

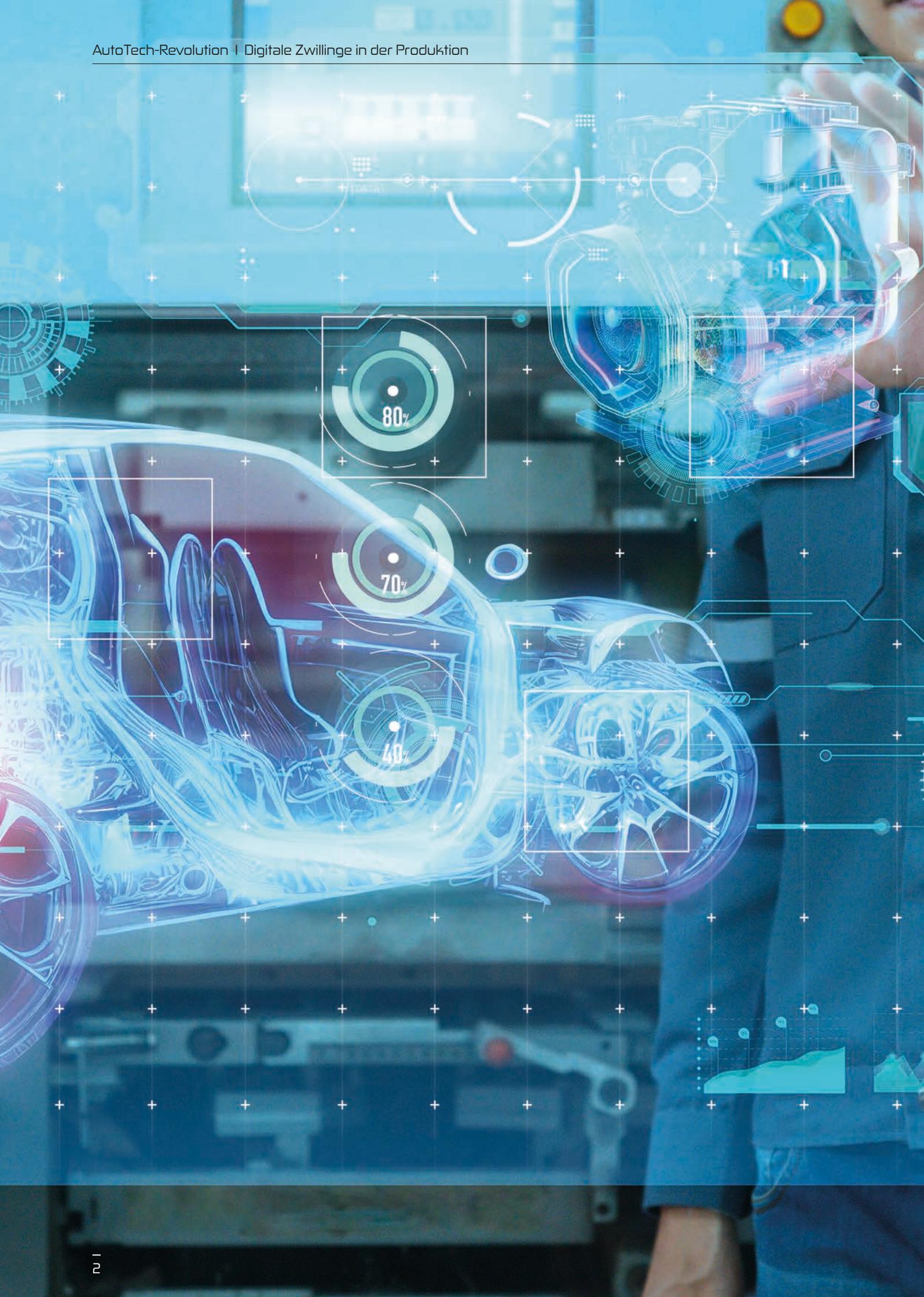
TOP 10 MAGAZIN – Nr.02

# AutoTech-Revolution

## Die digitale Transformation der Mobilität

Intelligente Produktion durch Digitale Zwillinge:  
Einblicke, Anwendungen, Potenziale





