

E. Eisenhuber, C. Schäfer-Prokop, H. Prosch, E. Kaindl

Thorax



Bildgebung

Zirka 40 % aller Röntgenuntersuchungen werden zur Abklärung thorakaler Pathologien durchgeführt. Folgende bildgebende Modalitäten werden zur Diagnostik eingesetzt:

- Thoraxröntgen
- Durchleuchtung
- Computertomographie (CT)
- Ultraschall (US)
- Magnetresonanztomographie (MRT)

Thoraxröntgen (Cor/Pulmo)

Das Thoraxröntgen ist unverändert die initiale Untersuchungsmethode von Herz- und Lungenerkrankungen. Die Film-Folien-Technik ist mittlerweile praktisch vollständig durch digitale Detektoren in Form kombinierter Speicherfoliensystemen oder digitaler Festkörperdetektoren ersetzt.

Die Strahlenbelastung durch ein konventionelles Lungenröntgen ist gering. Ein Thoraxröntgen in 2 Ebenen ist unter optimalen Bedingungen mit einer Strahlendosis von etwa 0,02 mSv verbunden, was einem Hundertstel der jährlichen, natürlichen Strahlenbelastung entspricht.

Stehendes Thoraxröntgen

Die Thoraxaufnahme erfolgt in tiefer Inspiration. Es werden Aufnahmen in posterior-anterio-rem und in seitlichem Strahlengang links anliegend angefertigt. Der Film-Fokusabstand ist mit 2 m so gewählt, sodass die projektionsbedingte Vergrößerung abgebildeter Strukturen (insbesondere des Herzschattens) minimiert wird. Aus der konventionellen Film/Folientechnik wurde die Hartstrahltechnik (etwa 120 kV) auch für die digitale Technik übernommen, um die Absorption überlagernder Rippen so gering wie möglich zu halten. Obwohl im Studienverband gezeigt wurde, dass mit niedrigeren kV ohne Zunahme der Effektivdosis ein besserer Lungenparenchymkontrast erzielt werden, hat sich diese Technik nicht allgemein durchgesetzt.

Thoraxröntgen(C/P)

- » initiale Untersuchung
- » geringe Strahlenbelastung



Abb. 1: Thoraxaufnahme p.a. im Stehen.

Aufnahmeparameter:

- tiefe Inspiration
- p.a./seit. Projektion
- Film-Fokusabstand 2 m

Thoraxröntgen beim liegenden Patienten

Bei nicht gehfähigen Patienten wird die Aufnahme im Liegen mit Hilfe mobiler Röntgengeräte angefertigt. Die Aufnahme wird im anterior-posterioren Strahlengang angefertigt. Eine Seitenaufnahme ist im Liegen nicht möglich. Aufgrund des anterior-posterioren Strahlenganges und auch des kleineren Film-Fokusabstandes von nur 1 m muss berücksichtigt werden, dass das Herz etwas vergrößert abgebildet wird. Weiters verteilen sich Pleuraergüsse in Rückenlage entlang der dorsalen Thoraxwand und können erst ab einer Menge von etwa 500 ml detektiert werden.



Abb. 2: Thorax-Bettaufnahme im Liegen a.p. (Bettröntgen).

Durchleuchtung:

» nur sehr selektiv eingesetzt

Durchleuchtung

In selektiven Fällen wird ergänzend eine Durchleuchtung durchgeführt. Die Strahlenbelastung durch eine Durchleuchtung ist abhängig von der Durchleuchtungsdauer und meist deutlich höher als die durch ein konventionelles Röntgenbild, sodass die Anwendung auf wenige Indikationen beschränkt ist.

Indikationen zur Durchleuchtung sind:

- Beurteilung der Zwerchfellbeweglichkeit
- Kontrolle von Schrittmachersonden (freies Flottieren der Sondenspitze)

Computertomographie

Die Computertomographie ist die sensitivste Untersuchungstechnik zur Diagnostik pulmonaler und mediastinaler Prozesse und besitzt ein breites Indikationsspektrum.

