

Vorstellung des Projektes CTSimU2 „Realistische Simulation realer Röntgencomputertomografie-Systeme mit basisqualifizierter Simulationssoftware“

Tamara REUTER¹, Christian ABT², Frederic BALLACH³, Markus BARTSCHER⁴,
Carsten BELLON⁵, Fabrício BORGES DE OLIVEIRA⁴, Frank DENNERLEIN⁶,
Patrick FUCHS⁷, Olaf GÜNNEWIG⁸, Tino HAUSOTTE¹, Jonathan HESS⁷,
Stefan KASPERL⁹, Wolfgang KIMMIG¹⁰, Nicole MAASS⁶, Richard SCHIELEIN⁹,
Mirko VON SCHMID⁸, Alexander SUPPES¹¹, Georg WAGNER¹², Christian WATZL¹³,
Florian WOHLGEMUTH², Stefan KASPERL¹⁴

¹ Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-
Nürnberg, Erlangen

² HEITEC PTS GmbH, Kuchen

³ Werth Messtechnik GmbH, Gießen

⁴ Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

⁵ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

⁶ Siemens Healthcare GmbH, Erlangen

⁷ Volume Graphics GmbH, Heidelberg

⁸ diondo GmbH, Hattingen

⁹ Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Entwicklungszentrum Röntgentechnik
EZRT, Fürth

¹⁰ Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, Oberkochen

¹¹ Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Wunstorf

¹² Weidmüller Interface GmbH & Co. KG, Detmold

¹³ Siemens AG, München

¹⁴ Technische Hochschule Georg Simon Ohm, Nürnberg

Kontakt E-Mail: tamara.reuter@fmt.fau.de

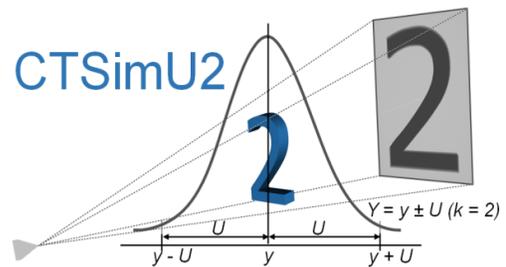
Kurzfassung

Die Entwicklung von Werkzeugen zur realitätsnahen Nachbildung eines industriellen CT-Systems in einer Simulationssoftware ist derzeit Hauptaufgabe des WIPANO Forschungsprojektes CTSimU2 – „Realistische Simulation realer Röntgencomputertomografie - Systeme mit basisqualifizierter Simulationssoftware“. Als Voraussetzung dienen dabei Simulationssoftwares, die durch das Testframework aus dem Vorprojekt CTSimU1 basisqualifiziert wurden. Das Testframework testet die hinreichende physikalische Korrektheit und Funktionalität einer Simulationssoftware (Basisqualifizierung der Software). Für eine realitätsnahe Nachbildung ist nicht nur die Güte der Simulationssoftware, sondern insbesondere die Güte der Parametrisierung des realen CT-



Systems in der Simulationssoftware ausschlaggebend. Dabei kann das Vorgehen der Parametrisierung in vier Schritte unterteilt werden: die Datenaufnahme am realen CT-System (Schritt 1), die Auswertung der aufgenommenen Daten für die Generierung allgemeiner Parameterangaben (Schritt 2), die Übertragung der Parameter in die spezifischen Simulationssoftwares (Schritt 3) und die Validierung der resultierenden Simulationsparameter durch einen geeigneten Test (Schritt 4). Ziel des Projektes ist es daher neben der Erarbeitung eines Werkzeugkastens mit allgemeinen Methoden zur Datenaufnahme und Auswertung der Daten, die Entwicklung eines Tests, auf dessen Basis die ausreichend korrekte Simulation einer realen Anlage beurteilt werden kann. Die erarbeiteten Ergebnisse sollen wie bereits im Vorprojekt CTSimU1 in einen Richtlinienentwurf für die Richtlinienreihe VDI/VDE 2630 übertragen werden. Dieser Beitrag soll einen Überblick über das Projekt und die ersten Ergebnisse geben.

Projektvorstellung



Realistische Simulation realer Röntgencomputertomografie-Systeme mit basisqualifizierter Simulationssoftware

DGZfP-Dachtagung 15. – 17. Mai 2023

Tamara Reuter, et al.



