

# CT der Lunge: von der morphologischen Darstellung zur Quantifizierung

Thomas Frauenfelder, Thi Dan Linh Nguyen, Barbara Delaloye  
Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, UniversitätsSpital Zürich

Die Computertomographie (CT) ist primär ein qualitatives Verfahren, das indirekt nach mathematischen Rückrechnungen die untersuchten Strukturen abbildet. Die Aufgabe des Radiologen ist es, alle Befunde zu beschreiben und unter Kenntnis der klinischen Angaben eine Schlussfolgerung zu ziehen. Damit Pathologien besser charakterisiert werden können, stehen diverse 3D-Darstellungen zur Verfügung. Ende der 90er Jahre und zu Beginn dieses Jahrhunderts erlebte die 3D-Bildgebung einen Höhenflug. In diversen Publikationen wurde versucht, jede Struktur und Pathologie räumlich herauszuarbeiten [1]. Der klinische Nutzen beschränkte sich bis anhin auf die verbesserte Darstellung von Pathologien ohne weitere Informationen zum Verhalten oder der Art des Gewebes.

In den letzten Jahren ging man zunehmend dazu über, Pathologien nicht nur zu beschreiben, sondern auch zu quantifizieren. Nebst der einfachen Quantifizierung mittels Messung von Grössen und Dichten gibt es auch semi-quantitative und quantitative Analysen von Strukturen. Die semiquantitativen basieren zumeist auf Scoring-Systemen, während die rein quantitativen CT-Analysen eine möglichst exakte numerische Abbildung einer Pathologie mit Masseinheiten anstreben, wie beispielsweise ein Volumen ( $\text{cm}^3$  oder ml) oder die Perfusion eines Gewebes (ml/min/100 ml).

Heute besteht bei Verlaufsuntersuchungen von onkologischen oder chronischen Erkrankungen vermehrt die Tendenz, qualitative und quantitative Informationen miteinzubeziehen [2–4]. In den folgenden Abschnitten werden semiquantitative und quantitative Messungen am Beispiel der CT der Lunge aufgezeigt.


## Semiquantitative Validierung der Lungenerkrankung bei zystischer Fibrose

Die zystische Fibrose ist die häufigste erblich erworbene Erkrankung, die zu einer Reduktion der Lebenserwartung führt. Durch die Fortschritte in der Therapie werden die Patienten zunehmend älter. In den letzten Jahren wurde das Niedrig-Dosis-CT für die Verlaufsbeurteilung propagiert [5]. Um den Verlauf möglichst objektiv beurteilen zu können, ist ein Wertungssystem im Sinne eines Scores wichtig [6]. Der für das Monitoring der zystischen Fibrose entwickelte Score basiert auf diversen Parametern wie der Art und Ausdehnung der Bronchiektasen, den Lungenveränderungen (Konsolidationen, Bullae und Emphysem) und dem Ausmass des Air-Trappings. Der Score ist sehr robust und erlaubt eine zuverlässige semiquantitative Aussage über die Krankheit. Er kann einfach

in die tägliche Routine integriert werden, unabhängig vom verwendeten CT-Gerät oder CT-Protokoll. Diverse Studien zeigten, dass das HRCT in Kombination mit dem Gebrauch der Scores und weiteren CT-basierenden quantitativen Messungen Lungenveränderungen bei Patienten mit zystischer Fibrose bereits erkennen lässt, bevor lungenfunktionelle Änderungen auftreten [5, 7, 8].

