

Thermische Simulation der additiven Fertigung von Quarzglas auf Basis eines stabbasierten Verfahrens

F. Fröhlich¹, J. Hildebrand¹, J.P. Bergmann¹, M. Schilling², C. Schütze³

Motivation

In bereits durchgeführten Studien konnte die Umsetzung der additiven Fertigung durch die Interaktion zwischen Laserquelle und Stäben als Direct-Energy-Deposition (DED) Laser demonstriert werden. Das Messprinzip optischer Messverfahren ermöglicht eine Messung der Oberflächentemperatur eines Werkstoffes. Bei metallischen Werkstoffen ist eine Bestimmung der Temperatur im Arbeitspunkt und Werkstoff durch die Wärmeinflusszone und das vorliegende Gefüge nach dem Prozess möglich. Durch die physikalischen Eigenschaften des Messprinzips und den werkstofflichen Eigenschaften von Glas ist lediglich die Messung der Oberflächentemperatur während der additiven Fertigung möglich. Ziel dieser Untersuchung ist die Darstellung der Temperaturverteilung und markanter Temperaturwerte während der additiven Fertigung.

Vorgehensweise

Abbildung 1 zeigt den experimentellen Versuchsaufbau. Der Laser wird senkrecht auf der Probenoberfläche ausgerichtet und der Quarzglasstab (\varnothing 1,2 mm) wird unter einem Winkel zugeführt. Der Interaktionsbereich zwischen Laser und Glasoberfläche hat einen ungefähren Durchmesser von 10 mm.

