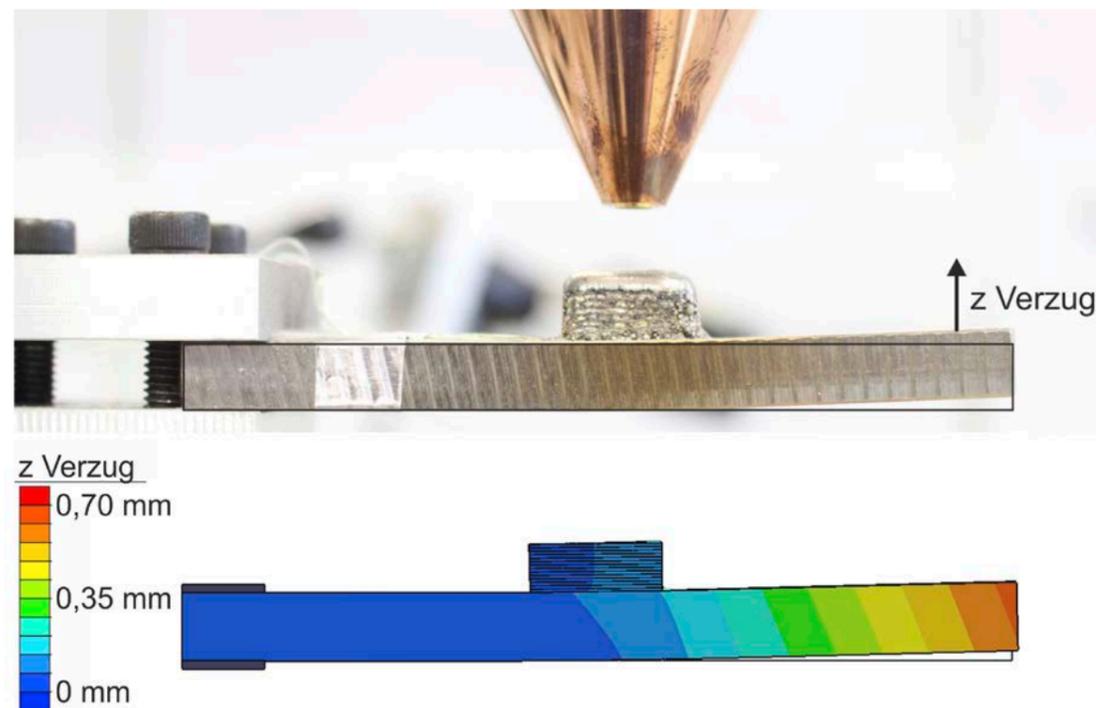


Brücke zwischen Entwurf und Fertigung

Numerische Simulation für additive Prozesse

Die numerische Simulation hilft, Probleme bei additiven Bauprozessen früh zu erkennen und Optimierungspotenziale auszuschöpfen. Ziel der FuE-Arbeiten am Fraunhofer IPK ist es, die Zahl der nötigen Versuche durch Vorhersagen zu verringern und Prozessgrößen wie Wärmeflüsse und Maßabweichungen zu visualisieren. Heute steht die Simulation in der additiven Fertigung noch am Anfang und soll durch anwendungsorientierte Forschung marktreif werden.



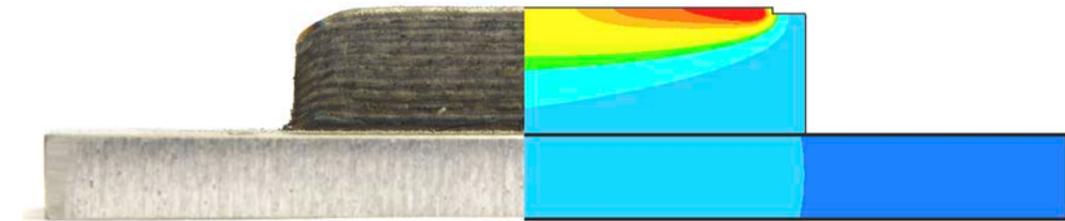
Beispiel für einen starken thermischen Verzug beim Auftragschweißen – sichtbar gemacht mithilfe der numerischen Simulation.

Komplexe Wechselwirkungen zwischen Wärme, Werkstoff und mechanischen Spannungen führen bei der additiven Fertigung zu Verzügen und Eigenspannungen. Vor allem bei großen, detailreichen Bauteilen kann es zu Rissen, Versprödungen, Verdampfung von Legierungselementen und Verfehlung der Toleranzen kommen. Bisher wird die Fertigungsstrategie bei neuen Bauteilen mit Experimenten unter großem Einsatz von Maschinenzeit, Arbeitszeit und Material erprobt. Schlimmstenfalls sind dutzende Versuche nötig, um funktionierende Prozessparameter, die optimale Werkstückausrichtung

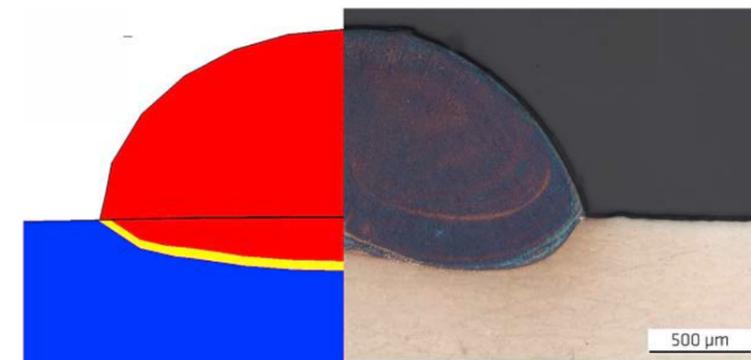
und korrekte Scanpfade zu bestimmen. Die experimentell gewonnenen Ergebnisse sind schwer übertragbar, weil es stark nicht lineare Zusammenhänge zwischen Wärme, Werkstoff und Mechanik gibt: Das heißt, für ein ähnliches Bauteil muss der Versuchsaufwand unter Umständen wiederholt werden.

