchialkarzinom erreichte die MRT einen ppW von 88 % und die Positronenemissionstomographie/CT einen ppW von 79 % gegenüber der CT alleine mit 41 % (Goldstandard Histologie).

**Schlussfolgerung:** Es sollte eine den individuellen klinischen Optionen angepasste Auswahl der radiologischen Verfahren zu Detektion, Staging, Kontrolle und Quantifizierung von Lungenerkrankungen erfolgen, um eine adäquate Therapie einleiten und eine Überdiagnostik vermeiden zu können.

### ► Zitierweise

Wielpütz MO, Heußel CP, Herth FJF, Kauczor HU: Radiological diagnosis in lung disease—factoring treatment options into the choice of diagnostic modality. *Dtsch Arztebl Int* 2014; 111(11): 181–7.

DOI: 10.3238/arztebl.2014.0181

Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsklinik Heidelberg: Dr. med. Wielpütz, Prof. Dr. med. Heußel, Prof. Dr. med. Kauczor

Translational Lung Research Center (TLRC) Heidelberg, Deutsches Zentrum für Lungenforschung (DZL), Heidelberg: Dr. med. Wielpütz, Prof. Dr. med. Heußel, Prof. Dr. med. Herth, Prof. Dr. med. Kauczor

Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie mit Nuklearmedizin, Thoraxklinik am Universitätsklinikum Heidelberg: Prof. Dr. med. Heußel

Klinik für Pneumologie und Beatmungsmedizin, Thoraxklinik am Universitätsklinikum Heidelberg: Prof. Dr. med. Herth

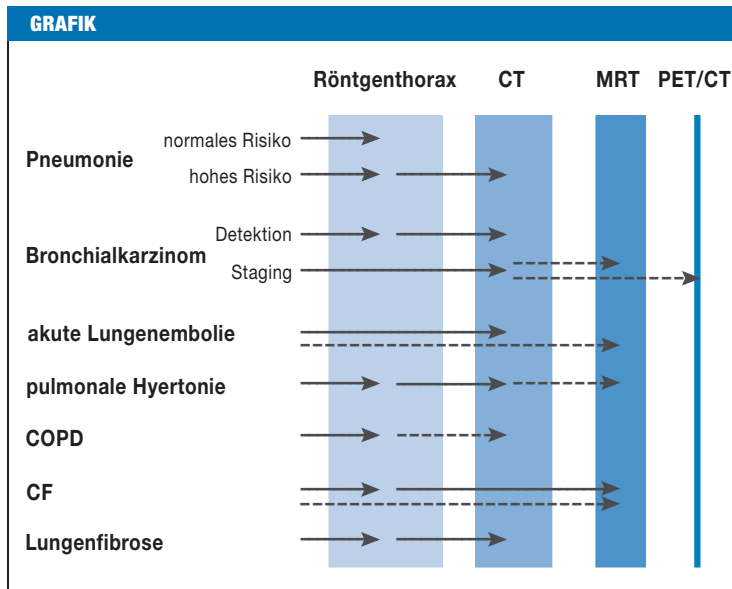
Bei der Diagnostik von Lungenerkrankungen ist die Beurteilung von Befallsmuster, Lokalisation und regionaler Verteilung eine Domäne der Radiologie. Über den klassischen Röntgenthorax hinaus können die Schnittbildverfahren Computertomographie (CT, heute als Multidetektor-CT, MDCT) und Magnetresonanztomographie (MRT) nicht nur die reine Morphologie, sondern zunehmend funktionelle Prozesse wie Durchblutung, Atmung oder Stoffwechsel regional darstellen und quantifizieren. MDCT und MRT werden auch häufig zum Therapie-monitoring oder in der Verlaufskontrolle zur Erkennung einer Progression eingesetzt, um entsprechende Umstellungen der Therapie oder weitere Interventionen zu initiieren.

Im Folgenden sollen daher etablierte und empfohlene wie neu eingeführte radiologische Techniken, die in der Versorgung der wichtigsten Lungenerkrankungen angewendet werden, mit ihren Vor- und Nachteilen, Häufigkeit, Vergütung und Strahlenexposition dargestellt werden (*Grafik, Tabelle*).

## Methode

Anhand einer selektiven Literaturrecherche in den Datenbanken PubMed und Google Scholar wurden aktuelle Leitlinien deutscher und europäischer Fachgesellschaften zu den wichtigsten Lungenerkrankungen und Publikationen großer kontrollierter Studien zur radiologischen Diagnostik gesucht. Zusätzlich wurden internationale Übersichtsartikel und Originalarbeiten zu kleineren Studien aus den letzten 10 Jahren dann berücksichtigt, wenn die Leitlinien mit Blick auf die radiologische Diagnostik nicht hinreichend aktuell oder detailliert waren.

Große kontrollierte Studien, die einzelne radiologische Verfahren gegenüberstellen, sind selten vorhanden, da technische Neuerungen sehr schnell eingeführt werden und der Mehrwert eines neuen Verfahrens häufig offensichtlich erscheint. Der Vergleich zweier strahlenexponierender Techniken im Rahmen einer klinischen Studie ist häufig ethisch nicht vertretbar, oder Patienten würden an einer randomisierten Studie, bei der ein Studienarm die langsamere Technik mit der höheren Strahlenexposition vorsieht, nicht teilnehmen.



**Erkrankungsspezifische Auswahl der Modalität.** CT, Computertomographie; MRT, Magnetresonanztomographie; PET/CT, Positronenemissionstomographie/CT; CF, zystische Fibrose; COPD, chronisch-obstruktive Lungenerkrankung

**Technische Aspekte**

**Projektionsradiographie – Röntgenthorax**

Der Röntgenthorax ist das älteste und am häufigsten angewendete radiologische Verfahren zur Diagnostik der Lunge und wird generell in zwei Ebenen durchgeführt (*Tabelle*). Im Projektionsbild mit Überlagerung aller im Strahlengang befindlichen Strukturen können circa 70 % des Lungenvolumens zumindest in einer Ebene frei eingesehen werden. Die Sensitivität für die Detektion von Rundherden, Infiltraten oder interstitiellen Veränderungen ist daher limitiert und die Differenzialdiagnose auffälliger Befunde komplex. Moderne stationäre und auch mobile Röntgenanlagen arbeiten nun voll digital und ersetzen die klassischen Film-Folien-Kombinationen.

**Computertomographie**

Die Multidetektor-CT (MDCT) ist breit verfügbar und geprägt von hoher, nahezu isotroper Auflösung (Größe der Bildpunkte 0,5–1 mm in jeder Raumrichtung), was eine Betrachtung des Bilddatensatzes in beliebigen Raumebenen erlaubt. Die Untersuchungszeit bewegt sich zwischen 1 und 10 Sekunden, so dass auch bei Dyspnoe oder fehlender Kooperation der Patienten nahezu artefaktfreie Bilder entstehen. Die ehemals klassische inkrementale „high-resolution CT“ (HRCT) wurde durch die MDCT ersetzt, da bei vergleichbarer Strahlenexposition die lückenlose Abbildung Verlaufsuntersuchungen erheblich erleichtert (1). Indikationsspezifische Protokolle sehen bei Atemwegs- und Lungenparenchymerkrankungen sowie Rundherden in der Nachsorge von extrathorakalen Primärtumoren Untersuchungen ohne intravenöse Kontrastmittelgabe vor. Beim Staging des Bronchial-

karzinoms, der Beurteilung der Gefäße und der kardiopulmonalen Interaktion hingegen sind Untersuchungen mit intravenöser Kontrastmittelgabe vorgeschrieben (1).