Konsortium

WIPANO-CTSImU2

Forschungspartner:

- Markus Bartscher, **PTB** 
- Fabrício Borges de Oliveira, **PTB**
- Carsten Bellon, **BAM** 
- Tino Hausotte, **FMT**
- Tamara Reuter, **FMT** 
- Stefan Kasperl, **EZRT**
- Richard Schielein, **EZRT** 

Industriepartner

- Mirko von Schmid, Olaf Günnewig, **diondo** 
- Alexander Suppes, Thomas Mayer, **Waygate** 
- Kerstin Kirschbaum, Christian Watzl, **Siemens** 
- Nicole Maass, Frank Dennerlein, **Siemens Healthineers** 
- Patrick Fuchs, Jonathan Hess, **Volume Graphics** 
- Georg Wagner, **Weidmüller** 
- Frederic Ballach, **Werth Messtechnik** 
- Wolfgang Kimmig, **Zeiss** 
- Assoziierter Partner:
- Florian Wohlgemuth, Christian Abt, **HEITEC PTS** 

Es gibt verschiedene Normen und Richtlinien zur Messunsicherheitsbestimmung, aber sie

- ➔ sind durch die Komplexität des CTs nicht umzusetzen
- ➔ beachten nicht die Besonderheiten von CT-Simulationen
- ➔ sind zeit- und ressourcenintensiv



Aufgabenspezifische Messunsicherheitsbestimmung nach GUM Supplement 1
– Verwendung der Monte-Carlo-Methode

ressourcen- und kostensparend

 Kein standardisiertes Verfahren, um

- Simulationssoftware zu qualifizieren,
- digitale Nachbildungen zu qualifizieren und
- am Ende eine dimensionelle Messung mit Unsicherheitsangabe durchzuführen.



CTSimU1

Schritt 1: Testframework zur Überprüfung der Simulationssoftware hinsichtlich der korrekten Nachbildung relevanter physikalischer Effekte und Funktionalitäten

aktuell



CTSimU2

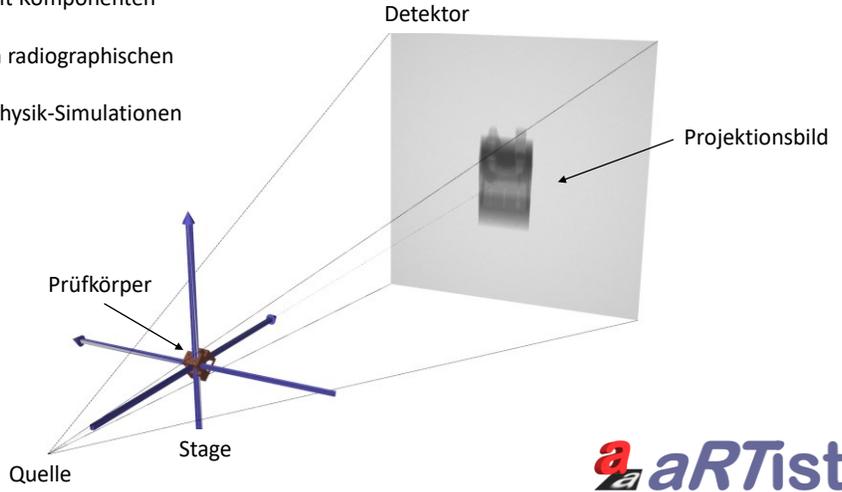
Schritt 2: Werkzeugkasten zur Erstellung eines digitalen Zwillings und Test zur Überprüfung der digitalen Nachbildung

zukünftig

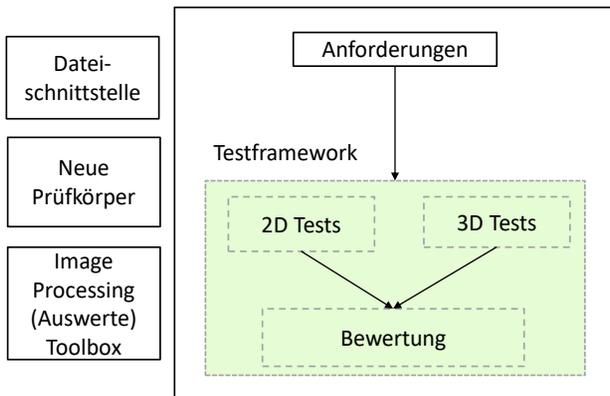


Schritt 3: Bestimmung der aufgabenspezifischen Messunsicherheit mittels Simulation unter Anwendung der Monte-Carlo-Methode