## Quantifizierung des Emphysems

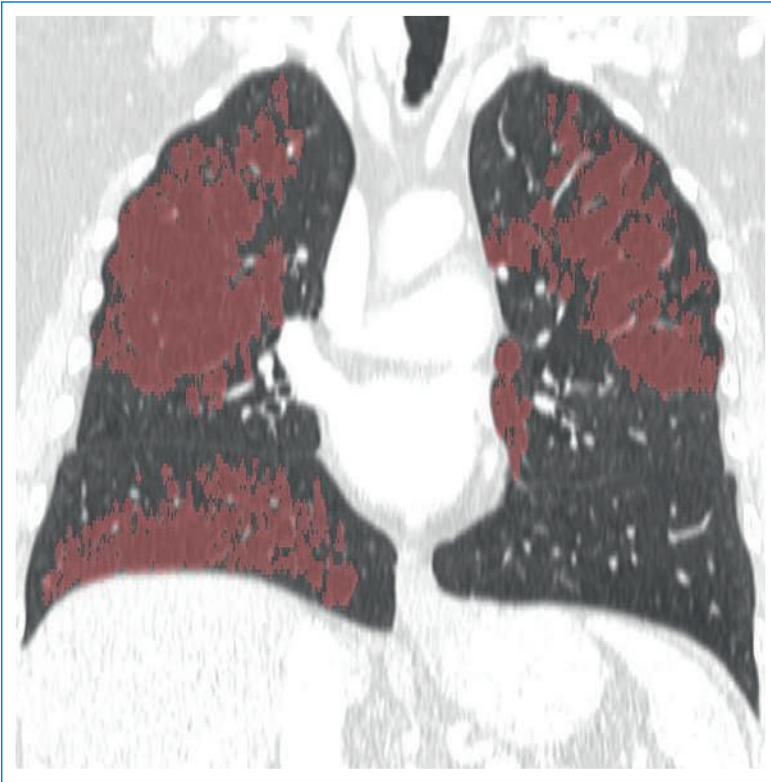
Die COPD hat zwei wesentliche Ausprägungstypen: das Emphysem und/oder die Erkrankung der Atemwege. Die Phänotypisierung des Emphysems und die Beurteilung der Atemwege mittels CT helfen, den Patienten zusammen mit den Kenntnissen aus Klinik und spirometrischen Untersuchungen die bestmögliche Therapie zukommen zu lassen [9, 10]. Für die Beurteilung des Schweregrads dient die Spirometrie, die aber insbesondere bei Frühformen oft noch normal ist. Hier hat die CT durch Auswertung des Lungen-Histogramms eine Möglichkeit, sehr frühe Krankheitsformen zu erkennen und zu monitorisieren [4].

Als Grundlage für diese Auswertung dienen die Hounsfield-(HU-)Werte, ein standardisiertes Mass für die Dichte von Geweben im CT. Der Wert «0» entspricht Wasser, der Wert «-1000» Luft und der Wert «+1000» kortikalem Knochen. Wie geschieht nun die Quantifizierung? Im Lungengewebe werden alle Voxel (kleinste Einheit eines CT-Datensatzes) mit Dichtewerten unter einem definierten HU-Wert (zumeist -950 HU) summiert und mit dem Volumen eines Voxel multipliziert. Dies ergibt das Emphysemvolumen. Die definierten Voxel lassen sich zudem farblich markieren, so dass nebst dem Volumen auch die Verteilung dargestellt wird (Abb. 1 ) . Für longitudinale Vergleiche ist es wichtig, dass die Folgeuntersuchungen unter standardisierten Bedingungen stattfinden (wenn möglich am gleichen Gerät mit identischen Parametern), da die Strahlendosis, Schichtdicke und der Rekonstruktions-Algorithmus das Ergebnis beeinflussen und Änderungen dieser Parameter keine exakte Aussage zum Verlauf zulassen [11, 12].


## Quantifizierung der Fibrose

Während die Quantifizierung des Emphysems relativ einfach und zumeist automatisch abläuft, ist die Quantifizierung des Ausmasses resp. Verlaufs der Fibrose oder anderer chronischer interstitieller Lungenerkrankungen deutlich schwieriger. Die frühe, akut-entzündliche Form

Die Autoren haben keine finanzielle Unterstützung und keine Interessenkonflikte im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

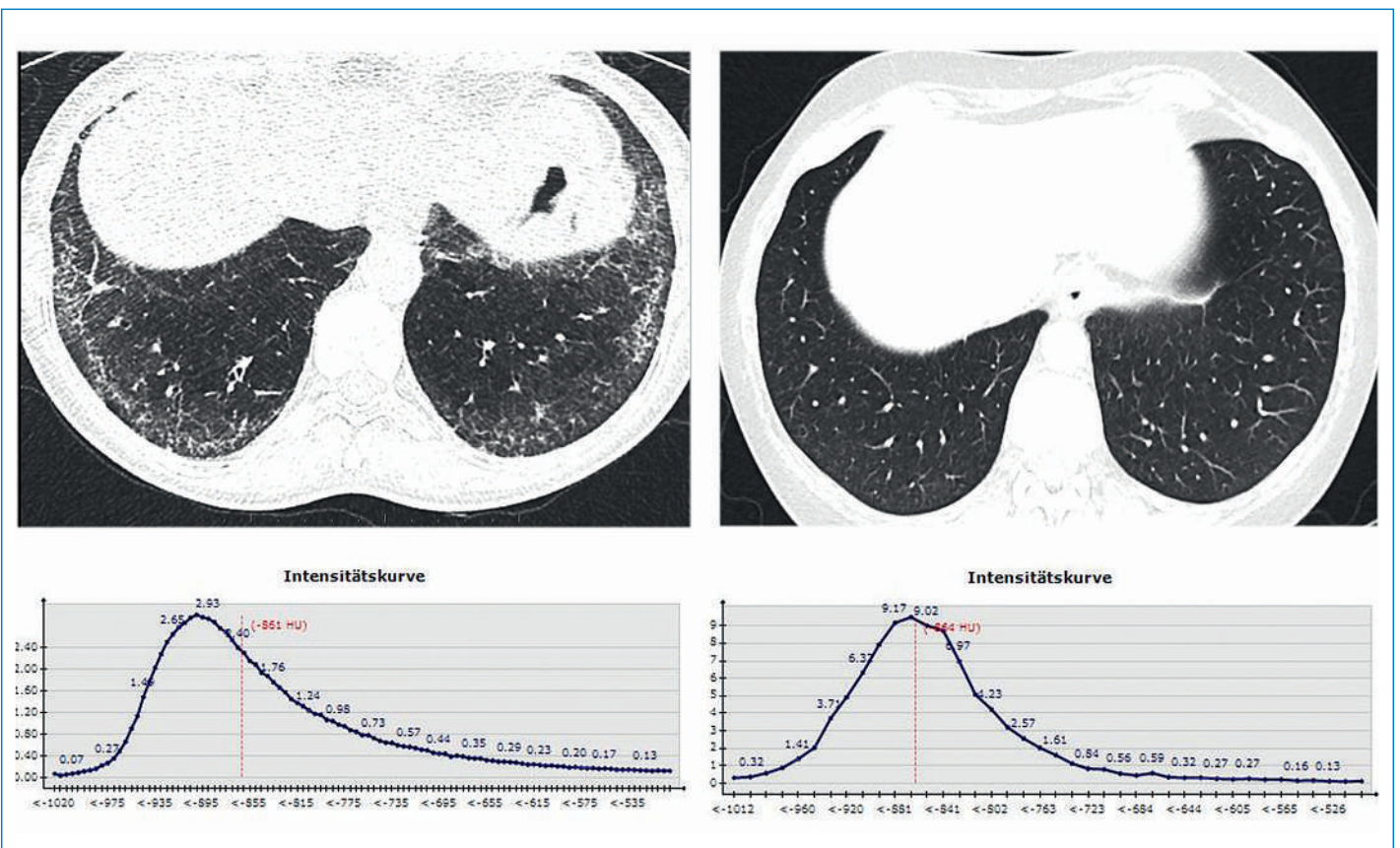


**Abbildung 1**  
Koronare CT-Schicht mit Markierung des Emphysems (Rot). Die Auswertung über die gesamte Lunge ergibt ein Emphysemvolumen von 1,815 Litern (24% des Gesamtvolumens).

der Fibrose zeichnet sich mehrheitlich durch eine milchglasartige Trübung (ground-glass) aus, die später zu einer Schrumpfung und Volumenminderung der Lunge mit Ausbildung von retikulärem Muster, Wabellunge und Traktionsbronchiektasen führt. Die Dichte im Lungenparenchym steigt an, was sich im Lungenhistogramm der HU-Werte widerspiegelt [3]. Die HU-Verteilungskurve wird flacher und breiter (Abb. 2 ) . In verschiedenen Arbeiten konnte gezeigt werden, dass diese beiden Parameter mit der spirometrischen Untersuchung korrelieren und für die Verlaufsbeurteilung deutlich verlässlicher sind, so dass diese Parameter für longitudinale Reihenuntersuchungen wie zum Beispiel bei Patienten mit pulmonaler Beteiligung bei Sklerodermie oder Fibrose verwendet werden können [13].

### Zusammenfassung

In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass bei diversen Lungenerkrankungen mittels quantitativer Verfahren regionale Lungenveränderungen bereits vor dem Auftreten subjektiver Beschwerden oder funktioneller Lungenveränderungen nachgewiesen werden können. Diese (semi)quantitativen Daten erlauben eine wichtige Einsicht in strukturelle Lungenveränderungen bezüglich zeitlichen Verlaufs, des Einflusses von verschiedenen Erkrankungsmerkmalen auf funktionelle Veränderungen und deren Effekt in Abhängigkeit vom Erkrankungssta-



**Abbildung 2**  
Lungenfibrose (**links**) mit der entsprechend abgeflacht und verbreitert erscheinenden HU-Verteilungskurve im Vergleich zu einer gesunden Lunge (**rechts**).

dium. Dies favorisiert die (semi)quantitative CT für longitudinale Untersuchungen von chronischen Lungenerkrankungen wie COPD, Fibrose oder zystische Fibrose.

---

**Korrespondenz:**

PD Dr. med. Thomas Frauenfelder  
 Stv. Institutsdirektor  
 Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie  
 UniversitätsSpital Zürich  
 Rämistrasse 100  
 CH-8091 Zürich  
[thomas.frauenfelder\[at\]jusz.ch](mailto:thomas.frauenfelder[at]jusz.ch)

---

**Literatur**

- 1 Lawler L, Fishman EK. Multi-detector row CT of thoracic disease with emphasis on 3D volume rendering and CT angiography. *Radiographics*. 2001;21(5):1257–73.
- 2 Garcia-Figueiras R, et al. CT perfusion in oncologic imaging: a useful tool? *AJR Am J Roentgenol*. 2013;200(1):8–19.
- 3 Camiciottoli G, et al. Lung CT densitometry in systemic sclerosis: correlation with lung function, exercise testing, and quality of life. *Chest*. 2007;131(3):672–81.
- 4 Mets OM, et al. Quantitative computed tomography in COPD: possibilities and limitations. *Lung*. 2012;190(2):133–45.
- 5 Loeve M, et al. Chest computed tomography; a validated surrogate endpoint of cystic fibrosis lung disease? *Eur Respir J*. 2012; doi: 10.1183/09031936.00051512.
- 6 Helbich T, et al. Cystic fibrosis: CT assessment of lung involvement in children and adults. *Radiology*. 1999;213(2):537–44.
- 7 Linnane B, et al. Role of high-resolution computed tomography in the detection of early cystic fibrosis lung disease. *Paediatr Respir Rev*. 2008;9(3):168–74; quiz 174–5.
- 8 Brody A, et al. High-resolution computed tomography of the chest in children with cystic fibrosis: support for use as an outcome surrogate. *Pediatr Radiol*. 1999;29(10):731–5.
- 9 Bafadhel M, et al. The role of CT scanning in multidimensional phenotyping of COPD. *Chest*. 2011;140(3):634–42.
- 10 Han MK, et al. Chronic obstructive pulmonary disease exacerbations in the COPDGene study: associated radiologic phenotypes. *Radiology*. 2011;261(1):274–82.
- 11 Stolk J, et al. Repeatability of lung density measurements with low-dose computed tomography in subjects with alpha-1-antitrypsin deficiency-associated emphysema. *Invest Radiol*. 2001;36(11):648–51.
- 12 Bakker ME, et al. Variability in densitometric assessment of pulmonary emphysema with computed tomography. *Invest Radiol*. 2005; 40(12):777–83.
- 13 Best AC, et al. Quantitative CT indexes in idiopathic pulmonary fibrosis: relationship with physiologic impairment. *Radiology*. 2003; 228(2):407–14.