

# 3D-Erkennung, Analyse und Visualisierung pleuraler Verdickungen in CT-Daten

Patrick Jäger<sup>1</sup>, Stefan Vogel<sup>3</sup>, Achim Knepper<sup>1</sup>,  
Thomas Kraus<sup>2</sup> und Til Aach<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Bildverarbeitung, RWTH Aachen  
Templergraben 55, 52056 Aachen

<sup>2</sup>Institut für Arbeitsmedizin,  
Universitätsklinikum der RWTH Aachen, 52057 Aachen

<sup>3</sup>Lehrstuhl für medizinische Informationstechnik, RWTH Aachen  
Templergraben 55, 52056 Aachen

Email: [knepper@lfb.rwth-aachen.de](mailto:knepper@lfb.rwth-aachen.de)

Internet: [www.lfb.rwth-aachen.de/mesotheliom](http://www.lfb.rwth-aachen.de/mesotheliom)

**Zusammenfassung.** Aufbauend auf früheren Arbeiten wurde ein Bildverarbeitungssystem entwickelt, welches pleurale Verdickungen automatisch lokalisiert und visualisiert. Es liefert reproduzierbare, quantitative Daten, die eine genauere Beobachtung der Verdickungen ermöglichen als die konventionelle Befundungsmethode, und reduziert den für die Befundung nötigen Zeitaufwand. Die automatische Detektion findet innerhalb eines zweistufigen Algorithmus statt, der zuerst aus allen Schichten des Datensatzes die Pleurakonturen extrahiert und darauf aufbauend die Verdickungen in den Pleurakonturen detektiert. Da die Änderung der Form einer Verdickung ein wichtiges Kriterium bei der Entscheidung ist, ob eine Verdickung entartet, wurde eine Möglichkeit zur Visualisierung der Verdickungen und der Lungenflügel implementiert. Diese können nun aus allen Perspektiven betrachtet werden. Unterschiede in den Verdickungen zweier aufeinanderfolgender Scans können so erkannt werden.

## 1 Problemstellung

Asbest ist ein Sammelbegriff für natürlich vorkommende, faserförmige, mineralische Silikatmaterialien, die dank ihrer guten thermischen, mechanischen und isolatorischen Eigenschaften in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt wurden. Asbest ist eine gesicherte humankanzerogene Substanz und kann Lungen- und Pleurafibrosen, Lungen- und Kehlkopfkrebs sowie maligne Mesotheliome verursachen. Die Asbestfasern gelangen über die Atemluft in die Lunge und lagern sich an der Pleura ab, wo sich gutartige und bösartige Veränderungen ausbilden können. Die Latenzzeit zwischen der Asbestexposition und dem Entstehen eines Mesothelioms kann 10 bis 65 Jahre betragen [1, 2, 3]. Der Höhepunkt des Asbesteinsatzes wurde in Deutschland Ende der 70er Jahre erreicht. Daher geht man von einem weiteren Anstieg der Neuerkrankungen auf über 1000 Fälle pro Jahr aus. Bei den Todesfällen Berufserkrankter ist Asbest die weitaus häufigste

Todesursache und stellt damit in der Arbeitsmedizin ein großes Problem dar. In anderen europäischen Ländern sind die Fallzahlen noch deutlich höher [4]. Daher werden in den kommenden 30 Jahren in Westeuropa etwa 250.000 Mesotheliom-tote prognostiziert [5].

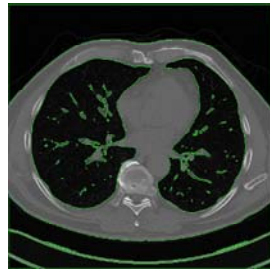
## 2 Stand der Forschung

Eine Heilung des Mesothelioms ist bisher nur in Einzelfällen möglich, wenn eine Früherkennung erfolgte. Zurzeit beträgt die mittlere Überlebenszeit nach Diagnosestellung ca. 9 Monate. In dem Bestreben, die Überlebenszeit Betroffener zu erhöhen, kommt der Früherkennung des malignen Tumors eine entscheidende Rolle zu. Eine Wachstumstendenz pleuraler Verdickungen im zeitlichen Verlauf stellt ein wesentliches Kriterium zur Differenzierung zwischen gutartigen und bösartigen Veränderungen dar. Zur Diagnosestellung von gutartigen und bösartigen Veränderungen wird die Pleura mittels CT auf Verdickungen untersucht, die dabei vom befundenden Arzt nach Größe und Form in Klassen eingeteilt werden. Die Ergebnisse werden in einen standardisierten Erfassungsbogen eingetragen. Dies ist zum einen mit sehr hohem zeitlichen Aufwand verbunden, zum anderen unterliegen die Auswertungsergebnisse aufgrund der subjektiven visuellen Beurteilung hohen Schwankungen. Intra- und Interreadervariabilitätsuntersuchungen zeigen, dass eine genaue und reproduzierbare Aussage über die quantitative Ausdehnung einer Pleuraverdickung schwer zu treffen ist. Heute zur Befundung eingesetzte, kommerziell erhältliche Workstations werden momentan lediglich als Werkzeug zur Visualisierung der CT-Scans eingesetzt und erleichtern es dem Befunder, die Ergebnisse in Formulare einzutragen. In [6] wird von einem System berichtet, das semiautomatisch zur eindimensionalen Vermessung von Mesotheliomen in der Lage ist. Systeme, welche pleurale Verdickungen automatisiert erfassen und vermessen, sind zurzeit noch nicht verfügbar.

