

Optimierung eines halbleiterlaserbasierten photoakustischen Abbildungssystems

Kurzfassung der Dissertation

Dipl.-Ing. Martin F. Beckmann

Die photoakustische Bildgebung ist seit inzwischen mehreren Jahrzehnten Gegenstand intensiver Forschung mit dem Ziel, diese in medizinisch relevanten Fragestellungen zu Diagnosezwecken einzusetzen. Sie kombiniert optische mit der akustischen Bildgebung und profitiert somit von optischem Kontrast einerseits und akustischer Eindringtiefe und Auflösung andererseits. Kurze, energiereiche Lichtpulse im nahinfraroten Bereich sorgen für eine kurzzeitige, geringfügige Erwärmung des Gewebes in absorbierenden Bereichen, wodurch eine Schallwelle erzeugt wird, die mittels eines konventionellen Ultraschallwandlers detektiert werden kann. Vielfältige Einsatzbereiche in der Medizin sind denkbar, beispielsweise eignet sich das Verfahren dank seiner Sensitivität für Blut zur Detektion von Tumoren, für die Darstellung der Vaskularisierung oder auch zur orts aufgelösten Sauerstoffsättigungsbestimmung. Üblicherweise werden zur Erzeugung der Lichtpulse große Festkörperlasersysteme verwendet. Stattdessen wäre eine Nutzung von Halbleiterlasersystemen wünschenswert, da diese in das Gehäuse von Ultraschallwandlern integriert werden können und somit ein hohes Maß an Flexibilität des Gesamtsystems erlauben und üblicherweise kostengünstiger sind. In jüngster Vergangenheit wurden größere Laserleistungen auch bei Halbleiterlasern verfügbar. Daher ist es nun erforderlich, verstärkt auch Lasersicherheitsaspekte bei der Anwendung der photoakustischen Bildgebung zu berücksichtigen.

Die vorliegende Dissertation behandelt die Optimierung eines halbleiterlaserbasierten photoakustischen Abbildungssystems unter Berücksichtigung von Lasersicherheitsaspekten. Hierzu wurden Bestrahlungsgrenzwerte in Bezug auf ihren Einfluss auf die photoakustische Bildgebung untersucht. Optische und akustische Simulationen wurden eingesetzt, um den Einfluss von Änderungen an der geometrischen Anordnung der Komponenten bewerten zu können; anhand eines Experiments wurden Teile der Simulationen anschließend an einem Prototypen überprüft. Optimierungsmöglichkeiten in Bezug auf die vollständige Ausnutzung der Laserschutzgrenzwerte wurden aufgezeigt, beispielsweise wurden Änderungen des Lichtprofils sowie der Lichtpulsamplitude bewertet.

Es wurde weiterhin ein neues kombiniertes „fused“ Bild eingeführt, welches sich aus mehreren Wellenlängen zusammensetzt und das durch simultane Laseremission mehrerer Halbleiterlaser verbesserte Signal Rausch Verhältnis (SNR) nutzt. Hierbei ließ sich, abhängig vom abgebildeten Objekt und den Halbleiterlasern, eine Steigerung des SNR bis hin zur Vervielfachung um die Anzahl der Halbleiterlaserquellen erreichen, sofern alle Quellen gleichzeitig betrieben werden durften. Alternativ konnte die Anregung derart gewählt werden, dass dennoch die Rekonstruktion der Einzelwellenlängendaten möglich war. Hierbei ließen sich die SNR Verhältnisse zwischen den Wellenlängen sowie dem kombinierten Bild durch Veränderung der Anregung einstellen. Die optimale Konstruktion des kombinierten Bildes, sowie die optimale Rekonstruktion der Einzelwellenlängendaten wurde zunächst für eine beliebige gegebene Anregung bestimmt, anschließend wurden Verfahren zur Optimierung der Anregung selbst untersucht. Hierbei ergaben sich Optimierungsvorschriften ohne Berücksichtigung des kombinierten Bildes, ausschließlich für das kombinierte Bild, für den Spezialfall gleichwertig zu behandelnder Wellenlängen sowie allgemeine Optimierung auf vorgegebene Verhältnisse zwischen den verschiedenen SNR. Die theoretischen Erkenntnisse wurden anhand von Experimenten verifiziert, wobei sich – entsprechend den Berechnungen – zeigte, dass die vorgestellte Methode gegenüber der rein sequenziellen Verwendung von kombinierten Aufnahmen und Einzelwellenlängenbildern verbessertes SNR liefert.