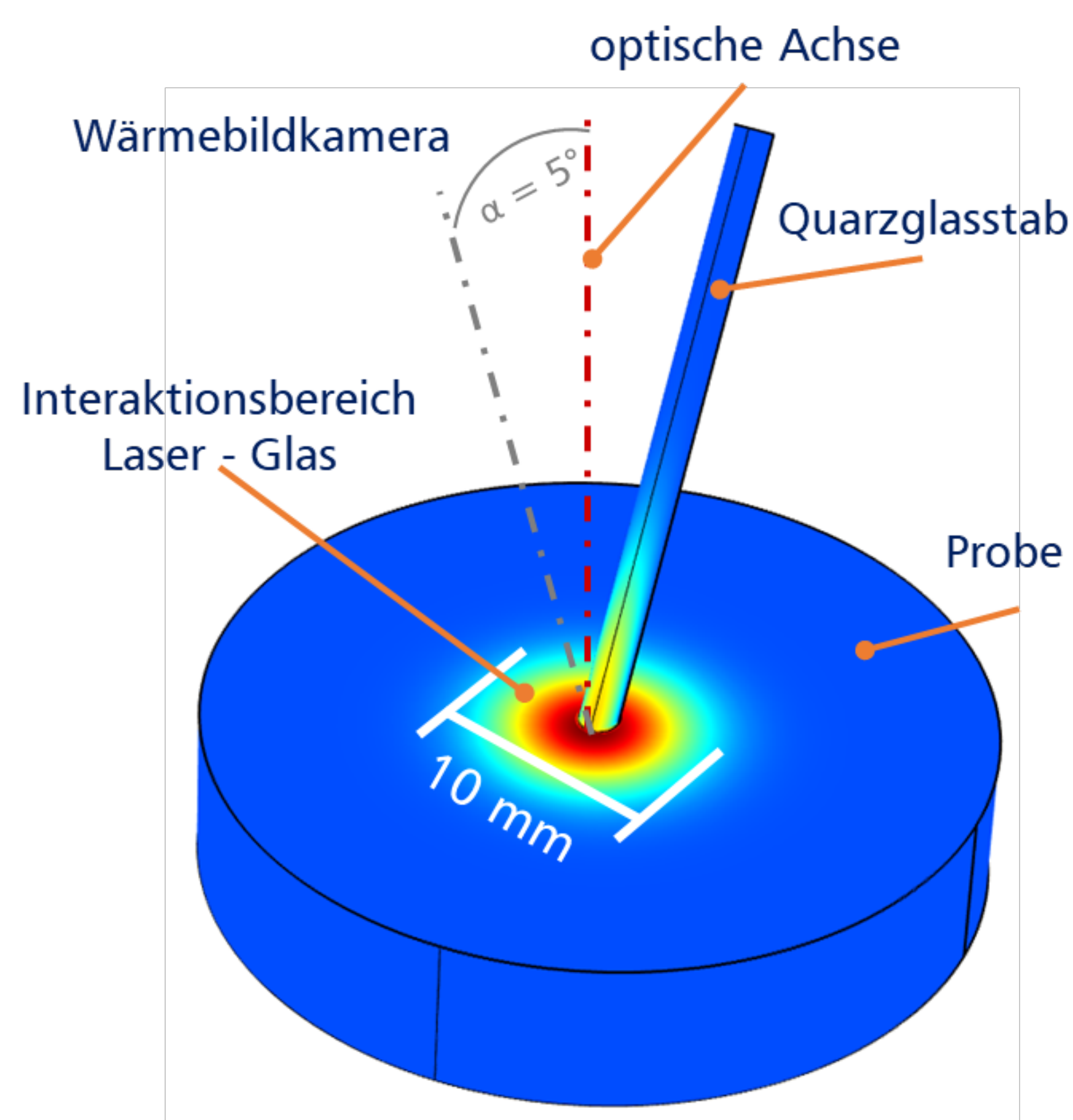


Abb. 1: Skizze des experimentellen Versuchsaufbaus

Die Oberflächentemperatur wurde mit der Thermografiekamera MC320FHT der Firma Lumasense gemessen. Der kalibrierte Messbereich erstreckt sich von 400°C bis 1800°C. Es können maximale Temperaturen bis zu 2100°C gemessen werden mit einer Abweichung, nach Herstellerangaben, von $\pm 2K$ oder 2% der Messgröße. Die thermische Simulation wird in COMSOL Multiphysics 5.6 durchgeführt. Die Geometrie wurde als dreidimensionales Volumenmodell gestaltet (s. Abb. 1). Es stellt den Prozessbeginn dar mit dem Aufheizen und Aufbringen der ersten Lage. Das Strahlprofil und somit die Intensitätsverteilung werden als Gaußsches Strahlprofil angenommen. Die Werkstoffkennwerte (Dichte, Wärmekapazität, Wärmeleitung) sind aus der Literatur entnommen und sind temperaturabhängig im Berechnungsmodell hinterlegt.

Die Vernetzung erfolgt in einem adaptiven Tetraedernetz mit Elementgrößen von 0.0048 mm bis 0.48 mm und erstreckt sich über das gesamte Modell.

Ergebnisse

Die zeitliche Verlauf der gemessenen maximalen Oberflächentemperatur einer Probe bei einer Leistung des Lasers von 100 Watt $\pm 5\%$ ist in Abbildung 2 dargestellt. Ein relativ kleiner Fehler tritt zwischen berechneten und gemessenen Temperaturen auf. Eine Fehlerursache für die Temperaturunterschiede liegt in der Messtechnik. Da ein über die Temperatur konstanter Emissionskoeffizient für Glas festgelegt werden musste. Dennoch lässt sich die maximale Oberflächen-temperatur während des Prozesses gut darstellen. In Abbildung 3 ist die örtliche Temperaturverteilung für den Zeitpunkt $t = 1$ s im Modell dargestellt.