# Liebe Leser\*innen,

**W**illkommen in der Welt der digitalen Transformation, wo Hard- und Software Hand in Hand gehen, um den gesamten Lebenszyklus eines Produkts abzubilden. Dieser ganzheitlich gedachte Prozess beginnt bereits bei der technischen Entwicklung und zieht sich über die Herstellung, den Vertrieb und die Nutzungsphase bis hin zur Verwertung. Im Idealfall gelingt es uns, Produkte oder Komponenten nach ihrer jeweiligen Nutzungsphase so aufzubereiten, dass sie erneut in den Kreislauf eintreten – ganz im Sinne der Nachhaltigkeit.

Ein Schlüssel zu diesem Fortschritt sind Digitale Zwillinge. Dieses digitale Abbild eines Produkts oder einer Maschine ermöglicht es, deren Verhalten bereits vor dem physischen Einsatz zu simulieren. Zudem können die realen Daten aus dem physischen System oder Produkt im virtuellen Raum zeitgleich abgebildet und analysiert werden. Dadurch können potenzielle Fehler und Einsatzgrenzen frühzeitig erkannt werden, ohne dass Risiken für das Produkt oder seine Nutzer entstehen.

In dieser Ausgabe richten wir unseren Blick auf die Produktion – vom großen Ganzen der Fabrik über die einzelnen Fertigungsanlagen bis hin zu detaillierten Fertigungsprozessen. Wir erkunden, wie intelligente Werkzeuge, präzise Datenmodelle und effektive Schnittstellen zur Entwicklung eines digitalen Zwillings beitragen. Seien Sie gespannt auf tiefe Einblicke in die Technologien, die unsere Produktionsmethoden neu definieren und die Zukunft der Industrie gestalten. Entdecken Sie mit uns, wie Daten und digitale Innovationen die Art und Weise, wie wir Produkte entwickeln und herstellen, nachhaltig verändern!

In den folgenden Artikeln beleuchten wir verschiedene Aspekte des digitalen Zwillings, darunter seine Funktion als Türenöffner für das Produktionsmanagement, die Entwicklung digitaler Bauteilakten und die Herausforderungen sowie Chancen, die die Digitalisierung für den Mittelstand mit sich bringt. Wir werfen einen Blick auf smarte Retrofit-Lösungen in modularen Multi-Roboter-Anwendungen, die Transformation von Werkzeugen zu intelligenten Partnern durch smartTOOL und die Möglichkeiten des Wissenstransfers von Facharbeitern auf technische Systeme. Zudem thematisieren wir die virtuelle Inbetriebnahme in der zerspannenden Robotik sowie die Integration von Shopfloor- und Energiedaten in einer einheitlichen Umgebung.

Lassen Sie sich von den Möglichkeiten inspirieren, die digitale Zwillinge bieten und entdecken Sie, wie Unternehmen diese Technologie nutzen, um die Produktion von morgen zu gestalten. Tauchen Sie ein in die Welt der digitalen Zwillinge und erfahren Sie, wie sie die Zukunft der Produktion prägen!

Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre voller neuer Erkenntnisse.

