

Akustische Analyse von Ultraschall-Kontrastmitteln

Acoustic Analysis of Ultrasound Contrast Agents

M. Mleczko

Ultraschall-Kontrastmittel bestehen aus Mikrobläschen mit Durchmessern kleiner als $10\ \mu\text{m}$. Bei Beschallung im diagnostischen Frequenzbereich oszillieren die Mikrobläschen nichtlinear. Mittels geeigneter Pulssequenzen lassen sich die Signale, die von oszillierenden Mikrobläschen zurückgestreut werden, von Signalen, die von Gewebestreuern zurückgestreut werden, unterscheiden. Durch Erhöhung der Schallamplitude lassen sich Mikrobläschen lokal zerstören, wodurch Anwendungen in der gezielten Medikamentengabe ermöglicht werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Eigenschaften von Ultraschall-Kontrastmitteln für diese beiden Anwendungsfälle untersucht. Dazu wurde ein theoretisches Modell für die Zerstörung von Mikrobläschen unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung aufgestellt. Zur experimentellen Verifikation wurde ein Aufbau entwickelt, der es erlaubt Zerstörungsschwellen von Mikrobläschen zu messen. Das Modell konnte für Mikrobläschen verschiedener chemischer Zusammensetzungen verifiziert werden, indem der Zusammenhang zwischen Elastizität der Hülle und den chemischen Komponenten nachgewiesen wurde.

Detektionsverfahren für Ultraschall-Kontrastmittel verwenden Pulssequenzen, die aus heuristischen Annahmen über die Nichtlinearität der Mikrobläschenoszillation heraus entwickelt wurden. Um eine systematische Untersuchung des Potenzials neuer Bildgebungssequenzen zu ermöglichen, wurde mittels nichtlinearer Systemtheorie, insbesondere mit Volterra-Reihen, ein Rahmen zur Analyse der Nichtlinearitäten bei der Ultraschall-Bildgebung entwickelt. Damit wurden Modelle für die beiden vorherrschenden Quellen von Nichtlinearitäten in der Ultraschall-Bildgebung, nichtlineare Schallausbreitung und nichtlineare Streuung durch Mikrobläschen identifiziert. Basierend auf diesen Modellen wurde ein Verfahren zur Synthese von Bildgebungssequenzen vorgestellt. Die damit generierte Sequenz ermöglichte eine Vergrößerung des Kontrasts um 13,6 dB gegenüber einem etablierten Referenzverfahren. Weiterhin wurde ein nichtlineares Gesamtmodell für Puls-Echo Ultraschallbildgebung entwickelt. Dieses Modell wurde verwendet, um eine bestehende Bildgebungssequenz zu analysieren und Quellen für Kontrastverbesserung zu identifizieren. Dadurch war es möglich eine Kontrastvergrößerung um 21 dB gegenüber dem Industriestandard zu erzielen.