

# CTSimU – Durchstrahlungssimulation für die Messunsicherheitsbestimmung beim Messen geometrischer Merkmale mittels Röntgen-Computertomographie

Carsten BELLON<sup>1</sup>, Markus BARTSCHER<sup>2</sup>, Fabian BAUER<sup>3</sup>,  
Fabrício BORGES DE OLIVEIRA<sup>2</sup>, Raoul CHRISTOPH<sup>4</sup>, Matthias FLEßNER<sup>5</sup>,  
Tino HAUSOTTE<sup>6</sup>, Stefan KASPERL<sup>7</sup>, Wolfgang KIMMIG<sup>8</sup>, David PLOTZKI<sup>1</sup>,  
Tamara REUTER<sup>6</sup>, Richard SCHIELEIN<sup>7</sup>, Ingomar SCHMIDT<sup>4</sup>,  
Georg WAGNER<sup>9</sup>, Florian WOHLGEMUTH<sup>6</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin

<sup>2</sup> PTB, Braunschweig

<sup>3</sup> Siemens AG, München

<sup>4</sup> Werth Messtechnik GmbH, Gießen

<sup>5</sup> Volume Graphics GmbH, Heidelberg

<sup>6</sup> Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik, FAU, Erlangen

<sup>7</sup> Fraunhofer IIS, EZRT, Fürth

<sup>8</sup> Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, Oberkochen

<sup>9</sup> Weidmüller Interface, Detmold

Kontakt E-Mail: Carsten.Bellon@bam.de

## Kurzfassung

Die industrielle Röntgen-Computertomographie (CT) ist in der geometrischen Messtechnik die einzige Technologie, die sowohl innen- als auch außenliegende Merkmale eines Werkstücks mit einer Messung zerstörungsfrei messen kann. Die Güte der Messung kann mittels einer dem Messwert beigeordneten Messunsicherheit angegeben werden. Allerdings sind zur Ermittlung der Messunsicherheit für eine Messgröße einer CT-Messung nach Stand der Technik (VDI/VDE 2630 Blatt 2.1) zwanzig Wiederholmessungen an kalibrierten Werkstücken notwendig. Da die Messung mit realen CT-Messgeräten zeit- und kostenintensiv ist, wird analog zur taktilen Koordinatenmesstechnik eine numerische Messunsicherheitsbestimmung durch Simulation angestrebt (vgl. VDI/VDE 2617 Blatt 7, GUM Supplement 1). Die Simulation bietet den Vorteil, dass sie sowohl zeitsparend als auch kosten- und ressourceneffizient ist. Allerdings ist die Zuverlässigkeit der verschiedenen Simulationsumgebungen momentan nicht quantifizierbar. Für eine glaubwürdige Anwendung von Simulationsumgebungen für die Messunsicherheitsbestimmung benötigen Anwender eine Beurteilung derselben – auch um eine Norm- bzw. Richtliniensicherheit in der Praxis sicherzustellen.

Das Ziel dieses Projekts ist es daher, einen Richtlinienentwurf VDI/VDE 2630 Blatt 2.2 „Basisqualifizierung von Softwaresystemen für die Simulation geometrischer Messungen mit Röntgen-Computertomografie“ zu erstellen. Auf dieser Basis soll es möglich sein, die Eignung von Simulationsumgebungen zur Ermittlung der aufgabenspezifischen Messunsicherheit zu bewerten. Dazu wird ein Testframework entwickelt, mit welchem Durchstrahlungssimulationssoftwares basisqualifiziert werden können.

Das Projekt wird in der Förderrichtlinie WIPANO durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.



