

The logo for TWIN is centered on the page. It features a stylized letter 'T' composed of blue and green circuit traces, enclosed within a black square frame. To the right of this frame, the word 'TWIN' is written in a bold, black, sans-serif font. The entire logo is set against a background of white, 3D-rendered geometric shapes that resemble a honeycomb or a series of interconnected cubes, creating a sense of depth and modernity.

TWIN

Transformation komplexer Produkt- entstehungsprozesse in wissensbasierte Services für die generative Fertigung



Das Projekt
im Web.



1 PROJEKTERGEBNIS

// Problem

Die virtuelle Entwicklungs-, Test- und Optimierungslandschaft komplexer Produkte und Prozesse bildet die Grundlage moderner Produktionsprozesse. Zukünftig werden Komponenten und Operationen unter Nutzung simulierter Software-Modelle abgebildet – ein sogenannter digitaler Zwilling. Digitale Zwillinge sind virtuelle Abbilder von Produkten, Maschinen, Prozessen oder ganzen Produktionsstrecken. Sie enthalten alle benötigten Daten und Simulationsmodelle, um einen Prozess abzubilden.

Durch das Einbinden von Multi-Physik-Simulationsmodellen, Sensoren, Datenanalysen und Machine-Learning können digitale Zwillinge auch Design-Änderungen, Anwendungsszenarien, Umweltauswirkungen und ähnliche Variablen abbilden. Echte Prototypen benötigen dann weniger Entwicklungsaufwand und Produkte können individueller und besser entworfen, kostengünstiger, langlebiger und umweltfreundlicher erstellt werden.

// Lösung

Das TWIN-Projekt erfasst Daten aus unterschiedlichsten Quellen und allen Stufen des Produktionszyklus, um ein vollständiges Bild der Additiven Fertigung (engl. „Additive Manufacturing“, AM) zu erzeugen. Dies geschieht durch sogenannte „Smart Services“.

Als Anwendungsbeispiel wurde die Herstellung einer Turbinenschaufel betrachtet. Im ersten Schritt wird ein Miniatur-Modell erstellt, vom Kunden in Eignungstests (bspw. aerodynamisch) geprüft und iterativ in Zusammenarbeit mit Fertigungs-Expert:innen angepasst. Ein erster Smart Service umfasst die Dokumentation dieses Prozesses. Anschließend werden geeignete Prozessparameter (Laserleistung etc.) ermittelt, um die Turbinenschaufel mit einem Metall-Drucker und in produktiver Skalierung herzustellen. Zu diesem Zweck werden Sensordaten erfasst, visualisiert und bei Druckproblemen nachträglich ausgewertet. Im letzten Schritt wird die Turbinenschaufel unter Beachtung spezifischer Qualitätskriterien (bspw. minimale Abweichungen an den Lamellen) gedruckt.

Hierzu stehen weitere Smart Services für die automatische Erkennung von Auffälligkeiten in der Bauteilgeometrie und im Maschinenverschleiß bereit.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die TWIN-Plattform mit den Stufen im Zyklus. Auf diese Weise entstanden KI-Services, welche den Produktionsablauf mittel- und langfristig verbessern, günstiger, transparenter und sicherer machen.

In der Planungsphase stehen Kund:innenspezifikationen und das Erstellen der bestmöglichen Fertigungsstrategie anhand von STL-Druckdateien, Auftragsvereinbarungen, Planungsprotokollen, aber auch Entwürfen im Fokus. Dies wird in internen Wissensdatenbanken (bspw. Wikis) dokumentiert.

Für das Prototyping stehen im zweiten Schritt vorab manuell optimierte Produktionsdaten (bspw. Material- und Fertigungsvorgaben) zur Verfügung. Ziel ist es nun,

optimale Prozessparameter für eine spätere Serienfertigung innerhalb eines „rapid prototyping“ zu ermitteln. TWIN erfasst anfallende Daten, wie Sensor-Logs und Qualitätsbewertungen, und wendet sie zur Prozessoptimierung (bspw. Anomaliedetektion) an.

Nach der iterativen Prozessentwicklung folgt Phase 3: die Produktion. In dieser werden die angeforderten Bauteile in Serie hergestellt. TWIN dokumentiert dabei wichtige Prozessgrößen und die Bauteilbeschaffenheit. Dadurch können insbesondere spätere Fehlerfälle auf ihren genauen Entstehungszeitpunkt untersucht und gegebenenfalls vermieden werden.