CT → wichtigste weiterführende Untersuchungstechnik

Wichtige Indikationen sind:

- Rundherde, Verdichtungen
- diffuse Lungenerkrankungen
- Staging von Lungentumoren
- Abklärung mediastinaler und pleuraler Pathologien
- CT-gezielte Biopsie pathologischer Befunde
- Metastasensuche im Tumorstaging
- Suche nach okkulten Infektionsherden (Immunsupprimierte, Patienten unter Chemotherapie, HIV-positive)
- Pulmonalembolie
- Aortendissektion
- Bronchiektasien
- Thoraxtrauma
- Komplikationen bei Pneumonien
- Abklärung nicht eindeutiger Befunde im Thoraxröntgen

Standard für die Lungenuntersuchung ist eine spiralförmige kontinuierliche Datenakquisition, die mittlerweile ausschließlich mit Multidetektorsystemen durchgeführt wird.

Die Untersuchung erfolgt üblicherweise in Inspiration.

Zur Beurteilung des Mediastinums ist eine Kontrastierung der mediastinalen Gefäße durch i.v.-appliziertes jodhaltiges Kontrastmittel nötig.

Die Strahlenbelastung eines Thorax-CTs kann in Abhängigkeit vom Untersuchungsumfang und Technik mehr als das Hundertfache eines Thoraxröntgens betragen.

Mit allen modernen Mehrdetektor-CT Geräten ist es heute möglich, das Volumen der gesamten Lunge mit 1 mm Schichtdicke zu untersuchen. Abhängig von der Fragestellung werden die akquirierten Datensätze 2 mal rekonstruiert: mit dünnen 1 mm Schichten für koronale und sagittale Rekonstruktion (sog. multiplanare Rekonstruktionen = MPR) und dickere axiale Schichten (z. B. 5 mm Schichtdicke) mit einem besseren Signal-Rausch-Verhältnis für die diagnostische Beurteilung. Grundsätzlich kann also heute jedes Thorax-CT als sog. HRCT betrachtet werden, da dünne Schichten (1–1,5 mm) zur Betrachtung zur Verfügung stehen.

Allerdings muss gesagt werden, dass je dünner die Schichtdicke ist, desto mehr Rauschen ist in den Bildern enthalten. Für die Beurteilung sehr feiner Parenchydetails kann es in Ausnahmefällen daher notwendig sein, einzelne diskontinuierliche 1 mm HRCT Schichten mit erhöhter Dosis aufzunehmen.

Da die Lunge insgesamt ein „Hochkontrastorgan“ ist (d. h. es besteht ein hoher Kontrast zwischen lufthaltigen Strukturen und Parenchymstrukturen), kann auch das Lungenparenchym im Allgemeinen auch mit niedriger Dosis gut beurteilt werden. Diesem Prinzip liegt auch das Lungenscreening zugrunde, bei dem ein CT mit ultraniedriger Dosis durchgeführt wird, um bei Hochrisikopatienten einen Tumor nachzuweisen bzw. auszuschließen.

Zur Darstellung eines »Air-Trappings« als Zeichen einer Obstruktion der kleinen Atemwege oder zur Untersuchung von Bronchomalazien kann eine zusätzliche Untersuchung in Expiration sinnvoll sein, welche üblicherweise mit deutlich reduzierter Dosis gemacht wird.

CT-gezielte Biopsie

Mittels CT-gezielter transthorakaler Biopsie ist eine histologische Abklärung von thorakalen Raumforderungen möglich. Die Durchführung erfolgt in aller Regel unter lokaler Anästhesie und wird von den meisten Patienten problemlos toleriert. Als Komplikation kann ein Pneumothorax entstehen, der jedoch meist klein ist und keiner weiteren Behandlung bedarf. Größere Pneumothoraces müssen mit einer Pleuradrainage behandelt werden.