Nachteil der CT ist die Strahlenexposition (*Tabelle*), die mittels technischer Innovationen deutlich reduziert werden konnte. Dazu zählen:

- niedriger Röhrenstrom (beispielsweise 40 mAs); zum Beispiel für Verlaufsuntersuchungen mit Dosisreduktion (bis 80 %) ohne Verlust an diagnostischer Aussagekraft
- automatische Dosismodulation entsprechend der individuellen Anatomie: niedrige Dosis in der Thoraxmitte, höhere Dosis für den Schultergürtel; Dosisersparnis circa 30 %
- moderne Festkörperdetektoren und interaktive Bildrekonstruktionsverfahren: Verminderung des Bildrauschens; bei gleichbleibender Bildqualität kann die Dosis um circa 25 % reduziert werden.

Modernste MDCT-Scanner sind mit der „dual-energy“-Technik ausgerüstet, bei der gleichzeitig zwei unterschiedliche Energien/Röhrenspannungen eingesetzt werden. Aufgrund der Energieabhängigkeit der Absorption können bestimmte Gewebeigenschaften hervorgehoben werden, zum Beispiel die Jodverteilung nach Kontrastmittelgabe als Surrogat für die regionale Durchblutung (2).

**Magnetresonanztomographie**

Die MRT kombiniert strukturelle und funktionelle Informationen (3). Klinisch aussagekräftige MRT-Untersuchungen der Lunge gelingen durch schnelle Sequenzen, parallele Bildgebung sowie Atem- und EKG-Triggerung (3). Die meisten Lungenerkrankungen gehen mit einer Substanzvermehrung und einer Verdrängung von Luft einher, was zu einem höheren Signal in der MRT führt (Plus-Pathologie). Neben der Morphologie ermöglicht die MRT die komplementäre funktionelle Untersuchung von Perfusion, Ventilation, Atemmechanik sowie Herzaktion und Blutfluss (3). Mit wachsendem Bewusstsein für die kardiopulmonale Interaktion sollte eine MRT des Thorax sowohl die Lunge als auch das Herz umfassen, zum Beispiel durch eine radiologische „one-stop“-Diagnostik bei pulmonaler Hypertonie. Nachteile der MRT sind die Untersuchungszeit (15–30 min) und die räumliche Auflösung (Größe der Bildpunkte circa 2 mm). Dem steht der Vorteil der fehlenden Strahlenexposition gegenüber (*Tabelle*).

**Erkrankungsspezifische Bildgebung**

**Pneumonie**

Für die Diagnostik der Pneumonie ist zusätzlich zu Anamnese, klinischem Befund und Labordiagnostik der radiologische Nachweis eines Infiltrats entscheidend (4). Für die ambulante erworbene Pneumonie ist gemäß den deutschen Leitlinien der Röntgenthorax in zwei Ebenen das Verfahren der Wahl (Empfehlungsgrad B) (4). Dies gilt auch für die Initialdiagnostik der nosokomialen Pneumonie (≥ 48 h nach Hospitalisie-

TABELLE

Vergleich der wichtigsten radiologischen Verfahren in der Diagnostik von Lungenerkrankungen

	Röntgenthorax	Computertomographie	Magnetresonanztomographie
Vorteile	hohe Verfügbarkeit orientierend	hohe räumliche Auflösung hohe Sensitivität hohe Geschwindigkeit Workflow	intermediäre räumliche Auflösung hohe Kontrastauflösung hohe zeitliche Auflösung Funktion keine Strahlenexposition
Nachteile	geringe Sensitivität geringe Spezifität	KM-Allergie Kontraindikationen: eingeschränkte Nierenfunktion, Schilddrüsenfunktion	Verfügbarkeit Untersuchungszeit KM-Allergie Kontraindikationen: Implantate
Indikationen	ambulant erworbene + unkomplizierte Pneumonie, Bronchialkarzinom (Detektion) pulmonale Hypertonie COPD zystische Fibrose Fibrose	komplizierte und Risiko-Pneumonie Bronchialkarzinom (Staging) akute Lungenembolie pulmonale Hypertonie COPD Fibrose	Bronchialkarzinom, pulmonale Hypertonie zystische Fibrose
Vergütung EBM-Punkte GOÄ einfach	430 26,23 €	1 865; + 645 mit Kontrastmittel 134,06 €; mit Kontrastmittel 151,55 € + Material	3 430; + 1 260 mit Kontrastmittel 250,64 €; mit Kontrastmittel 326,42 € + Material
Dosis	0,1 mSv <sup>*1</sup>	Niedrigdosis-CT 0,2–1 mSv Routine heute 1–5 mSv Routine vor 10 Jahren 10 mSv <sup>*1</sup>	keine
Häufigkeit	15 Mio/Jahr <sup>*2</sup>	gesamt geschätzt 2 Mio/Jahr <sup>*2</sup> stationär 830 000/Jahr <sup>*3</sup>	stationär 12 000/Jahr <sup>*3</sup>

Quellen: <sup>\*1</sup>Mettler FA, et al. (38); <sup>\*2</sup>Bundesamt für Strahlenschutz (39); <sup>\*3</sup>Statistisches Bundesamt (40)  
COPD, chronisch-obstruktive Lungenerkrankung; EBM, Einheitlicher Bewertungsmaßstab; GOÄ, Gebührenordnung für Ärzte; KM, Kontrastmittel; CT, Computertomographie

rung) bei Immungesunden (starke Empfehlung, Evidenz C) (5). Da der positive prädiktive Wert des Röntgenthorax im Vergleich zur CT nur bei 27 % liegt (6), ist für Patienten mit höherem Risiko – zum Beispiel bei beatmungsassoziierter Pneumonie oder Immunkompromittierung – für Detektion und Charakterisierung von Infiltraten (Pilz?) eine native Niedrig-Dosis-MDCT angezeigt (schwache Empfehlung, Evidenz C) (1, 5). Die MRT erreichte bei dieser Patientengruppe in einer ersten nichtrandomisierten Studie eine Sensitivität von 95 %, Spezifität von 88 % und einen positiven prädiktiven Wert von 95 % im Vergleich zur MDCT (Abbildung 1) (7).