Ihr Team der Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion

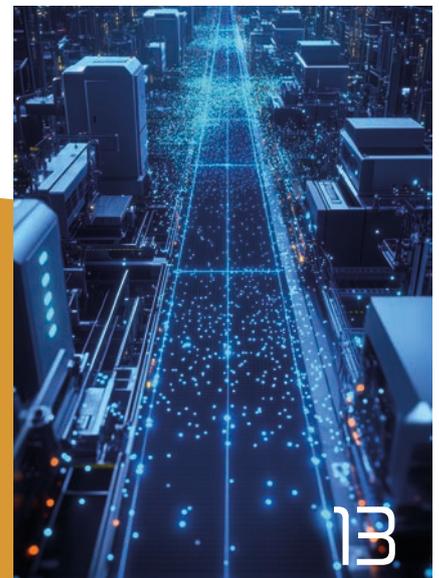


6 Digitale Zwillinge als Türöffner für das Produktionsmanagement

10 Digitalisierung mit Hand und Fuß – wie der Mittelstand Produktion neu denkt

13 Der Digitale Zwilling in der Praxis  
Werkzeugmaschinen modellieren und nutzen mit dem FA<sup>3</sup>ST Ecosystem

16 Virtuelle Inbetriebnahme für die zerspanende Robotik  
Steuerungsbasierte virtuelle Fräsversuche



## Impressum

AutoTech-Revolution – Die digitale Transformation der Mobilität · DiSerHub Top 10 Magazin · Heft 2  
Projekt DiSerHub – FIR e. V. an der RWTH Aachen · Campus-Boulevard 55 · 52074 Aachen  
E-Mail: [projekt-DiSerHub@fir.rwth-aachen.de](mailto:projekt-DiSerHub@fir.rwth-aachen.de) · [diserhub.de](http://diserhub.de) · DOI: <https://doi.org/10.24406/publica-5476>

**Design/Satz:** FIR e. V. an der RWTH Aachen

**Autor\*innen:** Dr. rer. nat. Andreas Otto, Annegret Schimmang-Esche, Anton Mauersberger, Björn Schuster, Christian Gollee, Christian Groß, Daniel Berner, Jens Viertel, Prof. Dr. Lars Fritzsche, Dr.-Ing. Marcel Todtermuschke, Dr. Michael Baumann, Muhammad Faisal Yaqoob, Nico Nebel, Philip Scharf, Dr. Sascha Ullmann, Simon Burger

**Bildnachweise:** Titelbild, S. 2: © Dlgilife – stock.adobe.com; S. 4, S. 7-9: © in.hub GmbH; S. 4, S. 13: © Sidewaypics – stock.adobe.com; S. 5, S. 20: © Imagecreator – stock.adobe.com; S. 5, S. 28: © TensorSpark – stock.adobe.com; S. 23: © Curioso.Photography – stock.adobe.com; S. 25: © anak – stock.adobe.com; S. 26: © Hewul – stock.adobe.com; S. 31-33: Fraunhofer IWU; S. 35: © KI generiert über Adobe Stock; S. 37: © SANDJAYA – stock.adobe.com; S. 38-39: © KI generiert über firefly

**KI-Transparenzhinweis:** Beim Verfassen einiger Beiträge zu diesem Heft haben die Autor\*innen an wenigen Textstellen KI-Tools verwendet, um Verbesserungsvorschläge zu erhalten. Diese wurden von den Autor\*innen dann noch überarbeitet. Zudem wurden teilweise KI-basierte Tools zur digitalen Literaturrecherche genutzt.



Open Access: Diese Veröffentlichung wird unter der Creative-Commons-Lizenz „CC BY-SA – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International (CC BY-SA 4.0)“ (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>) veröffentlicht.

## Zuwendungsgeber:

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Förderkennzeichen:** 16THB0004A

**Laufzeit:** 01.09.2022 – 31.12.2025

**Projekträger:**



VDI / VDE Innovation + Technik GmbH

18 Smarte Retrofit in der modularen  
Multi-Roboter-Produktion  
Einsatz von digitalen Zwillingen und  
virtueller Inbetriebnahme

22 Planung nachhaltiger Produktionen  
mittels digitalem Fabrik- und  
Prozesszwilling  
Beispiele aus der industriellen Praxis



28 Digitale Zwillinge in der digitalen Fabrik  
BIM-Modellinformationen, Shopfloor- und  
Energiedaten kombiniert in einer Umgebung

