

Projekt- oder Abschlussarbeit

„Detektion von Anomalien und Defekten in Dentalimplantat-Abutment-Systemen auf Basis räumlicher Bilddaten“

Zielgruppe: Masterstudierende des Kooperationsstudiengang
„Computational Science and Engineering“

Betreuer: Prof. Dr. Evgeny Spodarev (Institut für Stochastik, Universität Ulm)
Prof. Dr.-Ing. Andreas Häger, Prof. Dr. Anja Schmidt, Prof. Dr. Hubert Mantz,
M. Sc. Sude Özcelik (Technische Hochschule Ulm)

Hintergrund:

Nach Schätzungen der Deutsche Gesellschaft für Implantologie im Zahn-, Mund- und Kieferbereich e.V. (DGI) sind allein in Deutschland etwa 25 Mio. Dentalimplantate eingesetzt. Wenngleich dies als sichere Versorgung gilt, kommt es bei einer erheblichen Anzahl dieser Implantate zu entzündlichen Gewebereaktionen, wie der Periimplantitis, die mit Knochenabbau des Kiefers einhergeht und als häufigste Ursache für den Verlust von Zahnersatz gilt. Im Forschungsprojekt „PhInoDent“ sollen die Ausfallursachen, die u.a. im Design der Dentalimplantatsysteme sowie deren Schädigung infolge mechanischer Beanspruchungen (z.B. beim Kauen) liegen können erforscht werden.

Zielsetzung:

Entwicklung einer mathematischen Methode zur Detektion von Defekten und Anomalien, wie z.B. Spalt-/Rissbildung oder plastische Verformung) in montierten und ggf. mechanisch belasteten Dentalimplantatsystemen sowie deren Bewertung hinsichtlich Wahrscheinlichkeit und Ausprägung (Größe, Durchlässigkeit) auf Basis hochauflöster computertomographischer Volumendatensätze.

Herangehensweise:

Für die Erkennung von Anomalien und Defekten in dentalen Implantat-Abutment-Systemen entwickeln wir ein mathematisches Framework, das Bildverarbeitung, geometrische Merkmalsextraktion, stochastische Modellierung und statistische Tests kombiniert. Ziel ist die Identifikation von Mikrorissen, Lunkern und strukturellen Deformationen in hochauflösenden volumetrischen CT-Daten, um eine zuverlässige Defekterkennung und -bewertung zu ermöglichen.

1. Merkmalsextraktion und Vorverarbeitung:
Zunächst werden Kantenstrukturen verstärkt und relevante Merkmale extrahiert, um Defekte vom umgebenden Material abzugrenzen. Ein Hessian-basierter Filter hebt strukturelle Elemente wie dünne Risse, Spalten und verformte Oberflächen hervor. Dieser Filterschritt verbessert die Erkennbarkeit kleinmaßstäblicher Defekte für die nachfolgende Analyse.
2. Geometrische Analyse der Defekte:
Sobald potenzielle Defektbereiche identifiziert sind, erfolgt eine geometrische Analyse des Implantatsystems. Dabei werden lokale Formeigenschaften, Dickenvariationen und die strukturelle Kontinuität untersucht, um Implantatkomponenten von Defekten zu unterscheiden. Die gewonnenen geometrischen Merkmale liefern wesentliche Informationen für die anschließende statistische Modellierung.

3. Stochastische Modellierung und statistische Tests:
Zur mathematischen Beschreibung der Defektverteilung wird eine Zufallsfeldrepräsentation des partitionierten CT-Volumens erstellt, wobei strukturelle Anomalien als statistische Abweichungen von der erwarteten Materialstruktur modelliert werden. Die Detektion signifikanter Defekte erfolgt mittels CUSUM-Statistik, welche lokale Intensitätsschwankungen und strukturelle Unregelmäßigkeiten in verschiedenen Implantatregionen verfolgt. Zusätzlich werden multiple Hypothesentests eingesetzt, um Abhängigkeiten innerhalb der räumlichen Struktur des Implantats zu berücksichtigen und gleichzeitig die Falscherkennungsrate zu reduzieren, wodurch die Erkennungsgenauigkeit gesteigert wird.
4. Validierung und Interpretation:
Abschließend werden die erkannten Defekte hinsichtlich Größe, Ausmaß und potenzieller Auswirkungen auf die Implantatintegrität bewertet. Die Ergebnisse werden durch mechanische Belastungssimulationen und experimentelle Untersuchungen validiert, um eine klinisch relevante Defekterkennung sicherzustellen.

Durch die Kombination von Hessian-basierter Filterung, geometrischer Objektanalyse, stochastischer Modellierung, CUSUM-Statistik und multiplen Hypothesentests bietet dieser Ansatz einen effizienten und statistisch fundierten Rahmen für die Defekterkennung in dentalen Implantatsystemen. Dies trägt zur Früherkennung von Schäden, Qualitätssicherung und Verlängerung der Implantatlebensdauer bei.

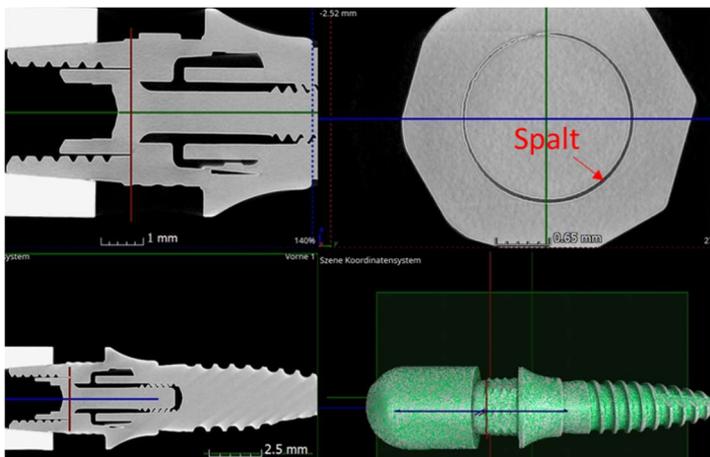


Abbildung: μ CT-Scan eines fertig montierten (Dental)Implantat-Abutment-Systems mit Spaltbildung am Konus der Abutmentschraube (Bildquelle: Forschungsvorhaben „PhInoDent“, Technische Hochschule Ulm)