- Nachstellen der Strahlungs-Materie Wechselwirkung
- Nachstellen einer virtuellen Szene mit Komponenten analog zu realem CT-System
- Vorgehensweisen zur Simulation von radiographischen Projektionen:
 - Monte-Carlo-basierte Teilchenphysik-Simulationen
 - Ray-Casting Simulationen



Durchstrahlungssimulation für die Messunsicherheitsbestimmung beim Messen geometrischer Merkmale mittels Röntgen-Computertomografie - Basisqualifizierung von Simulationssoftware



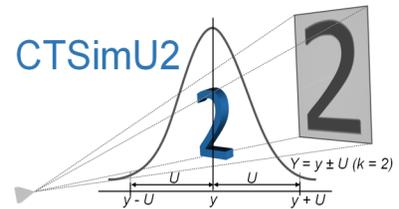
- 2D Tests:
- 10 Szenarien
 - 4 verschiedene Prüfkörper
- 3D Tests:
- 2 Tests
 - 1 Prüfkörper

- CTSimU Auswerte-Toolbox:
- Referenzimplementierung für die 2D Tests
 - Automatisierte Auswertung der 2D Tests
 - Basierend auf Python

Ergebnis: **Richtlinienentwurf für VDI/ VDE 2630 Reihe**

in Bearbeitung des Fachausschusses 4.33. "Computertomografie in der dimensionellen Messtechnik "

Realistische Simulation realer Röntgen-Computertomografie-Systeme mit basisqualifizierter Simulationssoftware

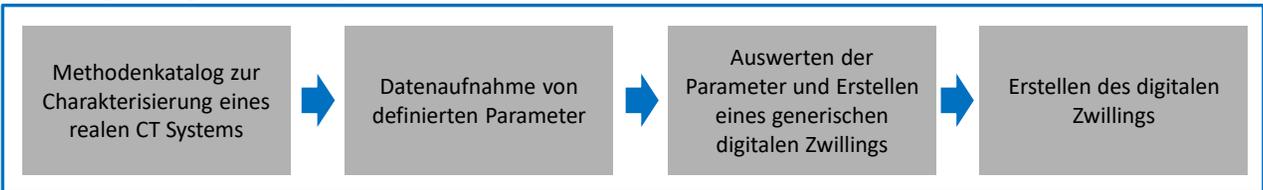


Werkzeugkasten mit Methoden zur Charakterisierung eines realen CT-Systems und Modellierung in der Simulationssoftware

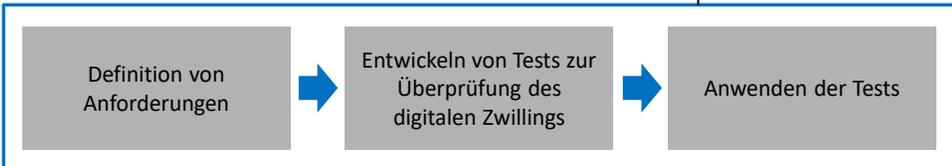
Test zur Überprüfung ob die realistische Nachbildung gut genug zur Durchführung einer dimensionellen Messung ist

Richtlinienentwurf für die VDI/ VDE 2630 Reihe

Erstellung des digitalen Zwillings



Test zur Überprüfung des digitalen Zwillings



Vorstellung der Projektreihe CTSimU



Ziel: Standardisiertes Verfahren zur Bestimmung der Messunsicherheit mittels Simulation

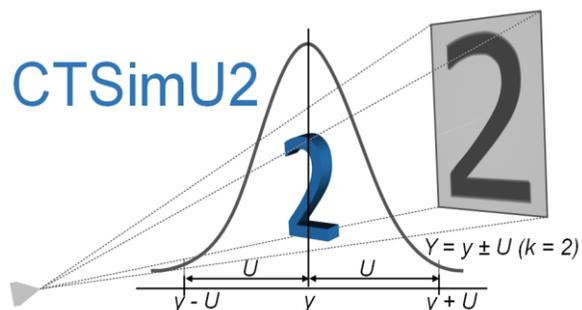


CTSimU1 (2019-2021): Erstellung eines Frameworks zur Basis-Qualifizierung einer Simulationssoftware



CTSimU2 (2022-2024): Entwicklung eines Werkzeugkastens zur Erstellung eines digitalen Zwillings und eines Tests zur Überprüfung von diesem

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Die dargestellten Arbeiten sind im Rahmen des WIPANO-Förderprojektes CTsimU2 (03TN0049A-L) durchgeführt worden. Die [WIPANO-Förderrichtlinie](#) wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz finanziert und vom Projektträger Jülich verwaltet.

WIPANO

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages