



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK  
INSTITUTE OF MATHEMATICS  
AND IMAGE COMPUTING

## Optimization of Image Registration for Determination of Regional Ventilation from CT Scans of the Lungs

*Optimierung der Bildregistrierung zur Berechnung der regionalen Ventilation anhand von CT-Scans der Lunge*

### **Masterarbeit**

verfasst am

**Institute of Mathematics and Image Computing**

im Rahmen des Studiengangs

**Mathematik in Medizin und Lebenswissenschaften**

der Universität zu Lübeck

vorgelegt von

**Maren Faber**

ausgegeben und betreut von

**Prof. Dr. Jan Modersitzki**

Die Arbeit ist im Rahmen der Teilnahme am Programm DigiStrucMed der Medizinischen Hochschule Hannover in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer MEVIS Institut Bremen entstanden.

Lübeck, den 10. August 2022

## Zusammenfassung

Irreversible Schäden der Lunge wie beispielsweise eine Lungenfibrose können durch viele verschiedene Krankheiten ausgelöst werden und anhand der verminderten Ventilation der Lunge festgestellt werden. Dabei liefern herkömmliche Methoden wie der Lungenfunktionstest keine Aussage über regionale Veränderungen des Lungengewebes, weshalb medizinische Bildgebungsverfahren eine große Rolle in der Diagnose solcher Krankheiten spielen.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde die Optimierung eines Bildregistrierungsnetzwerkes zur Bestimmung von Referenzwerten der regionalen Ventilation anhand von Lungen-CT-Scans durchgeführt. Dabei dienten die Jacobi-Determinanten des resultierenden Deformationsfeldes als Vorhersage für die regionale Volumenänderung.

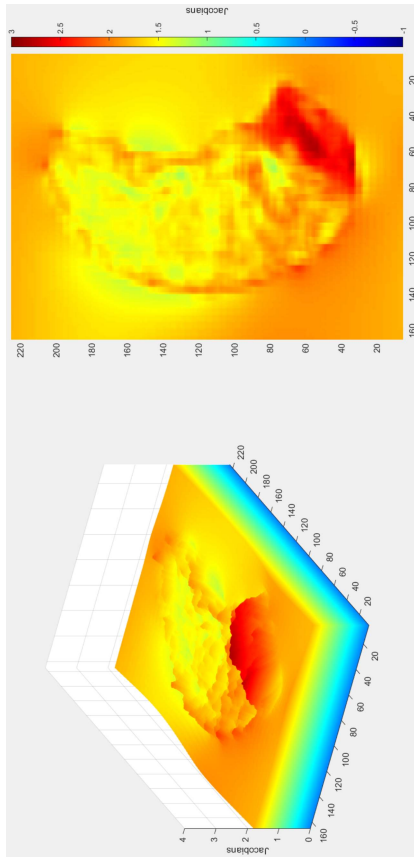
Ein Fehlermaß zur Bewertung der Bildregistrierung wurde eingeführt und verschiedene Ansätze wurden miteinander verglichen. Es konnte gezeigt werden dass die separate Registrierung des linken und rechten Lungenflügels, sowie die Verwendung von maskierten Bildern zu besseren Ergebnissen geführt hat als die Registrierung der originalen CT-Scans. Der krümmungsbasierte Regularisierer mit einem zusätzlichen Volumenkontrollterm lieferte eine Transformation, die der erwarteten Lungenbewegung am ehesten entspricht.

## Abstract

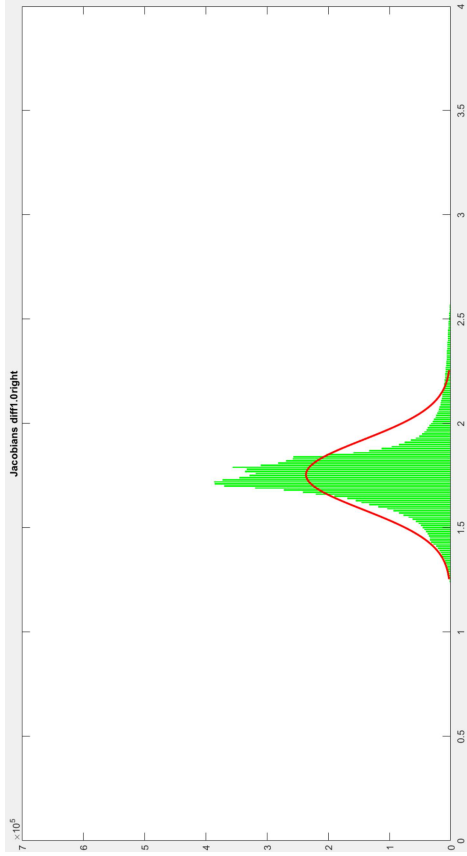
Irreversible damage of the lungs like for example a lung fibrosis can be triggered by many different diseases and can be identified by a decrease in lung ventilation. Conventional methods such as the pulmonary function test do not provide information about regional changes in lung tissue, which is why medical imaging techniques play a major role in the diagnosis of such diseases.

