

## AUTOMATISIERTE KALIBRIERUNG VON PRÜFKÖRPERN FÜR DIE RÖNTGEN-MIKROCOMPUTERTOMOGRAPHIE

### Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Martin Schlüter  
(Fachbereich Technik / i3mainz - Institut für Raum-  
bezogene Informations- und Messtechnik)

### Beteiligte Personen

Kalibriermessungen: Stefan Boes, Torsten Walter,  
Philipp Atorf, Matthias Mayer, Sebastian Kuhlke,  
Jens Grünke  
Automatisierung: Stefan Hauth, Arno Heidelberg,  
Martin Heppe, Kira Zschiesche  
Fotos: Margaritha Vogt

### Laufzeit

Januar 2013, November 2013,  
Januar 2015, 1. März – 31. August 2016,  
Dezember 2018

### Finanzierung

Bruker-microCT, Kontich, Belgien

### Kontakt

i3mainz@hs-mainz.de

### Motivation und Ziele

Die Mikrocomputertomographie ist eine 3D-Röntgen-  
bildgebung. Die Methode entspricht den in Kliniken  
eingesetzten CT-Scans, wobei die vergleichsweise klei-  
neren Systeme der Mikrocomputertomographie eine  
stark erhöhte Auflösung aufweisen. Sie stellen die  
interne Struktur von Objekten zerstörungsfrei als drei-  
dimensionales Bild mit sehr feiner Auflösung dar. Zur  
geometrischen Kalibrierung dieser Tomographen wer-  
den Prüfkörper, sogenannte Phantoms verwendet. Die  
Phantoms bestehen aus einem Kunststoffträger mit  
daran befestigten, spiegelnden, metallischen Kugeln.  
Relevant sind die Raumstrecken zwischen den Kugel-  
mittelpunkten mit einer Genauigkeit im Mikrometer-  
bereich und die Rückführbarkeit auf ein international  
genormtes Längennormal. Die berührungslose Bestim-  
mung der Abstände der Kugelmittelpunkte gelingt  
mittels Industrietheodoliten nach dem Prinzip des  
Vorwärtsschneidens. Die bisher händisch durchge-  
führten Kalibrierungen der Phantoms werden nun  
durch modulare Digitalkameratheodolite auf Basis der  
Motortheodoliten Leica TM5100 automatisiert durch-  
geführt. Mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung wer-  
den auf den spiegelnden, metallischen Kugeln gezielte  
Reflexionen bzw. ihr virtuelles Bild, stützend auf der  
geometrischen Optik, hochgenau bestimmt.



Beispiel eines Phantoms, Bruker microCT

### Aktivitäten

Die modularen Digitalkameratheodolite werden durch exzentrisch am Fernrohr montierte LED-Leuchten erweitert. Diese gezielte Beleuchtung der Kugeln ermöglicht eine automatische Detektion und Zentrumsbestimmung. Das händische Anzielen der Kugelmittelpunkte ist nicht notwendig. Um die automatische Kalibrierung verifizieren zu können, wurde ein Laboraufbau so konzipiert, dass ein zweites unabhängiges Messverfahren angewandt werden konnte. Zusätzlich wurde für die Betrachtung der Wiederholgenauigkeit ein Prüfkörper angefertigt, der eine Veränderung der Lage des Phantoms ermöglicht, ohne den Abstand der Kugeln zueinander zu ändern.

### Ergebnisse

Ende 2018 ersetzt die automatisierte Kalibrierung von Prüfkörpern für Mikrocomputertomographen erfolgreich das bisherige, händische Messverfahren. Die Reflexionen der exzentrischen LEDs werden genutzt, um automatische Theodolitzielungen zur Bestimmung der Kugelabstände vorzunehmen. In der theoretischen und praktischen Betrachtung hatte sich bereits 2016 abgezeichnet, dass die Modellierung alle relevanten systematischen Abweichungen durch das exzentrische Anbringen der LEDs hinsichtlich der präzisen Winkelbestimmung auf die Kugelmittelpunkte wirkungsvoll eliminiert: Das Ergebnis der Verifizierung zeigte einen Streckenunterschied von  $7\mu\text{m}$ . Die wiederholte Messung mit Positionsveränderung des Prüfkörpers zeigte eine erreichte Standardabweichung des Mittelwertes von  $\pm 2\mu\text{m}$ .



Motortheodolit Leica TM5100 mit modularer Kamera und LEDs



Fernrohr mit Kollimationshilfe