Im letzten Schritt, der Etablierung, gilt es, das Qualitätslevel der initialen Produktion langfristig sicherzustellen. TWIN integriert hier verschiedene automatische und datengetriebene KI-Pipelines zur Qualitätskontrolle, unter anderem eine Prognose der künftigen Wärmeprofile und eine Fehlererkennung in AM-Prozessen.

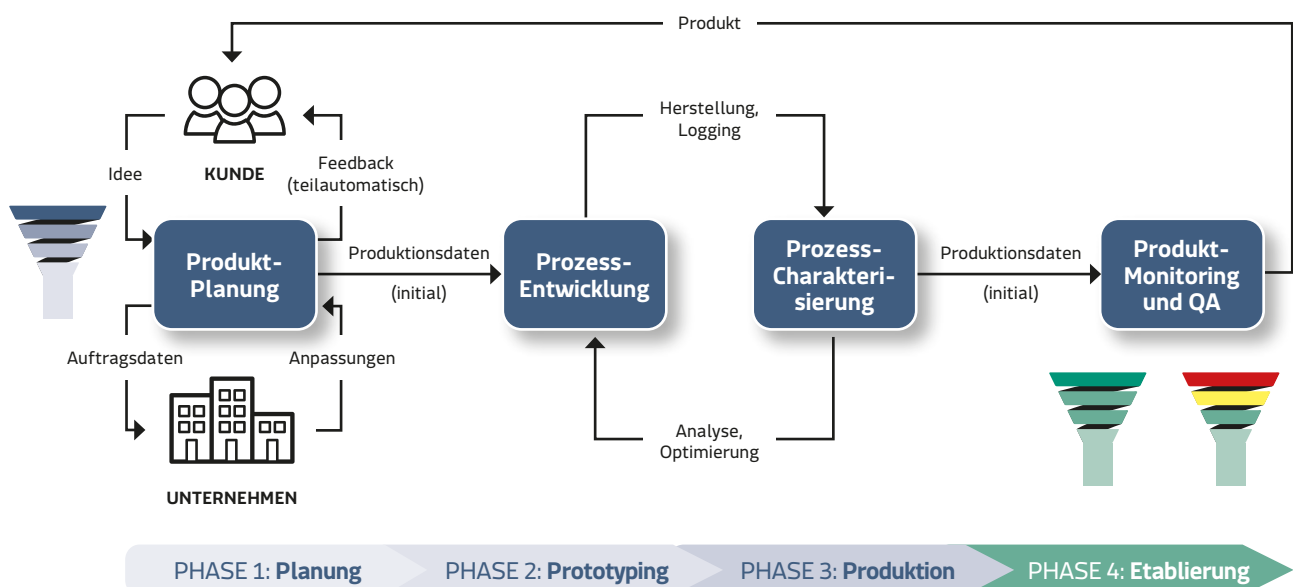


Abbildung 1: Überblick TWIN-Plattform



// Potenzial

Mit TWIN ist eine Referenzarchitektur für die Integration intelligenter Services im industriellen Umfeld des AM geschaffen worden. Auf Anwender:innenseite werden Daten nun automatisch erhoben und prozessiert – vom Beginn eines Produktionszyklus in der Planung bis zur langfristigen Qualitätssicherung und Serienfertigung.

Auf diese Weise wird Expert:innenpersonal bei wiederkehrenden Problemen wie dem Prüfen von Werkstücken entlastet und gewinnt Zeit für wichtigere Aufgaben. Ebenso werden Flüchtigkeitsfehler minimiert und eine breite Wissensbasis durch den transparenten Einblick in historische Daten geschaffen.

Davon profitieren besonders neue Mitarbeiter:innen. Neben den Einsparungen an personellen Kosten und Material (durch vermiedene Fehldrucke) bildet die umfängliche digitale Abbildung der Prozesskette auch die Möglichkeit, neue Anwendungsszenarien für eine KI-Automatisierung zu erschließen und die Fertigungsprozesse sowie deren Probleme tiefer zu verstehen.

Hier können neue Geschäftsfelder entstehen und Kund:innen durch stetig steigende Qualität gewonnen/gebunden werden.

2 SPOT ON

// TWIN Facts





Carmen Ahnert,
Geschäftsführerin der CPT Präzisionstechnik GmbH

Was war für Sie die größte Herausforderung im Projekt TWIN?

In unseren Fertigungstechnologien spielte der 3D-Druck im Vorfeld des Themas nur eine untergeordnete Rolle – der Kauf und die Einführung von 3D-Druckern war als Spielwiese für unsere Technologen und zum Kennenlernen vor allem auch für unsere Auszubildenden gedacht. Schnell wurde das enorme Potenzial erkannt. Wir konnten Ansichtsmodelle als Unterstützung für Konstrukteure drucken, vor allem für die Automatisierung unserer eigenen Fertigungsprozesse entstand ein sehr kreatives Denken und ein vielfältiges Ausprobieren.

So wurden sehr schnell 74 der verschiedensten Druck-Geometrien „gebaut“. Die große Herausforderung bestand darin, die Menge an Daten, sowohl technische Parameter als auch subjektive Faktoren (u.a. Aussehen, Stütz-Geometrien, vorzeitiger Druck-Abbruch), pro Bauteil zu analysieren, zu bewerten und in eine Struktur zu bringen. Die Daten wurden in unser bestehendes ERP-System integriert. Dies war die Grundlage für Simulationen und Prozessüberwachung in Echtzeit.

Kurz vor Ende des Projekts: Welche Ideen und Verbesserungen konnten Sie für Ihr Unternehmen mitnehmen?

Die Ergebnisse der Echtzeitüberwachungen und auch der Simulationen von Technologien können auf alle Prozesse in der Firma übertragen werden.

Im Fokus stehen dabei im zukünftigen Projektmanagement die Bereiche der Kalkulation (Zeichnungserkennung), Werkzeugüberwachung an CNC-Maschinen, der Simulierung von Frästechnologien und der besseren Überwachung von Qualitätssicherungsprozessen. Es wurde erkannt, dass in allen Bereichen dadurch Automatisierungslösungen schnell weiter implementiert werden können (erste Anlagen laufen weitestgehend autark).

Zukünftig soll mit den Simulationen und Echtzeitüberwachungen auch eine Einflussnahme auf die Arbeitszeitmodelle (Ziel: Wegfall der Nachtschichten) erreicht werden.

Durch die großen Datenmengen, die aus den unterschiedlichsten Quellen heraus anfallen, wird die Entwicklung bzw. der Einsatz von KI-basierten „Smart Services“ immer interessanter. Sowohl für Fertigungsprozesse als auch für zukünftige Arbeitszeitmodelle sehen wir bei CPT ein großes Entwicklungspotenzial hinsichtlich des Einsatzes von Simulationen in Form von digitalen Zwillingen.

Das heißt, TWIN hat ihren „Kurs“ spürbar beeinflusst. Welche Hürden werden als nächstes genommen?

Das Auffinden von Trends in den Datenansammlungen erfordert die Entwicklung von Algorithmen; dazu wird weiter Unterstützung benötigt. Maschinensteuerungen sind, so wie sie vom Hersteller kommen, oft nicht extern zugänglich. Das ist ein derzeit noch ein großes Problem beim Überwachen der Fertigungsprozesse in CNC-Maschinen.

Eine Entlastung der Mitarbeitenden konnte schon erreicht werden durch die konsequente Entwicklung der Wissensbasis. Im Bereich der Nachbearbeitung – Strahlen/Oberflächenfinish sowohl von 3D-Druck-Bauteilen als auch von gefrästen Bauteilen – konnte durch neu konfigurierte Aufnahmen/Vorrichtungen eine prozesssichere, wiederholgenaue Fertigung erreicht werden. Durch die Automatisierung und die Simulation über den digitalen Zwilling wurden Mitarbeitende von anstrengenden Strahlarbeiten (auch Entfernen der Stützgewebe) entlastet. Ein weiterer wesentlicher Punkt ist, dass ganz einfach Zeit für

Prozesse, die ansonsten in der Realität abgebildet bzw. getestet werden müssen, eingespart wird.

In der weiteren, zukünftigen Entlastung der Mitarbeitenden (effizienter, weniger eintönig) und einer automatisierten Produktion sehen wir die größten Chancen für die Zukunft unserer Fertigung und das Zukunftsmodell / die Strategie unseres Unternehmens. Als Folge der Bearbeitung des Themas „TWIN“ wurde herauskristallisiert, dass die Einführung eines Manufacturing Execution System (MES) am besten geeignet ist, unsere Komplexität und Kompliziertheit in den Prozessen zukunftssicher darzustellen.

Digitale Zwillinge werden zum Standard in der Produktion werden.



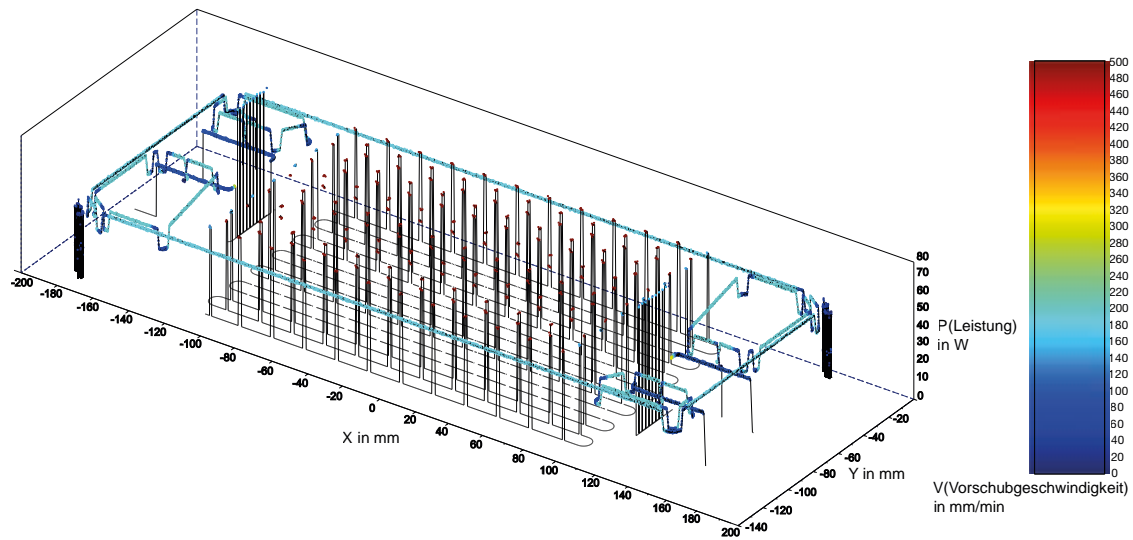
Thomas Kimme,
Geschäftsführer bei Laservorm

Laserschweiß- und Druckprozesse erfordern ein hohes Maß an Erfahrung, allein schon aufgrund der Parametrisierung. Inwiefern hat Ihnen die Implementierung detaillierter Sensor-Logs geholfen, Ihr Wissen zu erweitern oder zumindest besser zu vermitteln?

Im TWIN-Vorhaben wurde eine komfortable Parametrisierungslösung erarbeitet. Der Nutzer kann nun selbst und individuell festlegen, welche Parameter in welchen Zeitscheiben und -fenstern mitgeschrieben werden. Damit lässt sich das Tracing effektiv auf den Anwendungszweck anpassen und hilft z.B. dabei, Prozesse zu dokumentieren, besser zu verstehen und zu kontrollieren. Bereits früh im Projekt wurde an einem laufenden Fertigungsprozess, dem Schweißen von Bipolarplatten, das Hochleistungs-tracing und die nahezu in Echtzeit erfolgte Datenübermittlung an die TWIN-Backend-Plattform erfolgreich belegt.

Restriktiv wirkte dabei lediglich die Verbindungsgeschwindigkeit der Internetleitung, welche durch die Nutzung geeigneter Pufferlösungen relativiert wurde. Dieser nahtlose Transfer der Daten bietet die optimale Grundlage zur KI-gestützten Analyse der Daten. Auf der Maschinen-seite wurden damit die Voraussetzungen geschaffen, um KI-gestützt in Echtzeit auf Schwankungen in der Produktion zu reagieren und frühzeitig einer Fehlerentstehung entgegenzuwirken. Es können damit gleichfalls maschinenintegrierte, lokal gehostete oder plattformbasierte Lösungen realisiert werden.





Grafische Darstellung der Loggingdaten mit Werkstückkoordinatenbezug am Beispiel Hochgeschwindigkeitsfügen von Bipolarplatten für Brennstoffzellen. Hier kann man sehr gut die Geschwindigkeitseinbrüche an den Unstetigkeitsstellen und die damit einhergehende Drosselung der Laserleistung erkennen.

Wo sehen Sie die im Vorhaben erarbeiteten wirtschaftlichen Potenziale für Ihr Unternehmen?

Mit dem gleichzeitigen Ausbau unseres klassischen Remote-Service-Angebots für Reparaturen hin zu einer umfassenden Remote-Unterstützung sind wir heute in der Lage, auch effektive Hilfe bei der Technologieentwicklung

oder der Produktionsoptimierung – z.B. unter Nutzung der Loggingfunktionen – anzubieten und damit neue Geschäftsfelder für unseren Unternehmensbereich Service zu erschließen.



Als TWIN-Versuchsstand genutzte 5-Achs-Laseranlage LV Midi mit integriertem Datenlogger (LV Tracing) zum Laserauftragschweißen mit Pulver (LPA)



Markus Bauer,
Institut für Angewandte Informatik (InfAI)

Und was waren die größten Fallstricke?

Die Tatsache, dass man nicht ohne Weiteres an Labels ran- kommt. Sehr viele Daten liegen ohne Annotation vor und das geht gar nicht anders, wenn man bedenkt, dass hier zum Teil Zehntausende Sensor-Logs pro Messung anfallen. Um hier voranzukommen, muss man Algorithmen entwerfen, die einem bereits beim Auffinden von Trends in Daten hilft. Für Bilddaten kann das echt anstrengend sein, aber ich denke, wir haben da einen guten Weg gefunden.

Obendrein muss man sehr darauf achten, dass die gesamte Übertragungskette schnell genug arbeitet, oft muss im Bereich von Millisekunden reagiert werden. Da muss man dann auch über Lösungen sprechen, wie man die KI-Modelle aus der Cloud auf einem lokalen Medium zum Laufen kriegt – und zwar automatisiert.



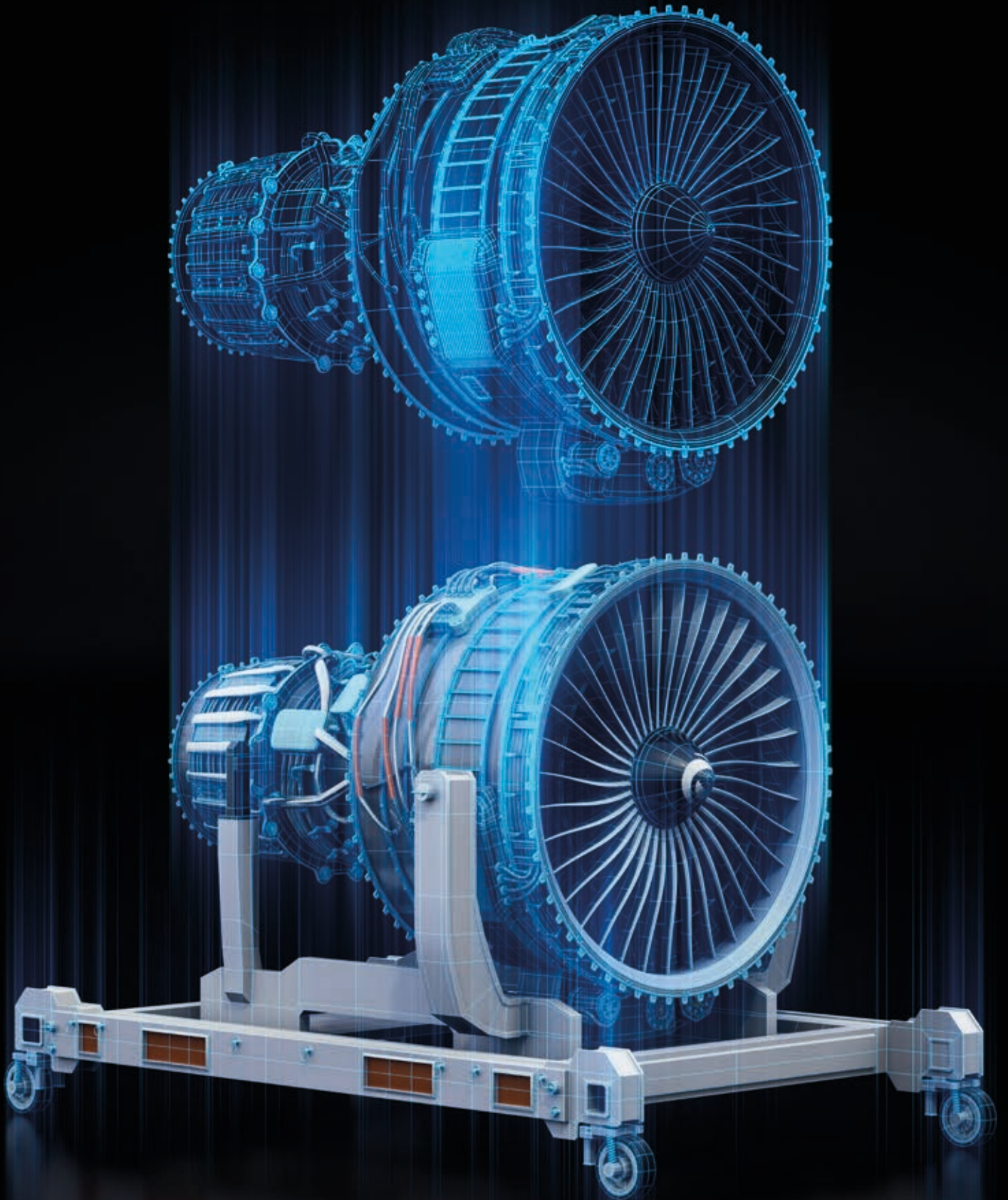
Martin Schäfer,
Technical Project Management bei der Siemens AG

3D-Druckprozesse können ja nicht nur schwer hinsichtlich Qualitätsvorgaben zu kontrollieren sein, sie nehmen auch viel Druckzeit in Anspruch. Das im Hinterkopf: Wie hat der Einsatz eines digitalen Zwillings Sie und Ihre Kollegen entlastet?

Die Überwachung des Bau-Prozesses wird durch die Monitoring-Konzepte sehr erleichtert. Das Wissen und die Einschätzung des Pulverauftrags und der Pulveraufschmelzung werden nun massiv durch die Auswertung der optischen Daten unterstützt. Die Bedienenden haben jetzt objektive Hilfsmittel an der Hand, den Fertigungsprozess hinsichtlich der Qualität besser einzuschätzen. Ferner hilft die ausführliche Dokumentation bei der Bauteil- und Prozessanalyse. Fehler können inzwischen zeit- und ortsbezogen zugeordnet und direkt mit den gegebenen, eventuell abweichenden Parametern abgeglichen werden.

Ein weiterer Aspekt ist die Wartung. Durch die gewonnenen Erkenntnisse können Hinweise auf mögliche Ausfälle und Maschinenfehler erkannt und Wartungszyklen und Stillstandszeiten optimiert, Wartungs- und Instandhaltungskosten minimiert werden.







Benjamin Uhrich,
Junior Scientist an der Universität Leipzig (ScaDS.AI)

Im Gegensatz zu vielen anderen KI-Anwendungsfällen gestaltet sich die Modellierung im AM-Bereich aufgrund der hohen Komplexität der Prozesse oft deutlich schwieriger. Inwiefern hilft uns physikalisches Wissen weiter, um diese Lücke zu schließen?

Prozesse dieser Art sind genau erforscht und lassen sich in Form von partiellen Differentialgleichungen mathematisch beschreiben. Derartige Gleichungen können die zugrunde liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge abbilden. Es besteht die Möglichkeit, solche Formulierungen von Naturgesetzen in KI-Modelle zu integrieren. Das hilft dabei, die ablaufenden Prozesse besser zu verstehen.

Insbesondere die Modellierung des Wärmetransports resultierend aus den Schmelzvorgängen als Haupteinflussfaktor für die Bauteilqualität trägt zu einem besseren Gesamtverständnis bei und ist ein wertvoller Bestandteil eines digitalen Zwillings für die additive Fertigung.

Sich wiederholende Aufheiz- und Abkühlzyklen setzen die zu produzierenden Bauteile nahezu dauerhaft unter Stress, weshalb eine Modellierung und Simulation für die Optimierung des Produkts als Kernobjekt des digitalen Zwillings unverzichtbar ist.

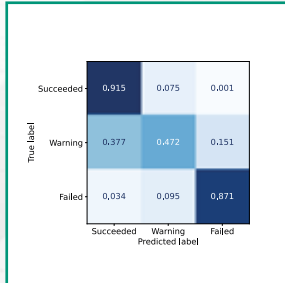
Zudem lassen sich auf diese Art zeit- und kostenintensive Experimente reduzieren und die Vorhersagegenauigkeit von KI-Modellen erhöhen.

Welche Ausstattung benötigt man für ein solches Vorhaben?

Prinzipiell sind Simulationen, insbesondere in Hyperräumen, immer mit hohen Rechenressourcen verbunden. Das Trainieren künstlicher neuronaler Netze erfordert ebenso einen hohen Rechenaufwand. Aufgrund der stark reduzierten Datenmenge durch die Integration von Wissen über die physikalischen Zusammenhänge kann die Rechenzeit im Vergleich zu klassischen Deep-Learning-Algorithmen verringert werden.

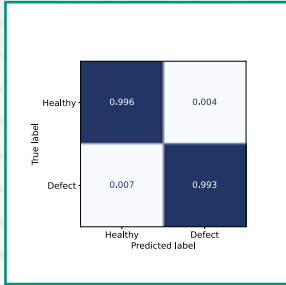
Trotzdem ist Hochleistungsrechnen mit effizienten Grafikprozessoren notwendig, um solche Simulationen und Vorhersagen in vertretbarer Zeit zu berechnen, sodass Diagnosen und Überwachungen während des Druckprozesses möglich sind.





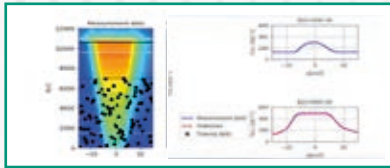
Um Fehler im Produktionsprozess schnell und automatisiert zu erkennen, wurden mehrere Testbauteile gefertigt und begleitend gefilmt. Anhand der einzelnen Videoframes wurde ein KI-Modell trainiert, um Fehler zu erkennen. Der zugehörige Smart Service erlaubt eine Fehlererkennung bereits 50 bis 100 Schichten, bevor irreparable Schäden eintreten.

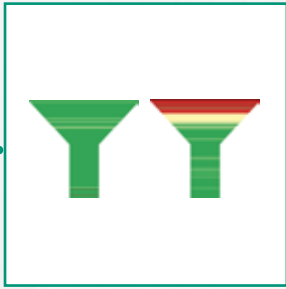
LBBF Error Detection



Machine Fault Prediction

Um einen reibungslosen Produktionsablauf zu garantieren, müssen Schäden und Verunreinigungen der Maschinen früh erkannt werden. Der Fault-Prediction Smart Service erlaubt das Erkennen von Fehlerzuständen wie verschmutzten Schutzgläsern im IWS-Coax4.0-Druckkopf. Die Modelle werden FPGA-basiert Hardware-nah und in Echtzeit ausgeführt.





Zeit	Position	Temperatur	Druck	Leistung	Wärme	Wärme	Wärme	Wärme
00:00:00	100.0	21.0	20.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
00:00:01	100.0	21.0	20.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
00:00:02	100.0	21.0	20.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
00:00:03	100.0	21.0	20.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
00:00:04	100.0	21.0	20.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
00:00:05	100.0	21.0	20.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

Um Produktionsprozesse technisch besser zu verstehen, ist ein umfangreiches Logging unverzichtbar. Nur auf Basis detaillierten Sensor-Logs können potenzielle Fehlerquellen identifiziert werden. Anhand einer brokerbasierten Lösung wurde daher eine echtzeitnahe Erfassung von Sensordaten implementiert.

Realtime Sensor Monitoring

Smart Services

LPBF Heatmap Prognose

Laserleistung ist ein kritischer Prozessparameter im LPBF-Prozess. Durch Überhitzungen kann es zu Abweichungen in der Bauteil-Geometrie und somit zu fortschreitenden Fehlern kommen, welche zum Defekt des gedruckten Bauteils führen. Für eine bessere Temperatur-Kontrolle wurde eine Temperaturprognose erstellt, welche das zukünftige Temperaturverhalten am konkreten Bauteil vorhersagt.



3

DIE MENSCHEN HINTER DEM PROJEKT



Thomas Kimme
Dominic Ernst



Frank Sonntag
Patrick Schöps



Carmen Ahnert



Martin Schäfer
Olliver Theile



Benjamin Uhrich



UNIVERSITÄT
LEIPZIG



Markus Bauer
Christoph Augenstein