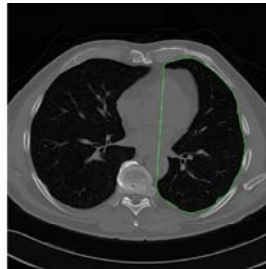
## 3 Wesentlicher Fortschritt durch den Beitrag

Die Verwendung eines vollautomatischen Bildverarbeitungssystems bei der Befunderhebung hat zum einen das Ziel, die zeitliche Belastung des befundenden Arztes zu verringern. Zum anderen soll sie zu exakten, reproduzierbaren Messwerten führen, die eine einfache, möglichst objektive Verlaufsdokumentation der pleuralen Verdickungen ermöglichen. Die vom System dargestellten Ergebnisse können dabei jederzeit vom untersuchenden Arzt korrigiert werden. So können Veränderungen der Verdickungen, die auf die Bildung eines malignen Tumors hinweisen, früher erkannt und schon im Frühstadium geeignete Therapiemaßnahmen ergriffen werden, welche sowohl die Lebenserwartung als auch die Lebensqualität des Patienten erhöhen.

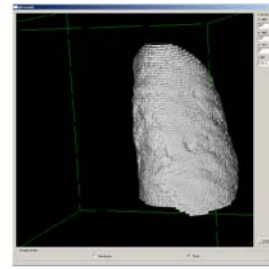
Abb. 1. Extraktion und Visualisierung der Pleurakonturen.



(a) Alle im Bild gefundenen Konturen



(b) Gefundene Pleurakontur, Bronchialbaum herausgeschnitten



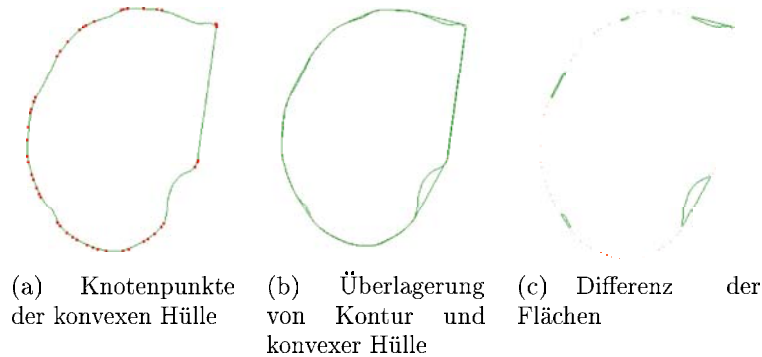
(c) Visualisierung eines Lungenflügels

## 4 Methoden

Im CT-Scan werden zuerst die Pleurakonturen extrahiert, daraufhin nach vordefinierten Kriterien die Verdickungen lokalisiert und deren charakteristische Abmessungen bestimmt. Unser Verfahren arbeitet wie folgt: Der Anwender lädt zu Beginn einen CT-Scan zur Befundung in den Arbeitsbereich. Per Knopfdruck startet er die Detektion der Pleurakonturen. Dabei wird jedes DICOM-Bild mit einer Schwellwert-Operation (-550 HU) [7] in ein Binärbild umgewandelt. In diesem Binärbild werden mittels eines Konturfindungsalgorithmus [8] alle geschlossenen Konturen gefunden. Diese werden nach vordefinierten Kriterien sortiert, so dass am Ende die Konturen der Pleura übrig bleiben. Da im Bereich des Bronchialbaumes und mediastinaler Strukturen keine Verdickungen zu erwarten sind, werden diese Bereiche im Scan nicht betrachtet.

Mit Hilfe der so gefundenen Pleurakonturen lassen sich die Lungenflügel in einem gesonderten Fenster in einer 3D-Ansicht visualisieren und von allen Seiten betrachten. Dabei sind die Bereiche der Verdickungen gut erkennbar (Abb. 1c). Mit einem weiteren Knopfdruck startet der Anwender den Algorithmus zum Auffinden der Verdickungen. Verdickungen stellen sich immer als nichtkonvexe Bereiche in der konvex modellierten Kontur der Lunge dar. Daher werden in den gefundenen Konturen der Pleura alle Punkte identifiziert, welche die Pleurakontur vollständig umschließen, wenn sie mit Geraden verbunden werden. Aus je zweien dieser Punkte wird nun mit Hilfe ihrer Verbindungsgerade und dem zwischen ihnen liegenden Konturstück eine neue, kleine Kontur erstellt (Abb. 2).