Indikationen für
Thorax-CT

Untersuchungstechnik
Thorax-CT

US → Ergussdiagnostik

MRT:

» selektive Indikationen
V. a. Thoraxwand und
Mediastinum

Sonographie / Ultraschall

Die Sonographie wird zum Nachweis und zur Quantifizierung von Pleuraergüssen sowie zur optimalen Einstellung der Punktions- oder Drainagestelle von Pleuraergüssen eingesetzt. Bei Pleuraempyemen können vor der Drainage etwaige Septierungen dargestellt werden. Während die exakte Lokalisation und Ausbreitung eines gekammerten Ergusses besser mit der CT erfasst wird, sind intrapleurale Septierungen besser mit dem Ultraschall zu sehen. Bei liegenden Patienten (z. B. auf der Intensivstation) kann die Sonographie auch zum Nachweis eines Pneumothorax eingesetzt werden.

Magnetresonanztomographie

Die MRT spielt derzeit zur Abklärung pulmonaler Pathologien nur eine untergeordnete Rolle. Wichtige Indikationen zur MRT sind jedoch:

- problematische Fragestellungen im Staging des Lungenkarzinoms (Thoraxwandprozesse, z. B. Pancoast-Tumor)
- Klassifizierung von mediastinalen Tumoren (fetthältiger versus zystischer versus solider Tumor)
- Abklärung bei Patienten mit Jodallergie

Normale Röntgenanatomie

Thoraxwand

Die Thoraxwand besteht aus den Weichteilen und Rippen bzw. der Wirbelsäule. Die Muskulatur, besonders der M. pectoralis major und die Mammae führen zu einer symmetrischen Herabsetzung der Strahlentransparenz über den Unterfeldern der Lunge.

Eine grobe Beurteilung des knöchernen Skelettes ist auch bei Hartstrahltechnik (schlechterer Kontrast der knöchernen Strukturen) möglich (z. B. dislozierte Rippenfrakturen, metastatische Destruktionen, Kompressionswirbel in der BWS).

Physiologischerweise verkalken mit zunehmendem Alter die ventralen knorpeligen Rippenanteile; sie dürfen nicht mit intrapulmonalen Läsionen verwechselt werden.

Zwerchfell

Das Zwerchfell projiziert sich mit dem Scheitelpunkt bei maximaler Inspiration im p.a.-Bild auf die 5./6. Rippe ventral und die 10./11. Rippe dorsal. Die rechte Zwerchfellkuppel sollte bedingt durch die Leber etwas höher als die linke stehen.

Pleura

Die Pleura besteht aus einem viszeralen und einem parietalen Blatt. Die Pleura visceralis überzieht festhaftend die Lunge, während die Pleura parietalis den Thoraxinnenraum auskleidet (P. diaphragmatica/costalis/mediastinalis).

Interlobien: Durch Einstülpung der viszeralen Pleura entstehen die Interlobien (Lappenspalten), die rechts drei und links zwei Lungenlappen pleural umgeben. Im Normalfall sind diese Lappenspalten am Thoraxröntgen als zarte Linien nur dann sichtbar, wenn sie tangential vom Strahlengang getroffen werden.

In der CT sind die zarten pleuralen Linien der Interlobien gut erkennbar.

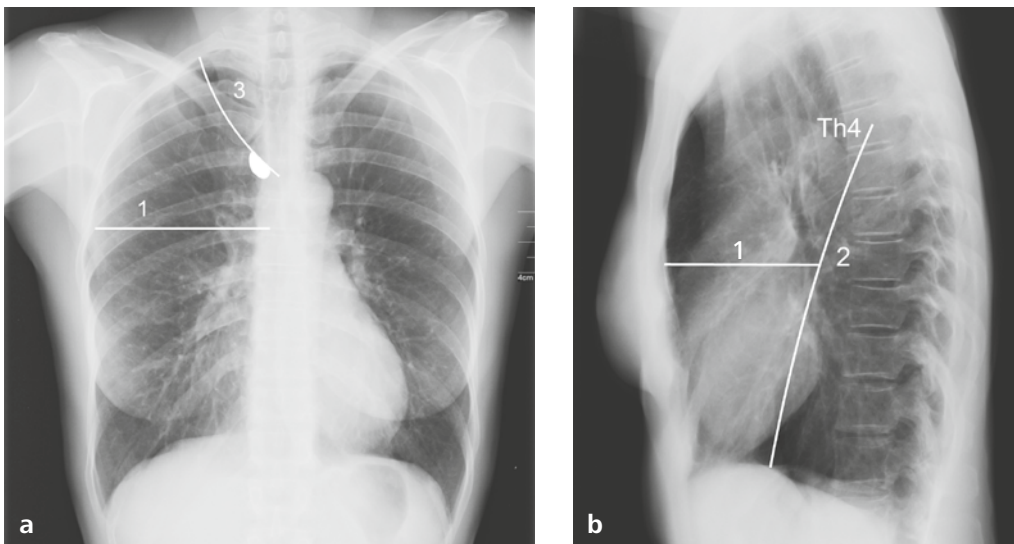


Abb. 3: Schematische Darstellung der Lappenspalten im p.a. und seitl. Thoraxbild. Der kleine Lappenspalt (1), der Ober- und Mittellappen trennt, ist auf dem p.a. (a) und seitl. Bild (b) zu sehen, die großen Lappenspalten (2) normalerweise nur auf dem Seitenbild. In ca. 0,5–1% findet sich durch eine Entwicklungsstörung der akzessorische Lappenspalt der V. azygos (3). Die typische Tränentropfenform am Ende des Spaltes beinhaltet die V. azygos, medial davon ist der Lobus venae azygos.

Interlobien

Gefäße

Der Tr. pulmonalis teilt sich in die rechte und linke Pulmonalarterie. Die zentralen Pulmonalarterien teilen sich gemeinsam mit den Bronchien in Lappen-, Segment- und Subsegmentarterien und sind im Röntgenbild bis etwa 2 cm von der Thoraxwand zu erkennen.

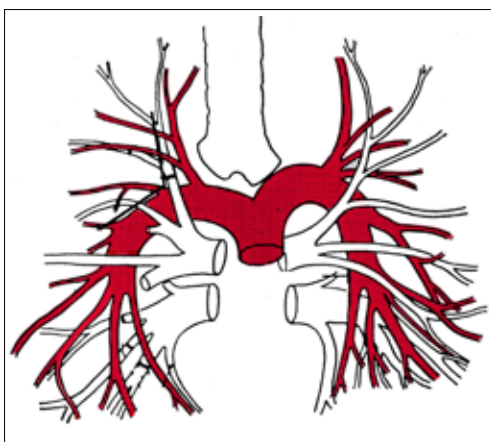


Abb. 4: Schematische Darstellung der zentralen Lungengefäße. Die Pulmonalarterien (rot) dominieren gegenüber den Pulmonalvenen (weiß), wobei eine Unterscheidung im Thoraxbild schwierig und nur durch die Verlaufsrichtung in Hilushöhe möglich ist.

Lungengefäße im Thoraxröntgen:

Im konventionellen Lungenröntgen wird die beim Gesunden sichtbare Parenchymstruktur durch die Pulmonalarterien und -venen gebildet. Auch der Lungenhilus wird beim Gesunden praktisch nur durch die Lungengefäße gebildet. Lymphknoten werden erst erkennbar, wenn sie stark vergrößert sind. Der linke Hilus steht physiologischerweise etwa 1 bis 2 cm höher als der rechte. Arterien und Venen sind – wenn überhaupt – nur in den vorhofsnahe Bereiche anhand ihres unterschiedlichen Verlaufes (Lungenvenen eher horizontal auf den linken Vorhof zu, Lungenarterien eher radiär vom Hilus ausgehend) zu unterscheiden.