31 smartTOOL – Wenn Werkzeuge  
zu intelligenten Partnern werden

34 Pantotea – Digitaler Zwilling als Möglichkeit  
des Wissenstransfers von Facharbeitern  
auf ein technisches System

37 Die digitale Bauteilakte  
Wie Unternehmen ihre Produktion zukunftssicher machen

# Digitale Zwillinge als Türöffner für das Produktions- management

**S**tellen Sie sich vor, Sie betreten an einem Montagmorgen Ihre Fertigung – und statt unübersichtlicher Dashboards begrüßt Sie ein digitales Abbild Ihrer Linie, das Ihnen auf einen Blick Auslastung, Qualität und Energieverbrauch anzeigt. Kein Wunschtraum, sondern Realität für immer mehr Produktionsleiter. Eine Studie von LNS Research aus 2024 zeigt, dass bereits 68 % der befragten mittelständischen Fertigungsunternehmen erste Digital-Twin-Projekte umgesetzt haben. Gleichzeitig berichten Anwender durchschnittlich eine Steigerung ihrer Gesamtanlageneffektivität (OEE) um rund 12 %, wobei Verbesserungen zwischen 10 und 18 % dokumentiert wurden.

**Autor:**

**Christian Groß**  
Geschäftsführer  
Marketing & Vertrieb

in.hub GmbH

## Warum gerade jetzt?

Digitalisierung gilt seit Jahren als Schlagwort. In der Praxis jedoch scheitern Vorhaben oft an hohen Einstiegskosten, langen Projektlaufzeiten und fehlenden IT-Kompetenzen. Die gute Nachricht: Ein schlanker Ansatz nutzt offene Standards und Edge Computing, um bereits nach wenigen Stunden einen valides Abbild Ihrer realen Anlagen zu erzeugen. So lassen sich erste KPIs – etwa OEE, Verfügbarkeitsrate, Energieverbrauch oder Zykluszeit – unmittelbar messen und für fundierte Managemententscheidungen heranziehen.

## Einführung mit System: Management im Fokus

Für die Unternehmensführung ist entscheidend, schnell belastbare Kennzahlen zu erhalten. Überlegen Sie sich vorab, welche KPIs für Ihr Produktionsziel am wichtigsten sind:

- **OEE (Overall Equipment Effectiveness):** Misst die tatsächliche Leistungsfähigkeit Ihrer Anlagen.
- **Mittlere Reparaturzeit (MTTR, Mean Time To Repair)** Gibt an, wie lange es im Schnitt dauert, eine Störung zu beheben. Ein niedriger MTTR signalisiert effiziente Wartungsabläufe und gut geschulte Instandhaltungsteams.
- **First Pass Yield (FPY)** Anteil der Einheiten, die den Produktionsprozess ohne Nacharbeit oder Ausschuss durchlaufen. Diese Kennzahl spiegelt unmittelbar die Prozessqualität und das Ausschussvolumen wider.

- **Durchsatz (Throughput)** Anzahl der gefertigten Einheiten pro Zeiteinheit. Er zeigt, ob die Anlage ihre Kapazität voll ausschöpft oder ob es Engpässe gibt.

- **Energiekennzahlen:** Ermöglichen Identifikation von Höchstverbrauchern und Potenzialen für Kosteneinsparungen.

Ein Digitaler Zwilling liefert u.a. diese Werte in Echtzeit und schafft so Transparenz, statt monatelang auf Abschlussberichte zu warten.

## Praxisbeispiel: Effizienzsteigerung beim Elektrowerkzeughersteller

Ein traditionsreicher Hersteller von Elektrowerkzeugen sah sich mit einem heterogenen Maschinenpark konfrontiert, in dem Anlagen unterschiedlichster Generationen und Hersteller im Einsatz waren. Die manuelle Zustandskontrolle durch die Mitarbeiter war zeitaufwändig und lieferte selten ein vollständiges Bild der Produktionsleistung. Um Transparenz zu schaffen und Ausfallzeiten gezielt zu reduzieren, führte das Unternehmen eine moderne IIoT-Plattform von in.hub ein und ergänzte diese um die MaDoW-App für die mobile Datenerfassung.