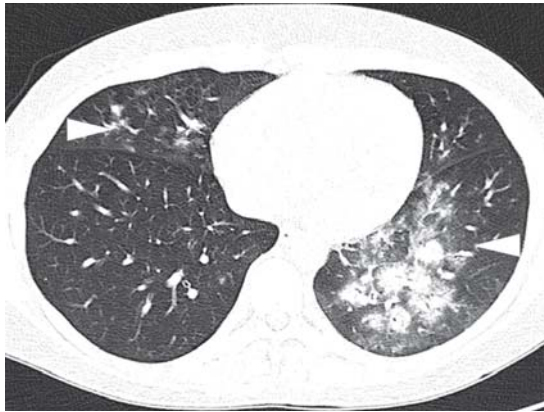
**Bronchialkarzinom**

Die KM-gestützte MDCT des Thorax ist das wichtigste Verfahren im Staging des Bronchialkarzinoms nach den deutschen Leitlinien aus 2010 (Empfehlungsgrad A) (8). In erfahrenen Zentren liefert die MRT grundsätzlich vergleichbare Ergebnisse (Evidenzgrad 4) (8). Aufgrund des hohen Weichgewebekontrastes kann die MRT zentrale Tumoranteile von nachgeschalteter Atelektase besser unterscheiden, was zum Beispiel zur Definition des Zielvolumens einer Strahlentherapie wichtig ist (8). Zur Beurteilung von Infiltrationen von Thoraxwand oder Mediastinum wird die MRT, auch als dynamische Untersuchung, ebenfalls von den Leitlinien empfohlen (8, 9). Bei Superior-Sulcus-Tumoren (Pan-

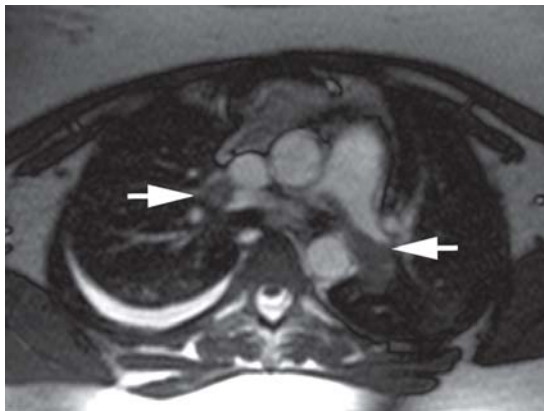
coast Tumor) sowie bei Wirbelsäulenkontakt sollte die MRT sogar explizit zur Operationsvorbereitung durchgeführt werden (Evidenzgrad 2a) (8).

Im N-Staging bezieht sich die CT-Beurteilung der Dignität nur auf den Kurzdurchmesser der Lymphknoten, was zu geringer Sensitivität und Spezifität führt (52–62 % beziehungsweise 62–69 %) (Evidenzgrad 2a) (8). Daher wird für das nichtkleinzellige Bronchialkarzinom die Positronenemissionstomographie (PET)/CT (Sensitivität 74–85 % und Spezifität 85–92 %) in Kombination mit einer histologischen Verifikation relevanter Befunde empfohlen (Evidenzgrad 1a) (8). Alternativ kann die MRT mit speziellen „diffusionsgewichteten“ Sequenzen eingesetzt werden, die metastatisch befallene Lymphknoten hell, fetthaltige benigne Lymphknoten hingegen dunkel darstellen. Hiermit werden für die MRT eine Sensitivität von 90 %, Spezifität von 93 % und ein positiver prädiktiver Wert von 88 % sowie für die PET/CT 77 %, 88 % und 79 % mit der Histologie als Goldstandard erreicht (10), während die Werte für die CT alleine in älteren Arbeiten deutlich niedriger lagen (63 %, 57 %, 41 %) (11).

Für die Detektion von Fernmetastasen (M-Staging) zeigt die Ganzkörper-PET/CT eine Sensitivität von 93 % und Spezifität von 96 % (Evidenzgrad 2a, Empfehlungsgrad A), wobei in 15 % der Fälle unerwartete Filiae im Vergleich zur alleinigen CT-Diagnostik gefunden werden. Die dedizierte Ganzkörper-MRT konnte



**Abbildung 1: Infiltratdiagnostik beim immunsupprimierten Patienten.** 34-jährige Patientin nach Hochdosischemotherapie bei B-Zell-Lymphom mit Fieber in der Aplasie. Im axialen, nativen Computertomogramm zeigen sich ausgedehnte peribronchovaskuläre Infiltrate (weißer Pfeilkopf).



**Abbildung 2: Magnetresonanztomographie (MRT) bei Lungenarterienembolie.** 23-jährige Patientin mit seit 2 Wochen bestehendem Atemwegsinfekt, aktuell Hämoptysen, Belastungsdyspnoe sowie atemabhängiger Thoraxschmerz. MRT in axialer Schichtführung ohne Kontrastmittelgabe mit Nachweis von zentralen und peripheren, teilweise umspülten Aussparungen der pulmonalarteriellen Strombahn (weiße Pfeile), entsprechend einer ausgedehnten Lungenarterienembolie.

in mehreren Vergleichsstudien Werte wie die PET/CT erreichen (positiver prädiktiver Wert 53 % versus 44 %) (12) – wobei insbesondere Fernmetastasen in Gehirn und Knochen mit der MRT besser erkannt werden als mit der PET/CT (8) – und kann gemäß den Leitlinien alternativ, zum Beispiel bei diabetischer Stoffwechsellage, durchgeführt werden (8). In jedem Fall soll zusätzlich zur PET/CT eine Schädel-MRT zum Metastasenausschluss durchgeführt werden (Empfehlungsgrad A) (8).

Seit langem ist bekannt, dass sich der Röntgenthorax nicht zur Früherkennung des Bronchialkarzinoms eignet (13). Im Gegensatz dazu konnte die Niedrigdosis-MDCT in einer ersten großen kontrollierten prospektiv-randomisierten Screeningstudie mit 53 454

Rauchern einen signifikanten Überlebensvorteil nachweisen. In der MDCT-Gruppe starben 20 % weniger Studienteilnehmer am Bronchialkarzinom als in der Kontrollgruppe (Screening mit Röntgenthorax) (14). Dies geht jedoch mit vielen falschpositiven Befunden einher (17 702 = 96,4 % in der CT-Gruppe versus 4 764 = 94,5 % in der Kontrollgruppe), die Folgeuntersuchungen (12 757 = 72 % versus 4 211 = 85 %) und Komplikationen durch invasive Abklärung (61 = 0,4 % versus 16 = 0,3 %) nach sich ziehen. Weiterhin ist noch nicht geklärt, inwieweit zu häufig inidolente Tumore behandelt werden, die für das Überleben des Patienten nicht relevant geworden wären („Überdiagnostik“). Auch sind die US-amerikanischen Ergebnisse nicht einfach auf Deutschland übertragbar, so dass die Resultate der laufenden europäischen Studien abzuwarten sind (15, 16).

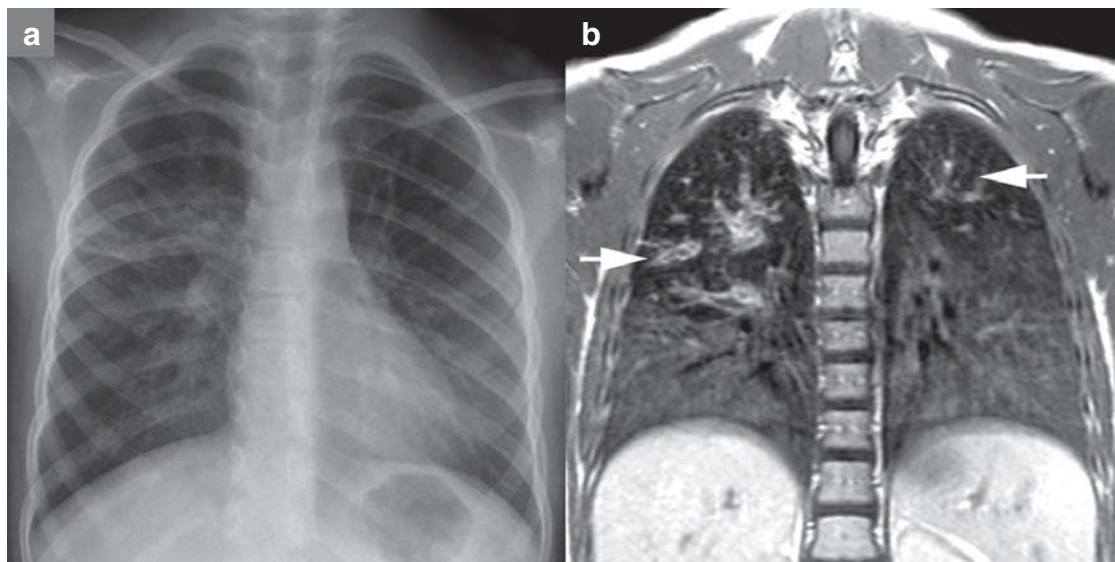
**Vaskuläre Erkrankungen**

Die KM-verstärkte MDCT hat sich mit höchster Sensitivität (83–100 %) und Spezifität (89–97 %) sowie rascher Verfügbarkeit in der Diagnostik der akuten Lungenarterienembolie (LAE) flächendeckend etabliert und auch in den aktuellen deutschen Leitlinien die Szintigraphie und invasive Angiographie als primäres bildgebendes Verfahren abgelöst (17, 18).

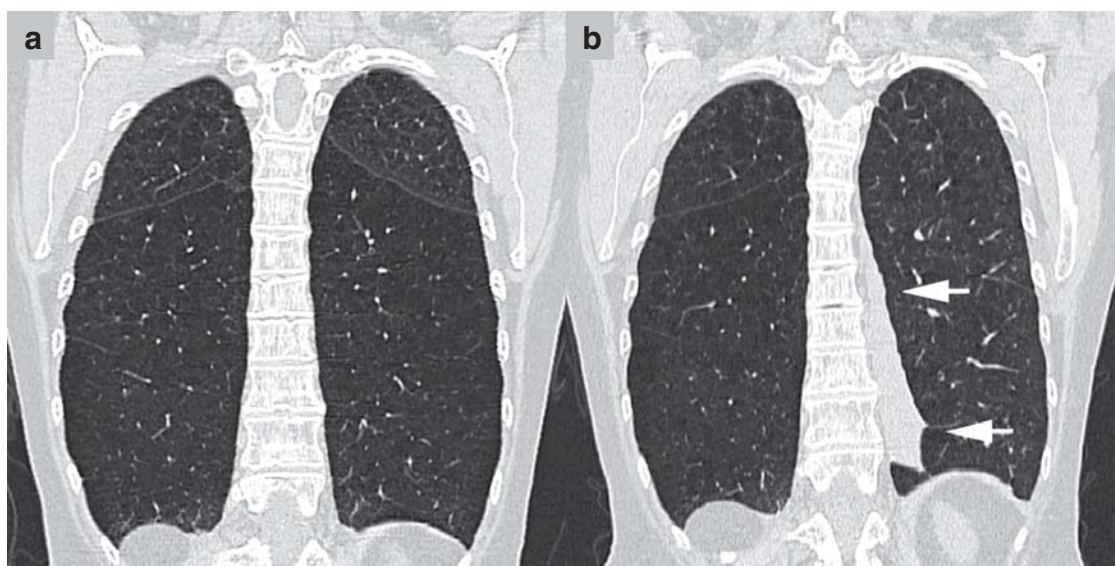
Bei Kontraindikationen für die MDCT (Kontrastmittel[KM]-Allergie oder Schwangerschaft) kann die MRT eingesetzt werden. In größeren nichtrandomisierten Studien (PIOPED III) hat sich gezeigt, dass die MRT mit Sensitivitäten und Spezifitäten von 78–90 % und 99–100 % der MDCT annähernd gleichwertig sein kann. Klinisch relevant ist der hohe negative Vorhersagewert von 97 % bei einer Nachbeobachtungszeit von drei Monaten (19). Die Untersuchung sollte zunächst ohne KM-Gabe mit kontrastreichen Schnellbildsequenzen beginnen, um innerhalb von wenigen Sekunden eine zentrale Lungenembolie nachweisen zu können (Abbildung 2). Falls dies nicht der Fall ist, wird die MRT mit der Gabe von Gadolinium-haltigem KM als Perfusionsuntersuchung und MR-Angiographie fortgesetzt (20).

Gemäß den europäischen Leitlinien dient die KM-verstärkte MDCT-Angiographie dem Ausschluss ursächlicher Erkrankungen bei pulmonaler Hypertonie, zum Beispiel interstitiellen Lungenerkrankungen, Emphysem oder chronisch-thromboembolischer pulmonaler Hypertonie (CTEPH), sowie der Erfassung dilatierter Bronchialarterien, der Rechtsherzdilatation und -hypertrophie (21). Bei Hinweisen auf eine CTEPH sollen gemäß der deutschen Konsensuskonferenz 2010 zur Beurteilung der Operabilität (kurative pulmonale Thrombendarteriektomie) Ventilations-Perfusions-Szintigraphie, MDCT sowie die invasive Pulmonalisangiographie gemeinsam interpretiert werden (Empfehlungsgrad 2a, Evidenzlevel C) (22). Im Vergleich zur MDCT erreichte die MRT morphologisch (zentrale Thrombuslast, Strickleiterthromben, Gefäßwandeinschnürungen) und funktionell (periphere Perfusionsausfälle) eine Sensitivität, Spezifität und





**Abbildung 3: Magentresonanztomographie (MRT) bei zystischer Fibrose.** 7-jährige Patientin in langjähriger Behandlung in einem Kinderpneumologischen Zentrum wegen zystischer Fibrose. a) Röntgenthorax. b) MRT vom selben Tag bei sedierter, frei atmender Patientin. Die kontrastmittelgestützten T1-gewichteten Bilder zeigen deutliche Bronchialwandverdickungen und variköse Bronchiektasen mit Betonung der Oberlappen (weiße Pfeile) sowie ein vermindertes Signal apikal im Vergleich zu basal.



**Abbildung 4: Phänotypisierung der chronisch-obstruktiven Lungenerkrankung (COPD).** 60-jährige Patientin mit langjährigem Nikotinabusus. a) Multidetektor-Computertomographie (MDCT) ohne Kontrastmittel und koronare Rekonstruktion: unterlappenbetontes, sehr ausgeprägtes zentrilobuläres Lungenemphysem. Bei intaktem Lappenspalt wurde der linke Unterlappen als Zielstruktur für eine endoskopische Lungenvolumenreduktion identifiziert. b) Ergebnis 3 Monate nach der Intervention mit Atelektase der behandelten Segmente 8–10 links (weißer Pfeil).

einen positiven prädiktiven Wert von 98 %, 94 % beziehungsweise 96 % (23), im Vergleich zum Goldstandard Pulmonalisangiographie eine Sensitivität von 93 % in der Darstellung der subsegmentalen Lungenarterien (24). Zur umfassenden Diagnostik stehen funktionelle MRT-Techniken mit Quantifizierung der Herzaktion, Flussmessung in den großen Gefäßen und der Lungenperfusion mit hoher Reproduzierbarkeit bereit (25).