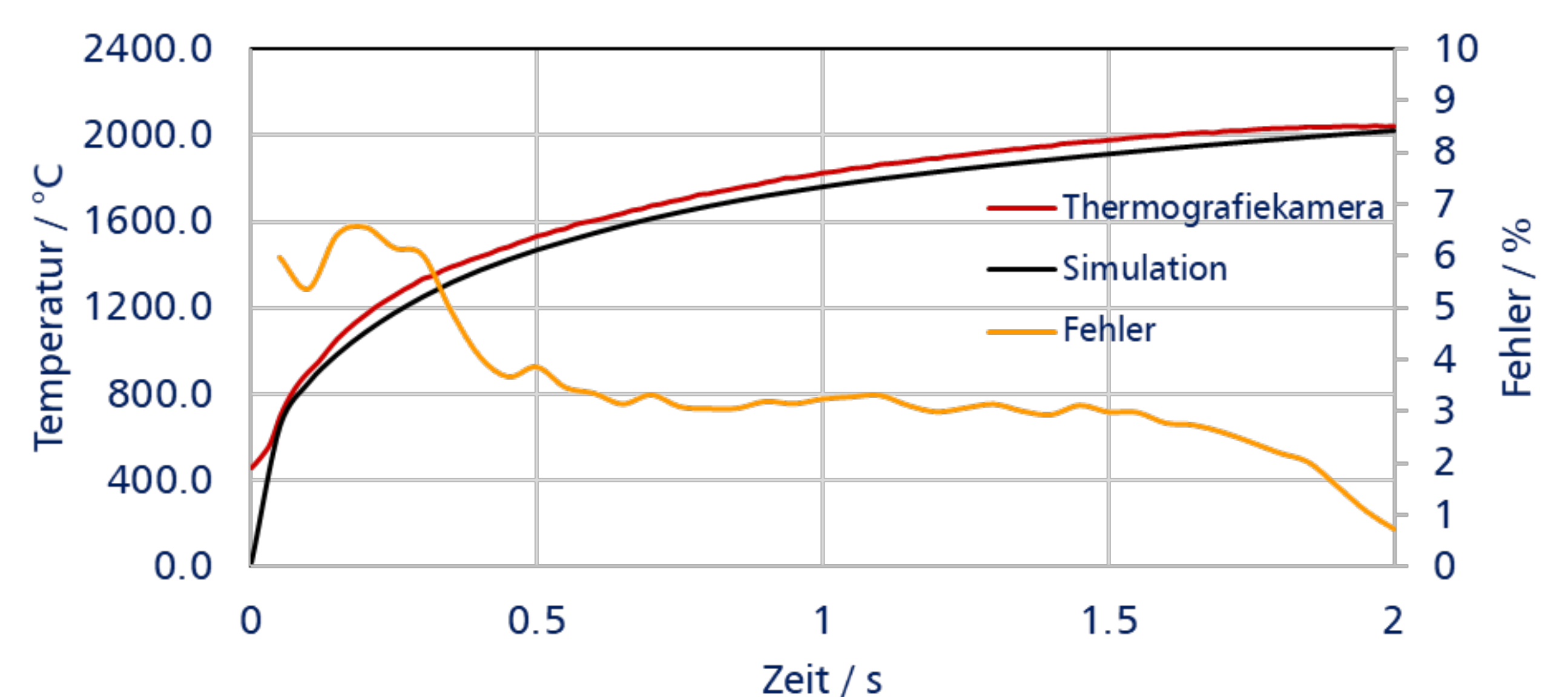


Abb. 2: Darstellung der maximalen Oberflächentemperatur während des Prozesses

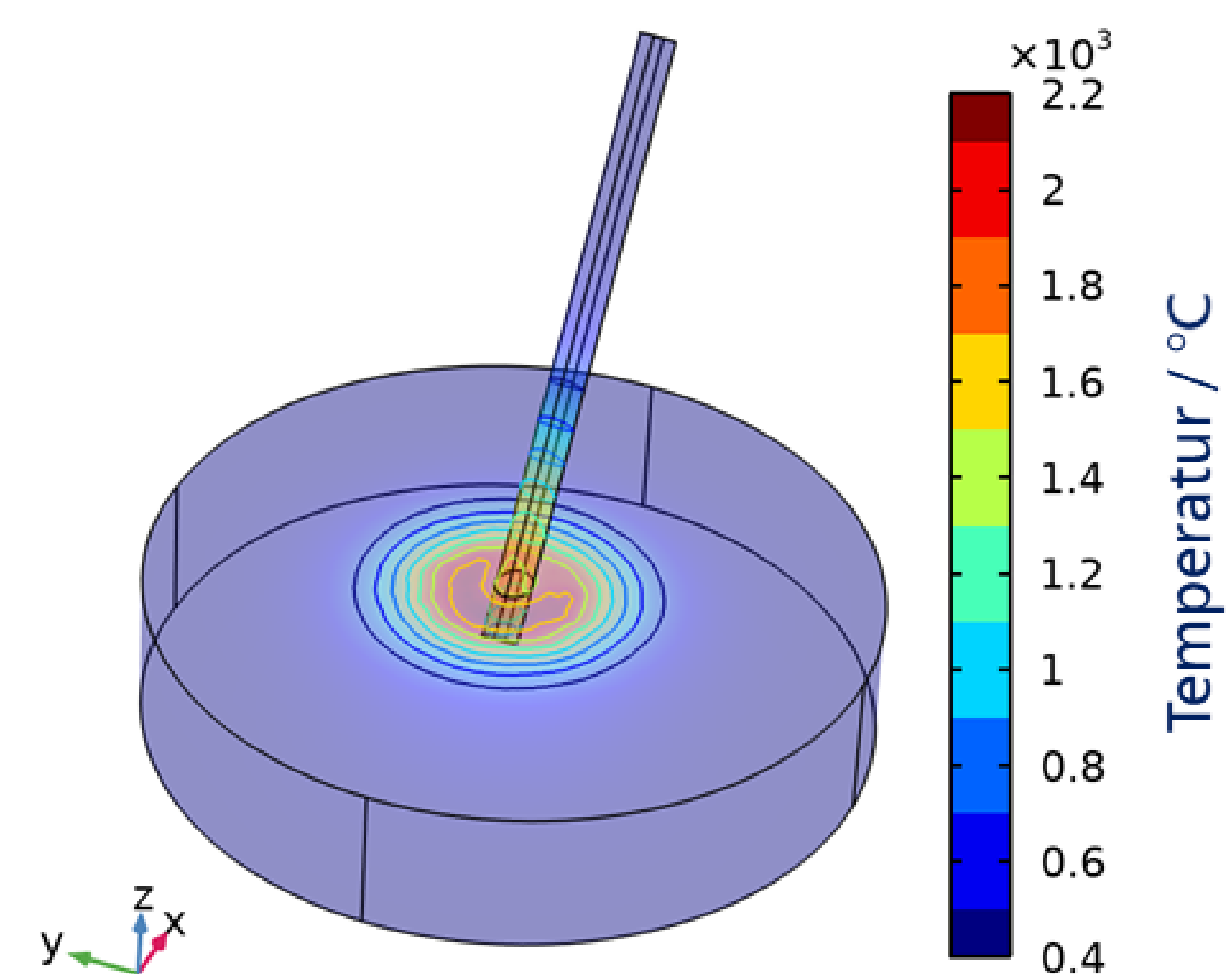


Abb. 2: Darstellung der Temperaturverteilung als Falschfarbenbild mit Isoklinien zum Zeitpunkt $t = 1$ s

Förderungshinweis

Das diesem FuE-Projekt zugrundeliegende Vorhaben wird vom Freistaat Thüringen unter der Nummer 2017 FE 9085 gefördert und durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert.

- 1 Technische Universität Ilmenau, Fakultät Maschinenbau Fachgebiet Fertigungstechnik, Gustav-Kirchhoff-Platz 2, D-98693 Ilmenau
- 2 3D-Schilling GmbH, Mühlenweg 4, D-99706 Sondershausen-Oberspier
- 3 IL Metronic Sensortechnik GmbH, Mittelstraße 33, D-98693 Ilmenau-Unterpörlitz