Beim Gesunden sind die Durchmesser der Venen vor allem vom hydrostatischen Druck abhängig, im Stehen sind die Venen in den Unterfeldern kaliberstärker als in den Oberfeldern, im Liegen kommt es zum Kaliberangleich.

im Lungenröntgen des Gesunden nur Lungengefäße sichtbar
→ kein normales Lungengewebe sichtbar

Gefäßzeichnung der gesunden Lunge

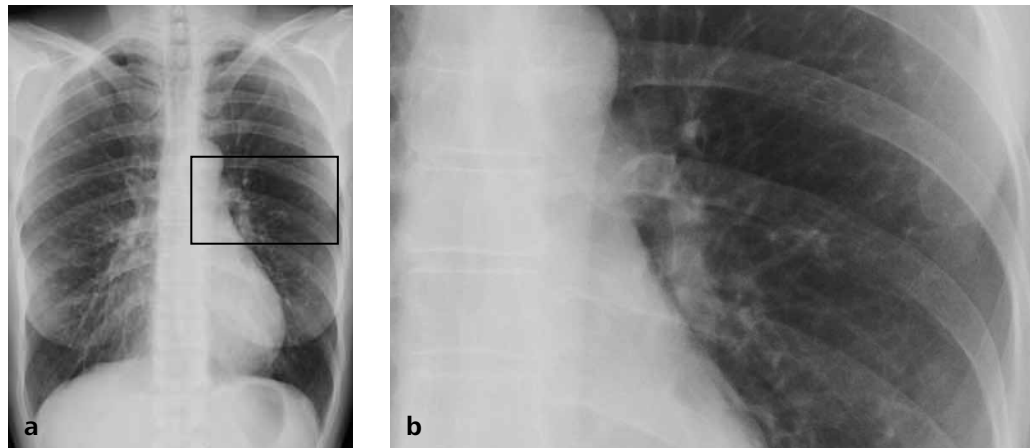
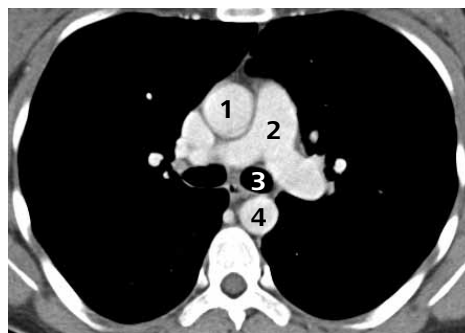


Abb. 5: Lungengefäße: unauffälliges Lungenröntgen (a), Ausschnitt aus Abb. a Gefäßzeichnung, linker Hilus (b).

Lungengefäße in der Computertomographie:

Sowohl die zentralen als auch die peripheren arteriellen und venösen Gefäße sind in der kontrastmittelunterstützten Thorax-CT anhand ihres unterschiedlichen anatomischen Verlaufs (Arterie begleitet den Bronchus) gut voneinander unterscheidbar. Beim Gesunden sind Gefäßstrukturen bis etwa 1 bis 2 cm subpleural identifizierbar (siehe unten Aufbau der Lunge).

zentrale Gefäße



- 1 Aorta ascendens
- 2 Tr. pulmonalis
- 3 li. Hauptbronchus
- 4 Aorta descendens

Abb. 6: Ausschnitt Thorax-CT zentrale Gefäße, Schnitt durch den Truncus pulmonalis und die Pulmonalisbifurkation.

Aufbau der Lunge

Die Luftröhre beginnt am Unterrand des Krikoidknorpels. Es gibt keine anatomische Grenze zwischen dem zervikalen und intrathorakalen Luftröhrenanteil.

Die Trachea teilt sich auf Höhe von Th4/5 in die beiden Hauptbronchien, die sich dichotom in Lappenbronchien und Segmentbronchien verzweigen.