Deshalb reagiert das Fraunhofer IPK in einer neuen Forschungsinitiative auf den Bedarf für numerische Simulation als Bindeglied zwischen Entwurf und Fertigung: Nur durch eine Weiterentwicklung der Simulationstechnik können in Zukunft komplexe

Bauteile mit steigenden Qualitätsansprüchen und geringem Versuchsaufwand gefertigt werden. Denn wo Transparenz im Prozess erschwert ist und Messungen mit viel Aufwand verbunden sind, erlaubt die Simulation eine umfassende Visualisierung. Nach Belieben kann z. B. die Ausbreitung von Wärme beobachtet werden. Hotspots können so noch vor dem ersten Versuch identifiziert werden. Eine gute Visualisierung hilft bei der Fehlersuche und kann auch als Lehrwerkzeug beispielsweise für die Wahl passender Aufbaustrategien verwendet werden. Außerdem werden Maßabweichungen und



Mithilfe numerischer Simulation lässt sich die Temperaturverteilung beim additiven Auftragschweißen visualisieren.



Der Vergleich des simulierten Querschnitts einer Spur mit experimentellen Querschnitten wird zusammen mit Temperaturmessungen zur Validierung des Simulationsmodells verwendet.

Spannungsentwicklungen durch den thermischen Verzug berechnet, mit deren Hilfe nachfolgende Prozesse bereits im Vorfeld auf Fertigungsabweichungen vorbereitet werden können.

Die numerische Simulation ist im Verbindungsschweißen schon als Werkzeug zur Optimierung und Minimierung von Schweißverzügen und Eigenspannungen etabliert und wird zum Beispiel in der Automobil- und Luftfahrtindustrie eingesetzt. Der volle Umfang einer Struktursimulation ist aus diesen Anwendungen bekannt. Die Wärmeeinbringung ist in der Simulation beweglich und führt zu einem Materialauftrag. Temperaturabhängige Werkstoffkennwerte finden Verwendung, um die Wärmeausbreitung sowie mechanische Größen wie Eigenspannungen und Verzug zu berechnen. Alle Ergebnisse sind abhängig von der Bauteilgeometrie, der Wärmeverteilung im Prozess und Randbedingungen wie Einspannung und Kühlung.

Neu ist, dass in der additiven Fertigung viel längere »Schweißpfade« nötig sind, um ein Bauteil aufzubauen. Im Verbindungsschweißen werden selbst bei Industrieteilen nur einige Meter geschweißt, während

bei Verfahren wie Selective Laser Melting (SLM) kilometerlange Mikroschweißnähte benötigt werden. Die additive Anwendung des Laser-Pulver-Auftragschweißens (LPA) bietet sich aufgrund der größeren Spuren für erste Untersuchungen in der Simulation an, weil die Schweißnähtlänge zumindest in derselben Größenordnung wie beim etablierten Verbindungsschweißen ist. Die Länge der Nähte und die Bauteilgröße stellen besondere Herausforderungen an die Rechentechnik. Hohe Temperaturanstiege und -abfälle am Bauteil müssen vom Computer genau abgebildet werden, um die Entwicklungen des Bauteils berechnen zu können. Außerdem muss sichergestellt werden, dass komplizierte, schichtweise Scanstrategien in der Simulation umgesetzt werden können, um das Bauteil stückweise wachsen zu lassen. All diese Probleme gibt es im Verbindungsschweißen nicht und so sind innovative Lösungen gefordert.

Ziel der FuE-Aktivitäten am Fraunhofer IPK ist es, die Simulation der additiven Fertigung zunächst an kleinen Bauteilen zu validieren und anschließend auf komplexe, industrierelevante Modelle zu übertragen. Der Vorteil für Anwender liegt auf der Hand: Mit der Marktreife der numerischen Simulation wird

sich die Zeit zwischen Entwurf und fertigem Teil verkürzen, weil (Fehl)Versuche vermieden werden. Durch die Identifikation idealer Aufbaustrategien vor dem ersten Versuch verringern sich Anlagen- und Materialkosten. Die Ergebnisse einer Simulation erlauben immer eine gute Visualisierung, mit deren Hilfe sich Neulinge schnell einarbeiten und Profis aus Fehlern lernen können. Die Forscher am Fraunhofer IPK wollen die Simulation zum fehlenden Bindeglied zwischen Entwurf und Fertigung entwickeln und mit numerischen Methoden die Wettbewerbsfähigkeit der additiven Fertigung verbessern. ■

Ihr Ansprechpartner

Max Biegler

Telefon: +49 30 39006-404

max.biegler@ipk.fraunhofer.de