#### Obstruktive Atemwegserkrankungen

Die zystische Fibrose (CF) ist die häufigste lebensbegrenzende autosomal-rezessiv vererbte Erkrankung der hellhäutigen Bevölkerung, wobei der Schweregrad der Lungenbeteiligung die Prognose bestimmt (26). Ab welchem Alter und in welchen Abständen eine routinemäßige radiologische Diagnostik durchgeführt werden soll, ist nicht abschließend geklärt. Gemäß den deutschen Leitlinien können Röntgenthorax, MDCT und MRT in

den Zentren nach der jeweils lokalen Expertise und der klinischen Situation eingesetzt werden (Empfehlungsgrad B) (27). Die MDCT ist sensitiver als der Röntgenthorax im Nachweis von typischen Lungenveränderungen (28). Die MDCT weist bereits bei im Neugeborenen-Screening erkannten Patienten typische Bronchiektasen in 27 % der Fälle nach, bevor sie klinisch auffällig werden oder Veränderungen der Lungenfunktionsprüfung zeigen (29). Die MRT löst die MDCT zunehmend als Verfahren zur Diagnostik von Komplikationen oder Kontrolle des Krankheitsverlaufes ab (30). Diese zeigt die typischen Veränderungen Bronchiektasen, Wandverdickungen, Schleimverlegung und Infiltrate („Plus-Pathologien“) sensitiv und mit vergleichbarer klinischer Aussage wie die MDCT (31). Zusätzlich zeigt die MRT-Perfusionsbildgebung unter Ausnutzung der hypoxischen pulmonalen Vasokonstriktion („Euler-Liljestrand-Reflex“) potenziell reversible Perfusions- und Ventilationsstörungen (Abbildung 3) (30). Die Notwendigkeit einer strahlungsfreien Diagnostik mittels MRT ist insbesondere vor dem Hintergrund der potenziell hohen kumulativen Strahlenexposition über die Lebensdauer von CF-Patienten bedeutsam. So wird momentan die MRT erstmals in einer deutschen Multicenter-Studie im Rahmen des Neugeborenen-CF-Screenings als Endpunkt für präventive Therapiestrategien eingesetzt.

Bei der mit Rauchen assoziierten COPD soll laut Leitlinie bei Erstdiagnose der Röntgenthorax als orientierende Diagnostik durchgeführt werden (32). Zur Prüfung der Indikation und individueller Planung einer endoskopischen oder chirurgischen Therapie eines ausgeprägten Lungenemphysems wird die dünn-schichtige, nicht-KM-verstärkte MDCT empfohlen (32). Mit ihr können Schweregrad und Verteilung des Emphysems quantifiziert sowie die Intaktheit der Lappenspalten bestimmt werden (Abbildung 4) (33, 34). Zusätzlich soll eine MDCT angestrebt werden, wenn der Verdacht auf

ein Bronchialkarzinom besteht (35). Ob auch die funktionelle MRT für COPD-Patienten klinisch relevante funktionelle Informationen liefern kann, wird aktuell in einer deutschlandweiten Multicenter-Studie („COSYCONET“) untersucht (www.asconet.net).

**Diffuse interstitielle Lungenerkrankungen – Lungenfibrose**

In der Diagnostik der idiopathischen Lungenfibrose (IPF) wurde mit der Revision der internationalen und nationalen Leitlinien seit 2011 der singuläre Goldstandard – Histologie – zugunsten einer interdisziplinären Diagnose (Pneumologie, Radiologie und Pathologie) hauptsächlich basierend auf dem vorwiegenden Muster in der MDCT (nativ, Schichtdicke ≤ 2 mm) verlassen (36, 37). Dabei ist das Muster einer „usual interstitial pneumonia“ (UIP) mit Honigwabenstruktur und Traktionsbronchiektasen dominierend in der dorsobasalen Peripherie richtungsweisend. Zusammen mit einer typischen klinischen Präsentation und nach Ausschluss anderer Ursachen kann die Diagnose einer IPF bereits ohne histologische Sicherung zuverlässig gestellt werden.

**Förderung**

Diese Arbeit wurde gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (82DZL00401, 82DZL00402, 82DZL00404).

**Interessenkonflikt**

Dr. Wielputz erhielt Vortragshonorare von der Firma Activaero GmbH, Gmünden.

Prof. Heußel hält Aktien der Firmen Stada und GSK sowie Patentanteile von Method and Device for Representing the Microstructure of the Lungs. IPC8, Class: AA61B5055FI, PAN: 20080208038. Er wurde honoriert für Berater-tätigkeit von den Firmen Schering-Pough, Pfizer, Basilea, Boehringer Ingelheim, Novartis, Roche, Astellas, Gilead, MSD, Lilly und Intermune. Studienunterstützung (Dritt-mittel) wurden ihm zuteil von den Firmen Siemens, Pfizer und MeVis. Für Vorträge wurde er honoriert von den Firmen Gilead, Essex, Schering-Pough, AstraZeneca, Lilly, Roche, MSD, Pfizer, Bracco, MEDA Pharma, Intermune, Chiesi, Siemens, Covidien, Pierre Fabre, Boehringer Ingelheim, Grifols und Novartis.

Prof. Kauczor wurde honoriert für Berater-tätigkeiten von der Firma Siemens. Er bekam Vortragshonorare von den Firmen Boehringer Ingelheim, Bracco, Siemens und Bayer.

Prof. Herth erklärt, dass kein Interessenkonflikt besteht.

**Manuskriptdaten**

eingereicht: 12. 7. 2013, revidierte Fassung angenommen: 6. 1. 2014.

**LITERATUR**

1. Biederer J, Wildberger J, Bolte H, et al.: Protokollempfehlungen für die Computertomographie der Lunge: Konsensus der Arbeitsgemeinschaft Thoraxdiagnostik der DRG. Rofo 2008; 180: 471–9.
2. Ko JP, Brandman S, Stember J, Naidich DP: Dual-energy computed tomography: Concepts, performance, and thoracic applications. J Thorac Imaging 2012; 27: 7–22.
3. Wielputz M, Kauczor HU: MRI of the lung: State of the art. Diagn Interv Radiol 2012; 18: 344–53.
4. Höffken G, Lorenz J, Kern W, et al.: Epidemiologie, Diagnostik, antimikrobielle Therapie und Management von erwachsenen Patienten mit ambulant erworbenen unteren Atemwegsinfektionen sowie ambulant erworbener Pneumonie—update 2009. Pneumologie 2009; 63: e1–e68.
5. Dalhoff K, Abele-Horn M, Andreas S, et al.: Epidemiologie, Diagnostik und Therapie erwachsener Patienten mit nosokomialer Pneumonie. Pneumologie 2012; 66: 707–65.
6. Self WH, Courtney DM, McNaughton CD, Wunderink RG, Kline JA: High discordance of chest x-ray and computed tomography for detection of pulmonary opacities in ED patients: Implications for diagnosing pneumonia. The American Journal of Emergency Medicine 2013; 31: 401–5.

**KERNAUSSAGEN**

- Der Röntgenthorax dient der orientierenden Erstdiagnostik bei Pneumonie, Krebs und chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD).
- Schnittbildverfahren (CT und MRT) dominieren die gezielte weiterführende radiologisch-pneumologische Diagnostik nach Risiko und klinischer Konsequenz sowie zur Therapieplanung oder -kontrolle.
- Die CT soll bei Tumoren, akuter Lungenembolie, pulmonaler Hypertonie, Lungenfibrose, fortgeschrittener COPD und Pneumonie bei Risikopatienten eingesetzt werden.
- Die MRT der Lunge generiert klinisch relevante Zusatzinformationen und vermeidet eine Strahlenexposition. Der größte klinische Nutzen ergibt sich dabei in der Diagnostik von zystischer Fibrose, akuter Lungenembolie, pulmonaler Hypertonie und Bronchialkarzinom.
- Der positive prädiktive Wert (ppW) zur Diagnostik einer ambulanten Pneumonie mittels Röntgenthorax beträgt 27 % im Vergleich zur CT als Goldstandard.
- Im Lymphknotenstaging beim Bronchialkarzinom erreicht die MRT einen ppW von 88 % und die PET/CT einen ppW von 79 % im Vergleich zur Histologie.

7. Eibel R, Herzog P, Dietrich O, et al.: Pulmonary abnormalities in immunocompromised patients: Comparative detection with parallel acquisition MR imaging and thin-section helical CT. *Radiology* 2006; 241: 880–91.
8. Goeckenjan G, Sitter H, Thomas M, et al.: Prävention, Diagnostik, Therapie und Nachsorge des Lungenkarzinoms. *Pneumologie* 2010; 64: e1–e164.
9. Seo JS, Kim YJ, Choi BW, Choe KO: Usefulness of magnetic resonance imaging for evaluation of cardiovascular invasion: Evaluation of sliding motion between thoracic mass and adjacent structures on cine MR images. *J Magn Reson Imaging* 2005; 22: 234–41.
10. Ohno Y, Koyama H, Nogami M, et al.: Stir turbo SE MR imaging vs. Coregistered FDG-PET/CT: Quantitative and qualitative assessment of N-stage in non-small-cell lung cancer patients. *J Magn Reson Imaging* 2007; 26: 1071–80.
11. Gdeedo A, van Schil P, Corthouts B, van Mieghem F, van Meerbeeck J, van Marck E: Prospective evaluation of computed tomography and mediastinoscopy in mediastinal lymph node staging. *Eur Respir J* 1997; 10: 1547–51.
12. Ohno Y, Koyama H, Nogami M, et al.: Whole-body MR imaging vs. FDG-PET: Comparison of accuracy of M-stage diagnosis for lung cancer patients. *J Magn Reson Imaging* 2007; 26: 498–509.
13. Eddy DM: Screening for lung cancer. *Ann Intern Med* 1989; 111: 232–7.
14. Aberle DR, Adams AM, Berg CD, et al.: Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med* 2011; 365: 395–409.
15. Vogelmeier C, Worth H, Pfeifer M, et al.: Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin und der Deutschen Röntgengesellschaft zur Lungenkrebsfrüherkennung mit Niedrigdosis-CT. *Pneumologie* 2011; 65: 5–6.
16. Becker N, Motsch E, Gross ML, et al.: Randomized study on early detection of lung cancer with MSCT in Germany: study design and results of the first screening round. *J Cancer Res Clin Oncol* 2012; 138: 1475–86.
17. Fachgesellschaften AdWM: Diagnostik und Therapie der Venenthrombose und der Lungenembolie. AWMF-Leitlinien-Register Nr. 065/002. 2010.
18. Schellhaaß A, Walther A, Konstantinides S, Böttiger BW: The Diagnosis and treatment of acute pulmonary embolism. *Dtsch Arztebl Int* 2010; 107: 589–95.
19. Stein PD, Chenevert TL, Fowler SE, et al.: Gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography for pulmonary embolism: A multicenter prospective study (PIOPED III). *Ann Intern Med* 2010; 152: 434–43, W142–3.
20. Biederer J, Mirsadraee S, Beer M, et al.: MRI of the lung (3/3)-Current applications and future perspectives. *Insights Imaging* 2012; 3: 373–86.
21. Hoepfer M, Ghofrani H, Gorenflo M, Grünig E, Rosenkranz S, Schranz D: Diagnostik und Therapie der pulmonalen Hypertonie. *Der Kardiologe* 2010; 4: 189–207.
22. Wilkens H, Lang I, Behr J, et al.: Chronisch thromboembolische pulmonale Hypertonie. *Dtsch Med Wochenschr* 2010; 135: 125–30.
23. Rajaram S, Swift AJ, Capener D, et al.: Diagnostic accuracy of contrast-enhanced MR angiography and unenhanced proton MR imaging compared with CT pulmonary angiography in chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Eur Radiol* 2012; 22: 310–7.
24. Kreitner KF, Ley S, Kauczor HU, et al.: Chronic thromboembolic pulmonary hypertension: Pre- and postoperative assessment with breath-hold MR imaging techniques. *Radiology* 2004; 232: 535–43.
25. Schiebler ML, Bhalla S, Runo J, et al.: Magnetic resonance and computed tomography imaging of the structural and functional changes of pulmonary arterial hypertension. *J Thorac Imaging* 2013; 28: 178–93.
26. Gibson RL, Burns JL, Ramsey BW: Pathophysiology and management of pulmonary infections in cystic fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 168: 918–51.
27. Muller FM, Bend J, Rietschel E, et al.: S3-Leitlinie „Lungenerkrankung bei Mukoviszidose“, Modul 1: Diagnostik und Therapie nach dem ersten Nachweis von *Pseudomonas aeruginosa* 2013.
28. Demirkazık FB, Arıyürek OM, Özçelik U, Göçmen A, Hassanabad HK, Kiper N: High resolution CT in children with cystic fibrosis: Correlation with pulmonary functions and radiographic scores. *European Journal of Radiology* 2001; 37: 54–9.
29. Sly PD, Gangell CL, Chen L, et al.: Risk factors for bronchiectasis in children with cystic fibrosis. *N Engl J Med* 2013; 368: 1963–70.
30. Wielputz MO, Eichinger M, Puderbach M: Magnetic resonance imaging of cystic fibrosis lung disease. *J Thorac Imaging* 2013; 28: 151–9.
31. Puderbach M, Eichinger M, Haeselbarth J, et al.: Assessment of morphological MRI for pulmonary changes in cystic fibrosis (CF) patients: Comparison to thin-section CT and chest x-ray. *Invest Radiol* 2007; 42: 715–25.
32. Vogelmeier C, Buhl R, Criege C, et al.: Leitlinie der Deutschen Atemwegsliga und der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin zur Diagnostik und Therapie von Patienten mit chronisch obstruktiver Bronchitis und Lungenemphysem (COPD). *Pneumologie* 2007; 61: e1–e40.
33. Sciruba FC, Ernst A, Herth FJ, et al.: A randomized study of endobronchial valves for advanced emphysema. *N Engl J Med* 2010; 363: 1233–44; 82: 2365–70.
34. Koenigkam-Santos M, de Paula WD, Owsijewitsch M, et al.: Incomplete pulmonary fissures evaluated by volumetric thin-section CT: Semi-quantitative evaluation for small fissure gaps identification, description of prevalence and severity of fissural defects. *Eur J Radiol* 2013; 82: 2365–70.
35. Kardos P, Berck H, Fuchs K, et al.: Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin zur Diagnostik und Therapie von erwachsenen Patienten mit akutem und chronischem Husten. *Pneumologie* 2010; 64: 336–73.
36. Raghu G, Collard HR, Egan JJ, et al.: An official ATS/ERS/JRS/ALAT statement: Idiopathic pulmonary fibrosis: Evidence-based guidelines for diagnosis and management. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 183: 788–824.
37. Behr J, Günther A, Ammenwerth W, et al.: S2K-Leitlinie zur Diagnostik und Therapie der idiopathischen Lungenfibrose. *Pneumologie* 2013; 67: 81–111.
38. Mettler FA Jr., Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M: Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology* 2008; 248: 254–63.
39. Bundesamt für Strahlenschutz: Strahlenexposition durch Medizinische Maßnahmen. [www.bfs.de/en/ion/medizin/Medizin.pdf](http://www.bfs.de/en/ion/medizin/Medizin.pdf). (Stand 12/2013) (last accessed on 17 January 2014).
40. Statistisches Bundesamt: Gesundheit – Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik), Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern. [www.gbe-bund.de/gbe10/owards.prc\\_show\\_pdf?p\\_id=16204&p\\_sprache=d&p\\_uid=&p\\_aid=&p\\_lfd\\_nr=1](http://www.gbe-bund.de/gbe10/owards.prc_show_pdf?p_id=16204&p_sprache=d&p_uid=&p_aid=&p_lfd_nr=1) (last accessed on 24 October 2013).

**Anschrift für die Verfasser**

Prof. Dr. med. Hans-Ulrich Kauczor  
 Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie  
 Universitätsklinikum Heidelberg  
 Im Neuenheimer Feld 110  
 69120 Heidelberg, Germany  
 HU.Kauczor@med.uni-heidelberg.de

**Zitierweise**

Wielputz MO, Heußel CP, Herth FJF, Kauczor HU: Radiological diagnosis in lung disease—factoring treatment options into the choice of diagnostic modality. *Dtsch Arztebl Int* 2014; 111(11): 181–7. DOI: 10.3238/arztebl.2014.0181



eAbbildungen:  
[www.aerzteblatt.de/14m0181](http://www.aerzteblatt.de/14m0181)

The English version of this article is available online:  
[www.aerzteblatt-international.de](http://www.aerzteblatt-international.de)

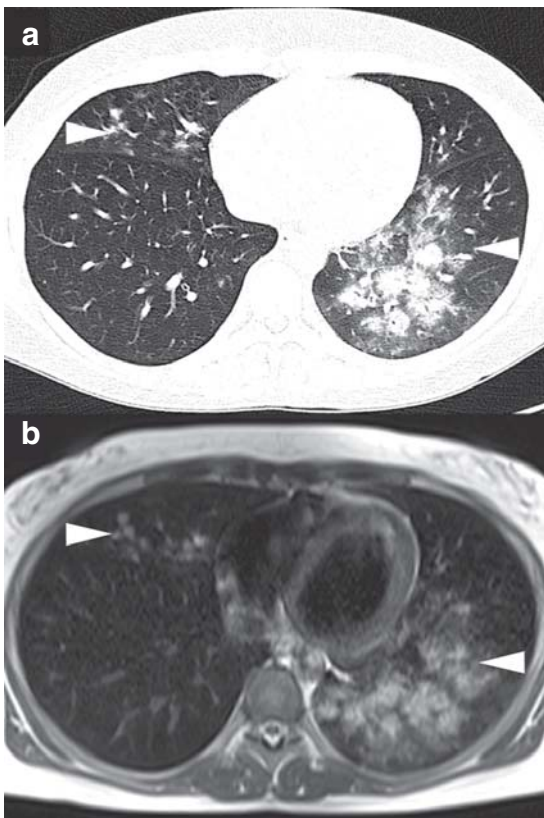


ÜBERSICHTSARBEIT

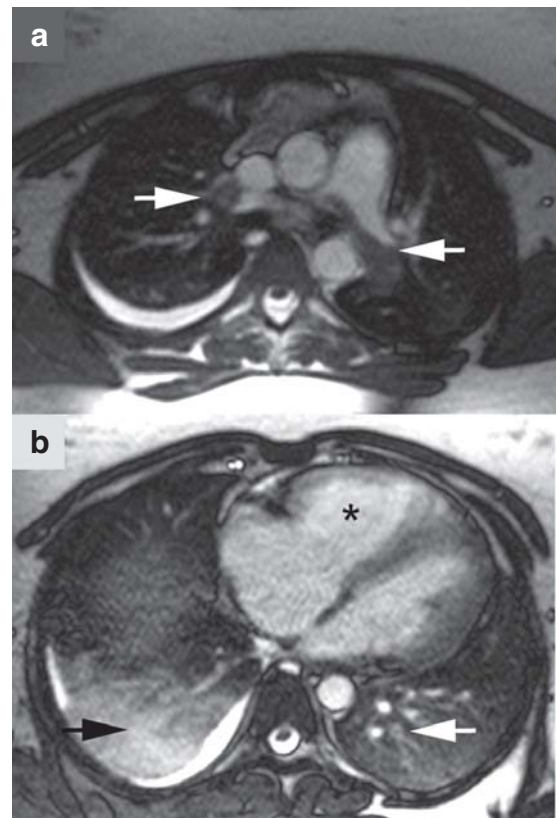
# Radiologische Diagnostik von Lungenerkrankungen

Beachtung der Therapieoptionen bei Wahl des Verfahrens

Mark O. Wielpütz, Claus P. HeuBel, Felix J. F. Herth, Hans-Ulrich Kauczor

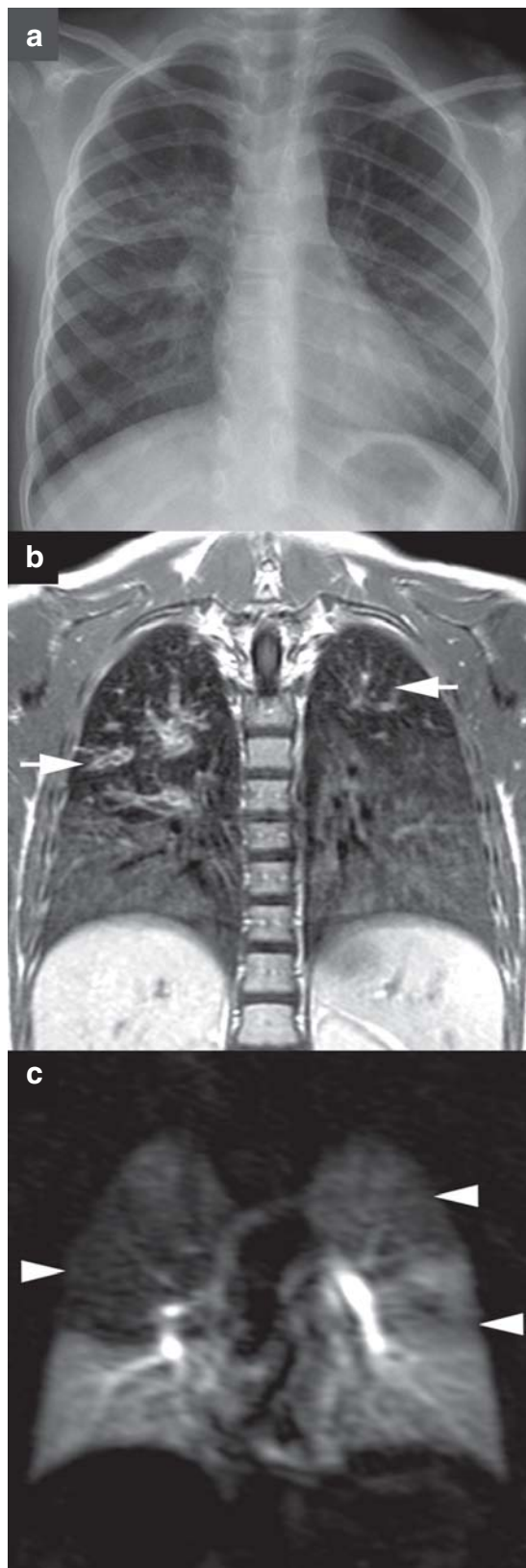


**eAbbildung 1: Infiltratdiagnostik bei immunsupprimierter Patientin.** 34-jährige Patientin nach Hochdosis-Chemotherapie bei B-Zell-Lymphom mit Fieber in der Aplasie. a) In der axialen, nativen Computertomographie zeigen sich ausgedehnte peribronchiale Infiltrate (weißer Pfeilkopf). b) Die Infiltratmorphologie lässt sich identisch mittels der nativen T2-gewichteten Magnetresonanztomographie darstellen.