Tracheo-/Bronchialbaum

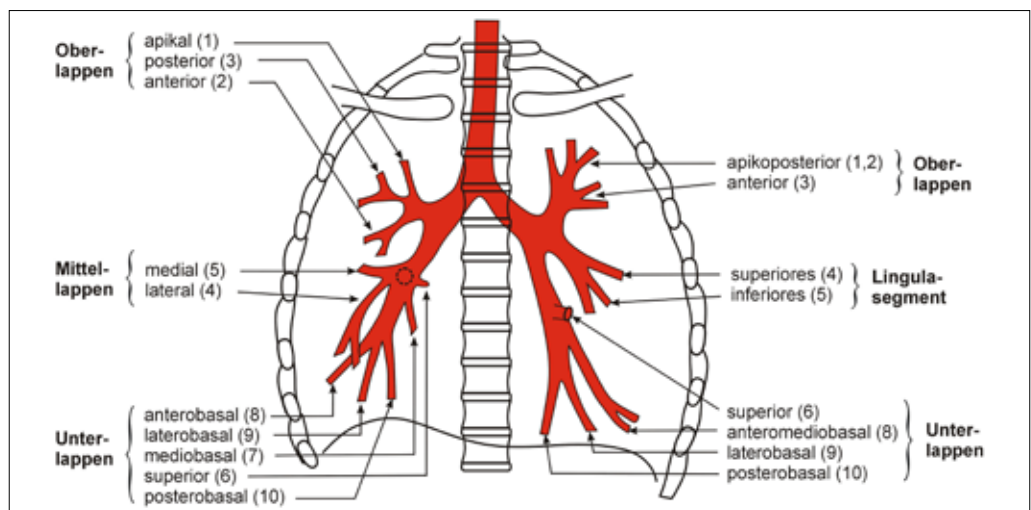


Abb. 7: Schematische Darstellung der Aufzweigung des Bronchialbaumes. Die rechte Lunge hat drei Lappen und zehn Segmente. Die linke Lunge hat nur zwei Lappen und acht Segmente. Die Lingula ist ein Teil des Oberlappens.

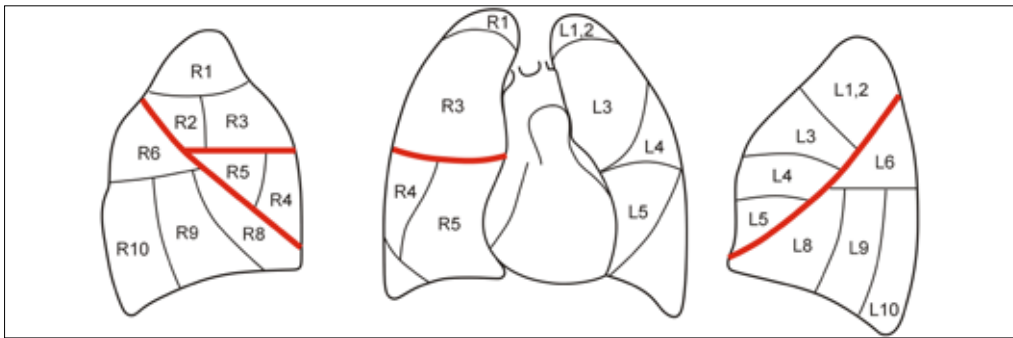


Abb. 8: Schematische Darstellung der Lungensegmente (R: rechts, L: links). Beachte wie sich im p.a.-Strahlengang Ober- und Unterlappen bzw. Unter- und Mittellappen übereinander projizieren und im seitl. Strahlengang rechte und linke Lunge übereinander projizieren. Eine anatomische Zuordnung im Lungenröntgen ist nur über die Betrachtung beider Ebenen möglich.

Der Lungenaufbau wird durch die Aufzweigungen des Bronchialbaumes bestimmt. Man unterscheidet Lappen, Segmente und Subsegmente und den sekundären pulmonalen Lobulus, der kleinsten Funktionseinheiten entsprechend.

Während die Lappen durch Pleura voneinander getrennt sind, sind die Segmente, Subsegmente und sekundären Lobuli durch Bindegewebe (Interstitium) voneinander getrennt. Man unterscheidet verschiedene Komponenten des Lungeninterstitiums, das als ein bindegewebiges, ineinander übergreifendes Stützgerüst des Lungenparenchyms verstanden werden muss:

- zentrales **peribronchovaskuläres** Interstitium;
- peripheres **subpleurales** Interstitium umhüllt die Lunge und bildet die interlobulären Septen;
- **intraalobuläres** Interstitium bildet ein Netzwerk um die Alveoli und die Verbindung zwischen zentralem und peripherem interstitiellem Gewebe.