Within the scope of this master thesis, the optimization of an image registration network for the determination of reference values of regional ventilation based on CT scans of the lungs was performed. Here, the Jacobian determinants of the resulting deformation field served as a prediction for the regional volume change.

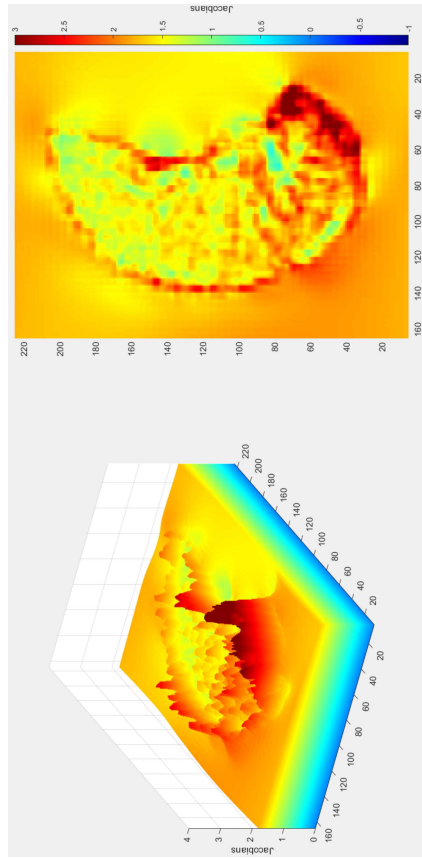
I introduced an error measure for evaluating image registration and compared different approaches. It could be shown that the separate registration of the left and right lung, as well as the use of masked images, led to better results than the registration of the original CT scans. The curvature regularizer with an additional term for volume control provided the most reasonable transformation, which most closely matched the expected lung motion.



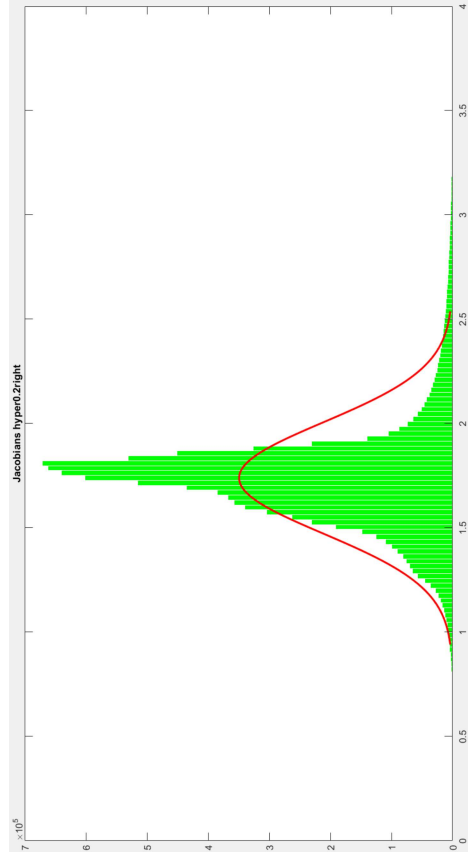
(a) Diffusive regularizer with  $\alpha = 1.0$ , error=0.016453



(b) Histogram of the Jacobians for  $\alpha = 1.0$



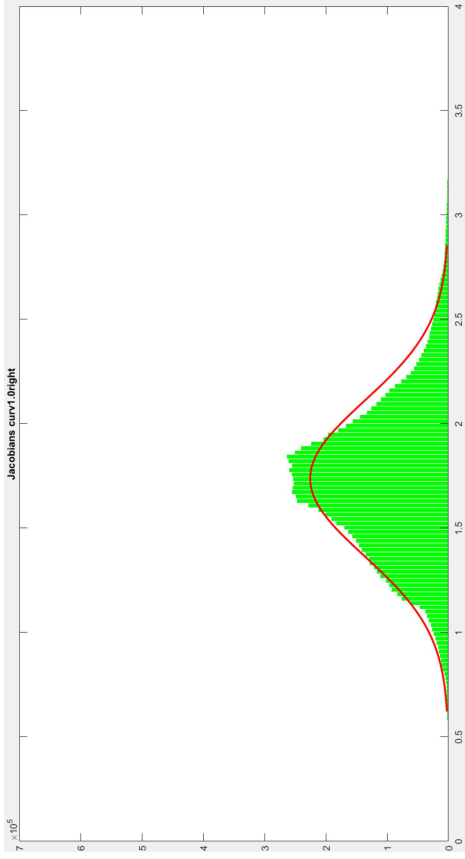
(c) Hyperelastic regularizer with  $\alpha_1 = 0.2$  and  $\alpha_3 = 0.00125893$ , error=0.00523



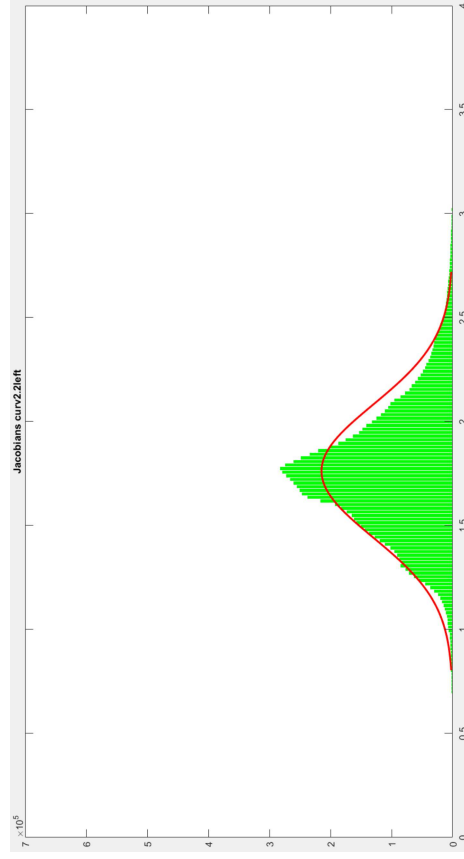
(d) Histogram of the Jacobians for  $\alpha_1 = 0.2$  and  $\alpha_3 = 0.00125893$

Figure 4.14: **left:** 3D bar plots of the Jacobians for comparison of the three regularization approaches that had the smallest error for registering the right lung. A Jacobian of 1 represented by green coloring indicates no volume change, a Jacobian higher than 1 represented in warm colors (yellow and red) indicates volume expansion and Jacobians between 0 and 1 represented with blue coloring indicates volume shrinkage. **right:** histogram of the Jacobians and fitted normal density function in red.

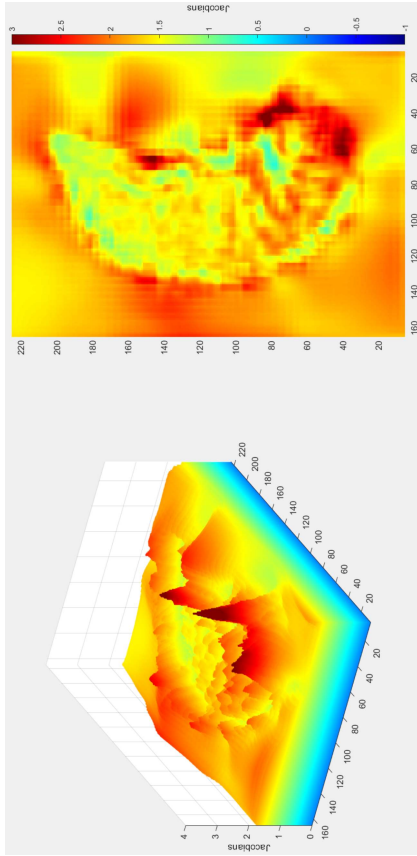
## 4 Results



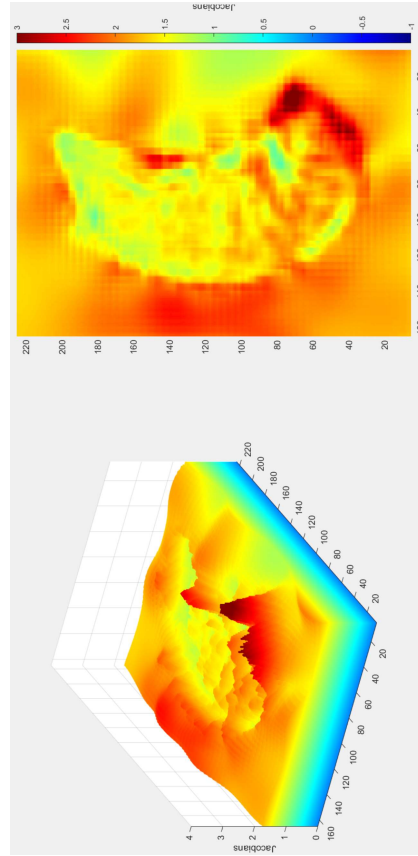
(f) Histogram of the Jacobians for  $\alpha = 1.0$



(h) Histogram of the Jacobians for  $\alpha_1 = 2.2$  and  $\alpha_3 = 0.00125893$



(e) Curvature regularizer with  $\alpha = 1.0$ , error=0.00149



(g) Curvature regularizer with  $\alpha_1 = 2.2$  and volume control term with  $\alpha_3 = 0.00125893$ , error=0.00400