Diese neuen Konturen werden als potentielle Verdickungen angesehen und nach drei Kriterien beurteilt: Sie werden nur weiter betrachtet, wenn sie mindestens ein Pixel umschließen, sich mindestens eine Kontur im selben Bereich des Schichtbildes darüber oder darunter befindet und sich in ihrem Innern ein bestimmter Anteil an Pixeln befindet, deren Hounsfield-Werte denen von Tumorgewebe (größer 40 HU) entsprechen. Ist eine dieser Bedingungen nicht erfüllt, wird die Kontur verworfen. Die gefundenen Verdickungen (Abb. 3) werden mit

**Abb. 2.** Erstellen der Differenzkonturen

den sich im selben Bereich befindenden Konturen aus den Schichten darüber und darunter vervollständigt. Zur Bestimmung des idealtypischen Verlaufs der Pleura wird ein „thin plate model“ verwendet, das mit Hilfe einiger Pixel außerhalb des Beginns der Nichtkonvexitäten eingepasst wird. Dadurch wird zum einen die zur Volumenbestimmung nötige „Rückwand“ der Verdickung realistisch nachgebildet und zum anderen der Anfangs- und Endpunkt der Verdickungen in jeder Schicht unter Hinzunahme der 3D-Information optimal bestimmt [9].

Die so gefundenen Verdickungen können ähnlich wie die Lungen in einem eigenen Fenster in 3D visualisiert und von allen Seiten betrachtet werden. Mittels eines Justage-Verfahrens [7] werden charakteristische Punkte des Körpers und ihre Lage relativ zum CT ermittelt. Dies ermöglicht eine Koregistrierung der Verdickungen und damit die automatisierte Erstellung einer Verlaufsdokumentation für jede Verdickung. Die Ergebnisse der Verarbeitung (Konturen, charakteristische Werte der Verdickungen) werden bei deutlich erhöhter Sensitivität des Untersuchungsverfahrens gespeichert und stehen so jederzeit zum Vergleich mit neuen Aufnahmen des Patienten zur Verfügung.

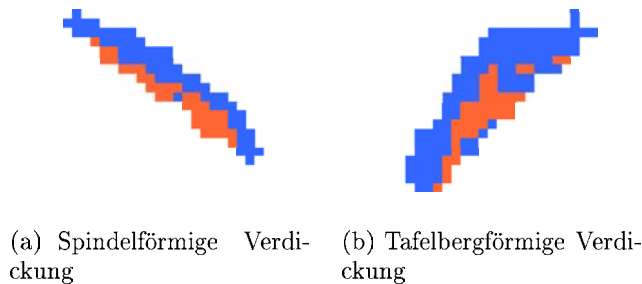
## 5 Ergebnisse

Die Algorithmen zum Auffinden der Pleurakonturen, der Verdickungen und die Funktionalität zur 3D-Visualisierung sowohl der Lungen als auch der Verdickungen funktionierten auf dem zur Verfügung stehenden Bildmaterial zuverlässig. Als nächster Schritt steht eine Validierung der Ergebnisse des Systems in der Praxis im Vergleich zu den Ergebnissen erfahrener Befunder an, ebenso eine Beurteilung der Anwendbarkeit durch Befunder im täglichen Betrieb.

## 6 Ausblick

Um das System im klinischen Routinebetrieb einsetzen zu können, muss eine Validierung der gelieferten Ergebnisse stattfinden. Um dem Ziel eines vollautoma-

**Abb. 3.** Verdickungen - rot: HU > 10, blau: HU < 10



tischen Systems zur Erfassung und Vermessung pleuraler Verdickungen näher zu kommen, ist neben einer Integration der entwickelten Algorithmen in die schon bestehende Benutzeroberfläche eine Automatisierung der Koregistrierung und die Implementierung einer Verlaufsdokumentation nötig.

## Literaturverzeichnis

1. Kraus T, Raithel HJ. Frühdiagnostik asbeststaubverursachter Erkrankungen. Hauptverband der gewerbl. Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin; 1998.
2. Rühle KH. Pleurale Erkrankungen: Diagnostik und Therapie. Kohlhammer, Stuttgart; 1997.
3. Sugarbaker DJ, Norberto JJ, Bueno R. Current Therapy of Mesothelioma. *Cancer Control Journal* 1997;4(4):326–334.
4. Deriot G, Godefroy JP. Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information sur le bilan et les conséquences de la contamination par l'amiante. Senat de la republique francaise; 2005.
5. Damião. Bericht über den Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 83/477/EWG des Rates über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Asbest am Arbeitsplatz. Europäisches Parlament; 2002.
6. Armato SG, Oxnard GR, et al. Evaluation of Semiautomated Measurements of Mesothelioma Tumor Thickness on CT Scans. *Academic Radiology* 2005;12(10):1301–1309.
7. Vogel S. Semiautomatische Segmentierung, quantitative Vermessung und Verlaufsdokumentation von Pleuramesotheliomen in Spiral-CT-Bildsequenzen. Lehrstuhl für Messtechnik und Bildverarbeitung, RWTH Aachen; 2003.
8. Suzuki S, Abe K. Topological Structural Analysis of Digital Binary Images by Border Following. *CVGIP* 1985;30(1):32–46.
9. Jäger P. 3D-Analyse und Visualisierung pleuraler Verdickungen in Spiral-CT-Daten. Lehrstuhl für Bildverarbeitung, RWTH Aachen; 1997.