In einem ersten Schritt wurden alle Maschinen – ob jung oder schon seit Jahrzehnten im Einsatz – mithilfe integrierter Schnittstellen oder nachgerüsteter Sensoren an die Plattform angebunden. So entstand innerhalb weniger Stunden eine einheitliche Datenerfassung aller Anlagen,





unabhängig von Hersteller und Alter. Anschließend rollte das Team die MaDoW-App aus, welche direkt auf den Edge-Modulen läuft, mit der Schichtleiter und Techniker in Echtzeit Stillstände erfassen, klassifizieren und kommentieren konnten. Dieses Pilotprojekt machte die Hauptursachen von Produktionsunterbrechungen sichtbar und ermöglichte kurzfristige Gegensteuerungen. Alles ohne große Initialaufwände und IT-Ressourcen.

## Wesentliche Effekte

- Schnelle Transparenz: Bereits im ersten Shopfloor-Meeting basierend auf Live-Daten erkannten die Verantwortlichen wiederkehrende Spannfehler an Fräsmaschinen und konnten sofortige Anpassungen vornehmen.
- Gezielte Prozessoptimierung: Klassifizierte Stillstände halfen, Ursachen wie Materialengpässe oder Rüstzeitüberschreitungen zu adressieren. Die Mitarbeiter nutzten die App, um Rückmeldungen direkt im System zu hinterlegen und so das Datenbild weiter zu schärfen.

- Steigerung der Maschinenverfügbarkeit: Durch die Kombination aus kontinuierlicher Zustandsüberwachung und schneller Reaktion auf Abweichungen erhöhte sich die effektive Betriebszeit merklich, während ungeplante Ausfälle zurückgingen.

Dieses Beispiel zeigt, wie ein schlanker, stufenweiser Ansatz – offene Schnittstellen, Edge-Module und eine intuitive App – innerhalb weniger Tage echten Mehrwert schafft. Management und Technik gewinnen gemeinsam belastbare Datengrundlagen, um fundierte Entscheidungen zu treffen und so Effizienz sowie Verfügbarkeit nachhaltig zu steigern.

## Empfehlungen für das Management

1. Pilotprojekt definieren: Wählen Sie eine Produktionslinie mit heterogenen Maschinen als Versuchsstandorte. Legen Sie KPIs fest, die Sie kontinuierlich monitoren.
2. Offene Schnittstellen priorisieren: Verzichten Sie auf proprietäre Lösungen und setzen Sie auf bewährte Protokolle wie OPC UA und MQTT.

3. Edge-Lösungen evaluieren: Planen Sie lokale Gateways ein, um Daten vor Ort zu verdichten und zu filtern.
4. Change Management betreiben: Schulen Sie Ihre Mitarbeitenden im Umgang mit Dashboards und Alarmmeldungen. Eine intuitive Benutzeroberfläche erleichtert die Akzeptanz.
5. Kurzfristige Erfolge kommunizieren: Berichten Sie regelmäßig über erreichte Verbesserungen – zum Beispiel OEE-Sprünge oder reduzierte Ausfallzeiten. So sichern Sie Rückendeckung für den weiteren Roll-out.

## Ausblick

Ein Digitaler Zwilling muss kein Monstrum sein, dessen Einführung Monate dauert und hohe Budgets erfordert. Mit einer klaren Management-Fokussierung, offenen Standards und Edge-Computing lassen sich binnen weniger Stunden belastbare Daten erzeugen. Das Resultat: transparente Kennzahlen, schnell sichtbare Effekte und eine solide Basis für künftige Automatisierungs- und Optimierungsprojekte. Wer diesen schlanken Weg wählt, erhöht nicht nur die Effizienz, sondern legt auch den Grundstein für eine nachhaltige und zukunftssichere Produktion.