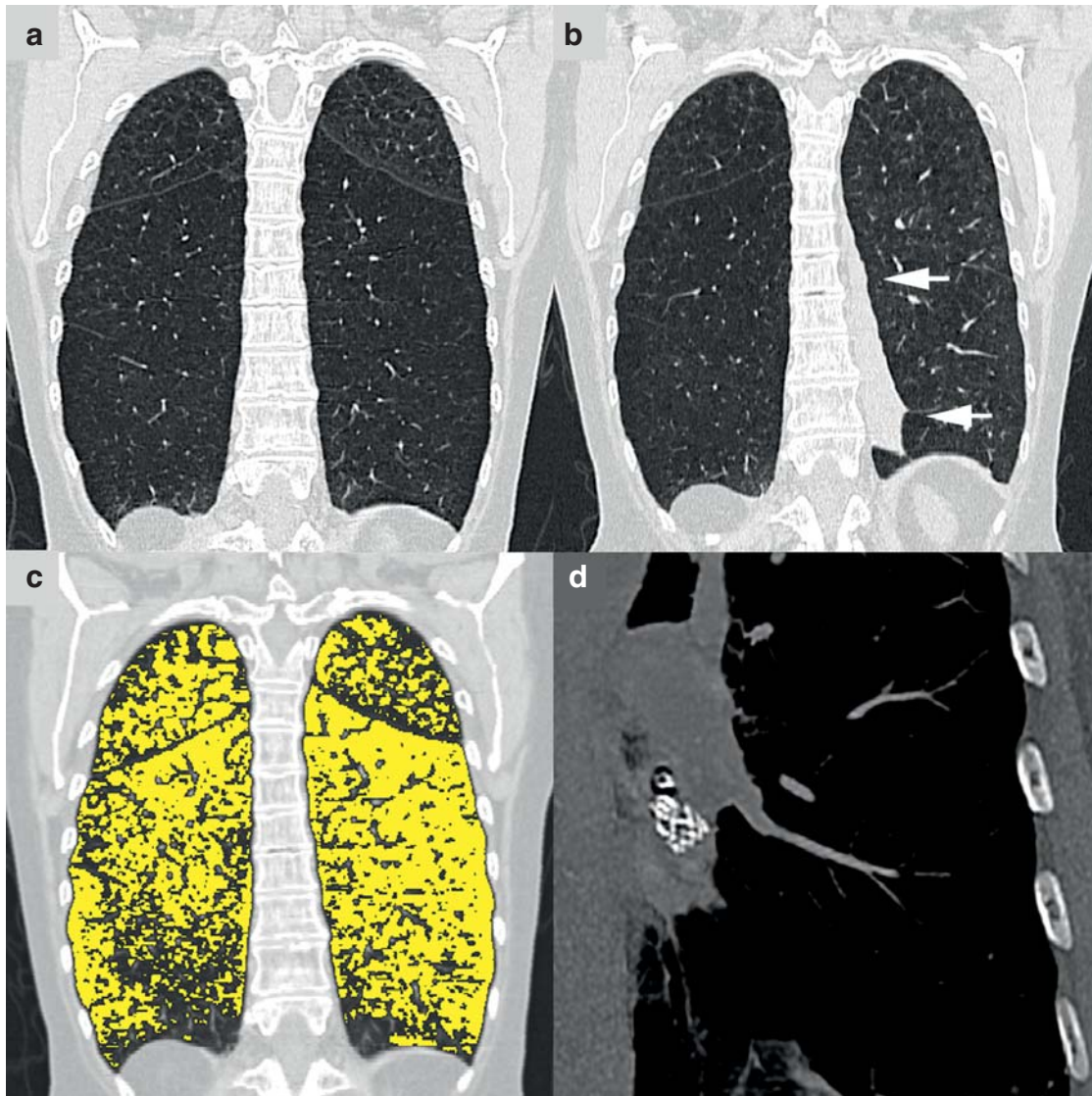


**eAbbildung 2: MRT bei Lungenarterienembolie.** 23-jährige Patientin mit seit 2 Wochen bestehendem Atemwegsinfekt, aktuell Hämoptysen, Belastungsdyspnoe sowie atemabhängiger Thoraxschmerz. a) MRT in axialer Schichtführung ohne Kontrastmittelgabe. Nachweis von zentralen und peripheren teilweise umspülten Ausparungen der pulmonalarteriellen Strombahn (weiße Pfeile), entsprechend einer ausgedehnten Lungenarterienembolie. b) Dilatation des rechten Vorhofes und Ventrikels (\*) als Zeichen einer Rechtsherzbelastung. Zusätzlich Infarktneumonie des rechten Unterlappens mit begleitendem Pleuraerguss (schwarzer Pfeil).





**eAbbildung 3: MRT bei zystischer Fibrose.** 7-jährige Patientin in langjähriger Behandlung in einem kinderpneumologischen Zentrum wegen zystischer Fibrose. a) Röntgenthorax. b) MRT vom selben Tag bei sedierter, frei atmender Patientin. Die kontrastmittelgestützten T1-gewichteten Bilder zeigen deutliche Bronchialwandverdickungen und variköse Bronchiektasen mit Betonung der Oberlappen (weiße Pfeile) sowie ein vermindertes Signal apikal im Vergleich zu basal. c) Die Subtraktionskarte der Perfusionsbildgebung weist die korrespondierenden Perfusionsdefekte beider Lungenoberfelder nach (weiße Pfeilköpfe).



**eAbbildung 4: Phänotypisierung der COPD.** 60-jährige Patientin mit langjährigem Nikotinabusus. a) MDCT ohne Kontrastmittel und koronare Rekonstruktion: unterlappenbetontes, sehr ausgeprägtes zentrilobuläres Lungenemphysem. Bei intaktem Lappenspalt wurde der linke Unterlappen als Zielstruktur für eine endoskopische Lungenvolumenreduktion identifiziert. b) Ergebnis 3 Monate nach der Intervention mit Atelektase der behandelten Segmente 8–10 links (weißer Pfeil). c) Ergebnis der Densitometrie als Bildnachverarbeitung (Oliver Weinheimer, Heidelberg) und Überlagerung einer Emphysemkarte über das MDCT-Bild. Das Emphysem (48 % am Lungenvolumen) ist gelb eingefärbt. d) Darstellung eines Ventils im Abgang des S9/10-Bronchus.