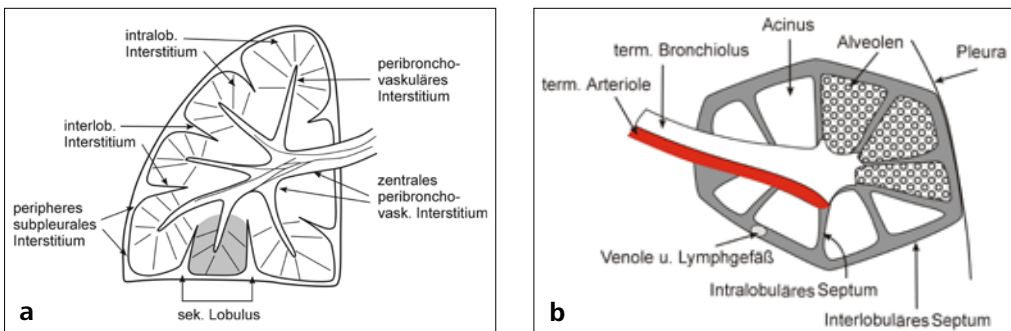


Abb. 9: Schematische Darstellung des Interstitiums der Lunge (a) und des sekundären Lobulus (b). Der sekundäre Lobulus besteht aus durchschnittlich 12 Azini (6–8 mm DM), in welchem bis zu 4.000 Alveolen vorhanden sind. Ein Azinus ist definiert als der Teil des Lungenparenchyms distal eines terminalen Bronchiolus und wird von einem Bronchiolus respiratorius versorgt.

Der sekundäre Lobulus ist die kleinste funktionelle Lungenstruktureinheit, die durch bindegewebige Septen begrenzt wird. Er weist eine polygonale Form mit einem Durchmesser von 1 bis 1,5 cm auf. Zentral verlaufen der terminale Bronchiolus und die Pulmonalarterie mit ihren Aufzweigungen (terminale Arteriole). Venen und Lymphgefäße verlaufen in den bindegewebigen Septen.

Aufbau der Lunge im Thoraxröntgen

Die Trachea ist im konventionellen Röntgenbild als mittelständige, etwa 2 cm breite Luftaufhellung zu erkennen. Mit zunehmendem Alter können die Knorpelspannen der Trachea und der zentralen Bronchien verkalken und im Röntgenbild sichtbar werden.

Die Bronchien sind beim Gesunden nur in den zentralen Abschnitten des Bronchialbaums erkennbar. Große hilusnahe Bronchialäste können sich – wenn sie tangential getroffen werden – als streifige Aufhellungen, die von zarten linearen Schatte begrenzt sind, darstellen. Bei orthograde Abbildung erkennt man zarte ringförmige Strukturen mit zentraler Aufhellung. Weiter peripher sind die Strukturen des Interstitiums beim Gesunden nicht erkennbar.

