Charakterisierung der hierarchischen Struktur von Knochen und komplexen synthetischen Materialien

Kurzfassung und Abstract der Habilitationsschrift von Dr. Wolfgang Wagermaier

KURZFASSUNG

Die Zielsetzung der Arbeit umfasst zweierlei: die Erforschung von biologischen Prozessen im Knochen und die Untersuchung von Struktur und Eigenschaften künstlich hergestellter Materialien. Dies erfolgt mit Hilfe von materialwissenschaftlich geprägten Multi-Methoden-Ansätzen mit Röntgenstreuung als zentraler Methode.

Knochen ist ein biologisches Material, das auf Nanometerebene aus in Kollagen eingebetteten Mineralpartikeln besteht und über mehrere hierarchische Ebenen strukturiert ist. Es wurden Mineralisationsprozesse während der Knochenheilung und in Patienten mit Glasknochenkrankheit untersucht sowie die Rolle von im Material eingebetteten Knochenzellen (Osteozyten) erforscht. Durch eine Kombination von konfokaler Mikroskopie und hochauflösender Röntgenstreuung wurde eine aktive Rolle der Osteozyten bei Mineralisationsprozessen identifiziert.

Als Modellsystem der Biomineralisation wurden amorphe Kalziumkarbonat-Mikrolinsen durch einfache Synthese hergestellt und durch Aufheizen in einen thermodynamisch stabileren kristallinen Zustand überführt. Dabei wurde gezeigt, dass (i) ein organisches Tensid den Formationsprozess in der Lösung steuert, (ii) die Kristallisation radial gerichtet abläuft, (iii) thermisch induzierte Spannungen durch Zwillingsbildung in den Kristallen abgebaut werden, wobei dies (iv) zu einem nanokristallinen Material führt, das (v) die optische Funktionalität trotz doppelbrechender Eigenschaften von Kalzit aufrecht erhält.

Mit Hilfe einer maßgefertigten Zugapparatur wurden in-situ Zugversuche an Formgedächtnispolymeren durchgeführt, d.h. während der Formänderung wurde die Polymer-Nanostruktur mit Synchrotron-Röntgenstreuung analysiert. Dabei konnte gezeigt werden, wie Kristallite durch Aufschmelz- und Umordnungsprozesse den Formgedächtniseffekt ermöglichen.

ABSTRACT

The objectives of the present habilitation thesis are two-fold: exploring biological processes in bone and examining structure-property relations in man-made bio-inspired materials. The research is carried out using material-science-based multi-method approaches with X-ray scattering as central method.

Bone is a biological composite material made from nanometer-sized mineral particles embedded in a collagen matrix and exhibits distinct structural features across several hierarchical levels. In the present work, investigations of mineralization processes during bone healing and in patients with brittle bone disease have been carried out. Also the role of cells embedded in the bone matrix (osteocytes) has been elucidated by a combination of confocal microscopy and high-resolution X-ray scattering. An active role of the osteocytes during mineralization processes was identified.

As a model system of biomineralization, amorphous calcium carbonate microlenses were prepared by simple synthesis and converted by heating to a thermodynamically more stable crystalline state. It has been shown that (i) an organic surfactant controls the formation process in the solution, (ii) the crystallization proceeds radially, (iii) thermally induced stresses are reduced by twinning in crystals, which (iv) leads to a nanocrystalline material and (v) the optical functionality is maintained despite the birefringent properties of the underlying calcite.

By using a tailor-made tensile apparatus, in-situ tensile tests were carried out on shape-memory polymers, i.e. during the shape-change the polymer nanostructure was analyzed by synchrotron X-ray scattering. It was possible to describe the shape-memory effect by characterizing the crystallites during melting, crystallization and rearrangement processes.