# CTSimU – Durchstrahlungssimulation für die Messunsicherheitsbestimmung beim Messen geometrischer Merkmale mittels Röntgen-Computertomographie

**C. Bellon<sup>1</sup>, M. Bartscher<sup>2</sup>, F. Bauer<sup>3</sup>, F. Borges de Oliveira<sup>2</sup>, R. Christoph<sup>4</sup>,  
M. Fleißner<sup>5</sup>, T. Hausotte<sup>6</sup>, S. Kasperl<sup>7</sup>, W. Kimmig<sup>8</sup>, D. Plotzki<sup>1</sup>, T. Reuter<sup>6</sup>,  
R. Schielein<sup>7</sup>, I. Schmidt<sup>4</sup>, G. Wagner<sup>9</sup>, F. Wohlgemuth<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> PTB, Braunschweig; <sup>3</sup> Siemens AG, München;

<sup>4</sup> Werth Messtechnik GmbH, Gießen; <sup>5</sup> Volume Graphics GmbH, Heidelberg;

<sup>6</sup> Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik, FAU, Erlangen; <sup>7</sup> Fraunhofer IIS, EZRT, Fürth;

<sup>8</sup> Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, Oberkochen; <sup>9</sup> Weidmüller Interface, Detmold



**Die Durchstrahlungssimulation ermöglicht das Erstellen digitaler Zwillinge von metrologischen CT-Systemen und ist somit ein potentielles Werkzeug zur Bestimmung der Messunsicherheit. Zur Auswahl geeigneter Simulatoren muss deren Zuverlässigkeit bewertet werden. Eine Qualifizierung von Simulatoren mittels technischer Normen schafft darüber hinaus die Voraussetzungen für die industrielle Anwendung.**

## Projekt

Förderrichtlinie: WIPANO, BMWi

Laufzeit: April 2019 – Juli 2021

Koordination: Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg (FAU)

Homepage: <https://www.ctsimu.forschung.fau.de>

## Zielstellung

Basisqualifizierung von CT-Simulationsplattformen (physikalische Durchstrahlungssimulation für  $\mu$ CT und makroskopischer Strukturen) mit dem Fernziel der Messunsicherheitsbestimmung. Wobei die Basisqualifizierung die ausreichend korrekte Simulation relevanter physikalischer Effekte bewertet, aber keine experimentellen Vergleiche beinhaltet.

## Ergebnisse

- Lastenheft (Funktionalität und Effekte)
- Testbeschreibungen
- Auswertetoolbox
- Bewertungsmetrik
- Richtlinienentwurf für VDI/VDE 2630

## Ausblick

WIPANO-Folgeprojekt zur Bewertung eines digitalen Zwillings geplant.

## Testbeschreibung

Definition der Tests mittels dokumentierter JSON-Schnittstelle.

Schlüssel-Wert-Zuordnungen zur Spezifikation u.a. von:

- Material
- Aufnahmegeometrie inkl. Variation
- Quelle
- Detektor
- Aufnahmeparametern

## Auswertetoolbox

Automatisierte Auswertung einzelner Testscenarien für projektionsbasierte Tests.

Zweistufige Vorgehensweise:

- Test grundlegender Funktionalitäten und einzelner Effekte (2D-Test)
- Test auf Basis der dimensionellen Messergebnisse (3D-Test)

## Bewertungsmetrik

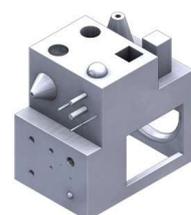
Bewertung der 2D-Tests basierend auf beobachtbaren Abweichungen im 3D-Test.



Sphärischer Stufenkeil für 2D-Test



Lochfolie für 2D-Positionierungstest



Prismatischer Prüfkörper für 3D-Test

## Kontakt:

Dr. Carsten Bellon  
Tel.: +49 30 8104-3658  
E-Mail: [Carsten.Bellon@bam.de](mailto:Carsten.Bellon@bam.de)

Die dargestellten Arbeiten sind im Rahmen des WIPANO-Förderprojektes CTSimU (03TNH026A) durchgeführt worden. Die WIPANO-Förderrichtlinie wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie finanziert und vom Projektträger jülich verwaltet.



Gefördert durch:  
 Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages