

1 EINLEITUNG

1.1 Generelle Bedeutung

Die Akustische Rastermikroskopie (Scanning Acoustic Microscope, SAM) ist eines der jüngeren heute zur Verfügung stehenden mikroskopischen Untersuchungsverfahren. Das erste Mikroskop dieser Art (Scanning Acoustic Microscope, SAM) wurde 1974 von Lemons und Quate [59] entwickelt. Seitdem haben sich verschiedene Variationen dieses Verfahrens zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, aber auch zur Untersuchung von biologischen Weichgeweben und lebenden Zellen etabliert. Hochfrequenzmikroskope sind kommerziell jedoch erst seit Mitte der achtziger Jahre verfügbar und ihre Verbreitung liegt weit unter dem anderer Mikroskopiesysteme. Das in der vorliegenden Arbeit verwendete Mikroskop KSI SAM2000 ist z.B. eines von momentan rund 30 weltweit verkauften Systemen.

Neben der Möglichkeit, optisch undurchsichtige Materialien durchdringen zu können, liegt ein besonderes Potenzial akustischer Wellen in der elastischen Wechselwirkung mit dem von ihr durchsetzten Medium, woraus sich unter geeigneten Umständen dessen elastische Eigenschaften ableiten lassen. Eine der wichtigsten mikroskopischen Methoden für die quantitative Charakterisierung akustischer und elastomechanischer Eigenschaften von Feststoffen ist die Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von RAYLEIGH-Wellen mit Hilfe sogenannter $V(z)$ -Messungen [16]. An Knochengewebe konnte diese Methode bisher jedoch aufgrund dessen komplexer, heterogener Struktur nicht erfolgreich angewendet werden. Es ist zwar ohne weiteres möglich, ein kontrastreiches Abbild einer Knochenoberfläche zu erzeugen, die Schwierigkeit liegt jedoch darin, die verschiedenen zur Bildentstehung beitragenden Faktoren von dem gewünschten, durch variierende Materialeigenschaften hervorgerufenen Kontrast, zu separieren.

Ein wesentlicher Vorteil gegenüber anderen mikromechanischen Untersuchungsverfahren liegt in der zweidimensionalen Abbildung morphologischer Strukturen, wobei Auflösungsvermögen und Abbildungsdimensionen nahezu kontinuierlich an die erforderlichen Bedingungen angepasst werden können.

Die Beurteilung der elastischen Eigenschaften von Knochengewebe ist in verschiedenen Disziplinen von Interesse. Eine Voraussetzung zur dauerhaften und stabilen Verankerung lasttragender Implantate, z.B. Gelenkendoprothesen, ist, dass der angrenzende Knochen zum Zeitpunkt der Implantation mechanisch belastbar ist. Zur Optimierung von Implantatwerkstoffen und Prothesendesign ist insbesondere eine quantitative Charakterisierung der Veränderung der elastischen Eigenschaften durch die Anpassung an veränderte Kraftübertragungsver-

hältnisse notwendig. Daneben liegen bis heute nur vereinzelte Erkenntnisse vor, wie Stoffwechselerkrankungen die mechanische Belastbarkeit des Knochens beeinflussen.

1.2 Spezielle Ziele

Das Ziel dieser Arbeit war, quantitative akustische Mikroskopiemethoden zu entwickeln, mit denen die Charakterisierung der elastischen Eigenschaften der Knochenmikrostruktur möglich wird. Dafür standen am Institut für Medizinische Physik und Biophysik (IMPB) zwei kommerzielle Mikroskope zur Verfügung. Diese sind jedoch primär für qualitative Bildgebungszwecke und semiquantitative Anwendungen, hauptsächlich im Bereich der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung entwickelt worden. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit bestand deshalb in der Untersuchung der Systemübertragungseigenschaften sowie der Modifizierung von Hard- und Software, um eine quantitative, reproduzierbare Untersuchung von Knochen zu ermöglichen. Der zweite Schwerpunkt lag in der Entwicklung von Mess- und Datenverarbeitungsmethoden, mit denen akustische und elastische Parameter abgeleitet werden können. Diese Methoden sollten so weit wie möglich Einflüsse berücksichtigen, die sowohl durch die üblicherweise in der akustischen Rastermikroskopie eingesetzten stark fokussierten sphärischen Schallfelder als auch durch die strukturierte, hierarchische Struktur des Knochens entstehen.

1.3 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden die einzelnen Organisationsebenen des Knochens beschrieben. Kapitel 3 stellt die momentan eingesetzten klinischen Diagnoseverfahren vor. Die Möglichkeiten und Limitationen werden diskutiert. Außerdem gibt dieses Kapitel einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung mit Fokus auf die Charakterisierung der elastischen Eigenschaften von Knochengewebe. Kapitel 4 beschreibt die physikalischen Gesetze der Schallausbreitung und -schwächung sowie prinzipielle Eigenschaften fokussierter Schallfelder. Der letzte Abschnitt dieses Kapitels zeigt die Verknüpfung von akustischen und elastischen Größen in isotropen und anisotropen Materialien. In Kapitel 5 werden der jeweilige Ausgangszustand beider Mikroskope und die vorgenommenen Modifizierungen beschrieben. Die Darstellung der Probenpräparation erfolgt in Kapitel 6. Die Methoden zur quantitativen Knochencharakterisierung sind entsprechend der unterschiedlichen Konzepte und der Art der Datenerfassung in den beiden anschließenden Kapiteln zusammengestellt. Während Kapitel 7 zeitaufgelöste Methoden zur zweidimensionalen Abbildung der akustischen Impedanz und zur gleichzeitigen Bestimmung von Probendicke, akustischen und elastischen Materialkenngrößen im Frequenzbereich bis 100 MHz beschreibt, wird in Kapitel 8 eine Methode zur

quantitativen Bestimmung der akustischen Impedanz unter Berücksichtigung der Oberflächentopographie und der daraus resultierenden Oberflächenneigung bei einer Frequenz von 900 MHz und einer entsprechenden Ortsauflösung von ungefähr einem Mikrometer vorgestellt. Eine zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse sowie einen Ausblick auf die sich aus dieser Arbeit ergebenden Möglichkeiten enthält Kapitel 9.