Lungensegmente

Interstitium

zentraler Bronchus

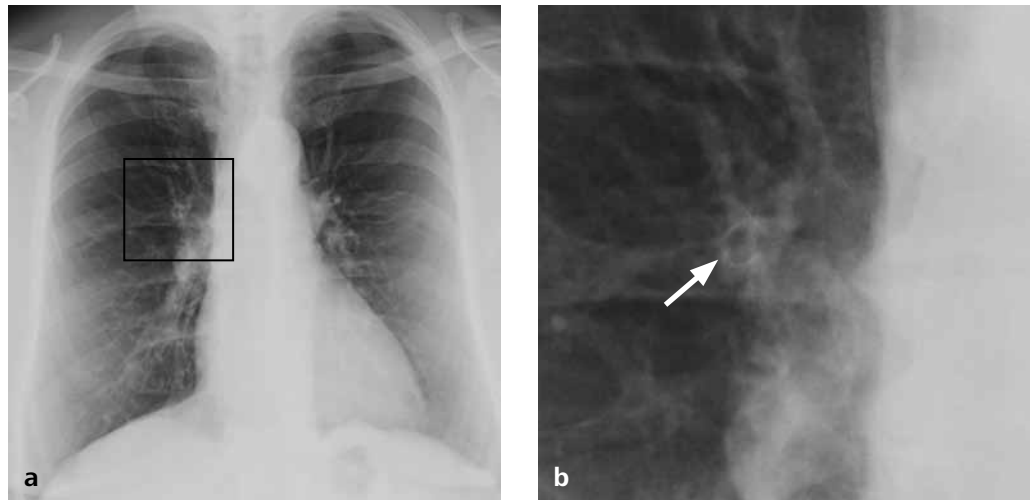


Abb. 10: Lunge p. a. (a), Ausschnitt Mediastinum Trachea, zentrale Bronchien, orthograd getroffener Bronchus (Pfeil) (b).

Aufbau der Lunge in der CT

In der Standard-CT (5–8 mm Schichtdicke) können Bronchien bis zur 4. Ordnung, in der HR-CT (1 mm Schichtdicke) bis zur 8. Ordnung identifiziert werden.

Sind bronchiale Strukturen weiter in der Lungenperipherie (< 2 cm subpleural) erkennbar, spricht das für eine pathologische Bronchialwandverdickung oder Ektasien der kleinen Luftwege.

Bronchialaufzweigung in der CT

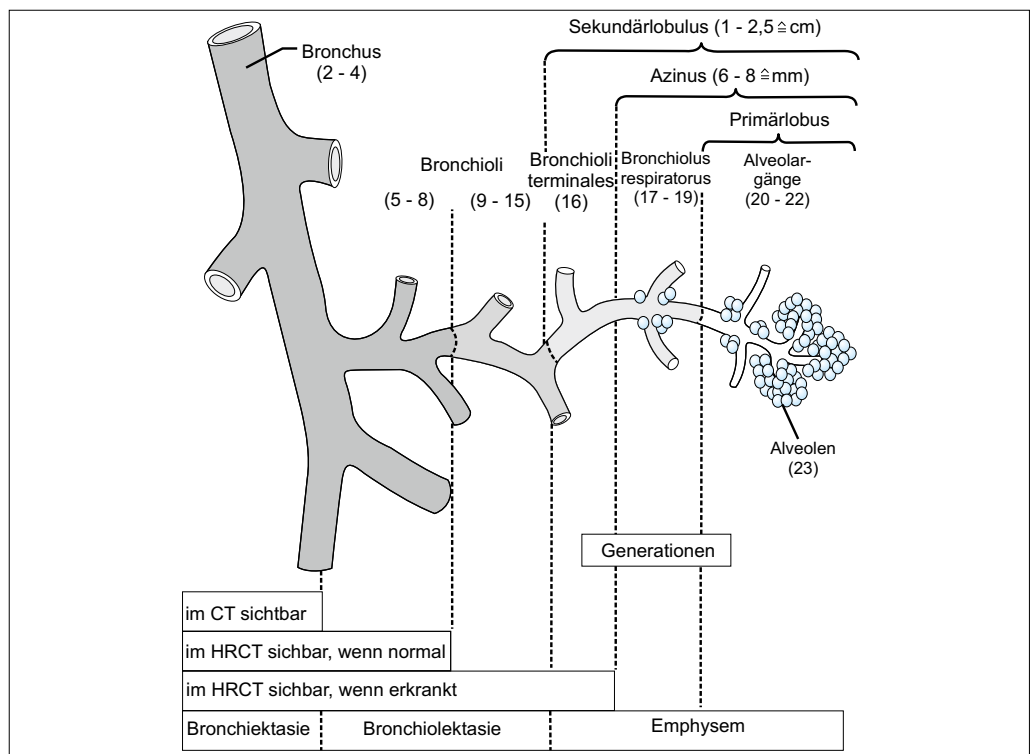


Abb. 11: Schematische Darstellung der Bronchialaufzweigung mit den Grenzen der räumlichen Auflösung im CT.

CT zentrale Bronchien



Abb. 12: CT-Ausschnitt zentrale Bronchien.