# MaDOW

# Digitalisierung mit Hand und Fuß – wie der Mittel- stand Produktion neu denkt

## Intelligente Produktionslösungen für reale Herausforderungen

Die deutsche Industrie steht unter Strom. Im besten wie im wörtlichen Sinne: steigender Innovationsdruck, globale Krisen, Energiekosten, Fachkräftemangel – und dazwischen ein Maschinenpark, der vom Museum bis zur Hightech-Fabrik reicht. Viele reden über künstliche Intelligenz, aber für tausende mittelständische Unternehmen ist selbst die digitale Anbindung der Maschinen nach wie vor ein ungelöstes Problem. Genau hier setzt ein neues Konzept an, das Digitalisierung endlich greifbar macht.

## Stillstand ist Rückschritt – doch der Weg nach vorn ist nicht trivial

Wer heute produzieren will, muss auf Sicht fahren: Lieferketten schwanken, Kundenbedarfe ändern sich kurzfristig, Produktlebenszyklen werden kürzer. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Transparenz, Energieeffizienz und Investitionssicherheit. Große Worte wie „Industrie 4.0“ oder „KI im Shopfloor“ machen die Runde – in der Realität herrscht jedoch oft Stillstand. Viele kleinere und mittelständische Unternehmen verfügen lediglich über vereinzelte digitale Insellösungen. Eine einheitliche, durchgängige Datengrundlage fehlt. Das Ergebnis: ineffiziente Abläufe, hohe Kosten und verpasste Chancen.

### Autoren:

**Nico Nebel**  
Geschäftsführer

**Jens Viertel**  
Teamleiter Digitale Produkte

SITEC  
Industrietechnologie  
GmbH

## Warum herkömmliche Systeme nicht reichen

ERP- oder MES-Systeme mögen digital sein – sie reichen aber nicht tief genug. Ohne Daten aus dem Maschinenumfeld bleibt jede Analyse unvollständig. Dabei sind diese Informationen entscheidend:

- Wie ausgelastet ist die Produktion wirklich?
- Wo liegen versteckte Stillstände oder Energieverluste?
- Welche Maschine liefert die beste Qualität mit welchem Bauteil?
- Welche Produktionsprozesse können für mehr Nachhaltigkeit optimiert werden?

Antworten auf diese Fragen sind heute Pflicht – aber kaum ein Unternehmen hat eine Infrastruktur, die das leisten kann.

## Serviceökosystem connACT: Die Brücke zwischen Altbestand und Zukunft

Hier setzt das Serviceökosystem connACT SERVICES an. Es vereint Maschinenanbindung, Datenaufbereitung und smarte Services zu einem modularen, praxisnahen

Lösungspaket – entwickelt für mittelständische Produktionsbetriebe. Statt monatelanger Projekte gibt es echte Hands-on-Integration: In unter vier Stunden wird jede Maschine digitalisiert und in connACT eingebunden – unabhängig vom Alter der Anlage.

Der Clou: Das System ist skalierbar und kombinierbar mit traditionellen sowie modernen Services – von Retrofit bis zu Pay-per-Part-Modellen, die sogar Investitionen in neue Maschinen ersetzen können. Unternehmen zahlen dann nicht mehr für Technik, sondern für das produzierte Ergebnis.

## Best Practice – Digitales Retrofit im Shopfloor von Webasto

Im Rahmen eines gemeinsamen Pilotprojektes an einer fünf Jahre alten automatisierten SITEC Montage- und Laserbearbeitungsanlage wurde connACT in kürzester Zeit integriert. Unmittelbar danach wurde connACT im Rahmen des täglichen Schicht-Meetings auf einer Großbildanzeige genutzt. Eine Woche später erfolgte eine umfangreiche Rückmeldung des Kunden über Erkenntnisse und bereits umgesetzte Maßnahmen zur Reduzierung der Stillstandszeiten und Ausschussraten.

Schritt für Schritt wurden daraufhin innerhalb eines Jahres drei weitere SITEC-Anlagen zur Montage und Laserbearbeitung mit connACT ausgerüstet.

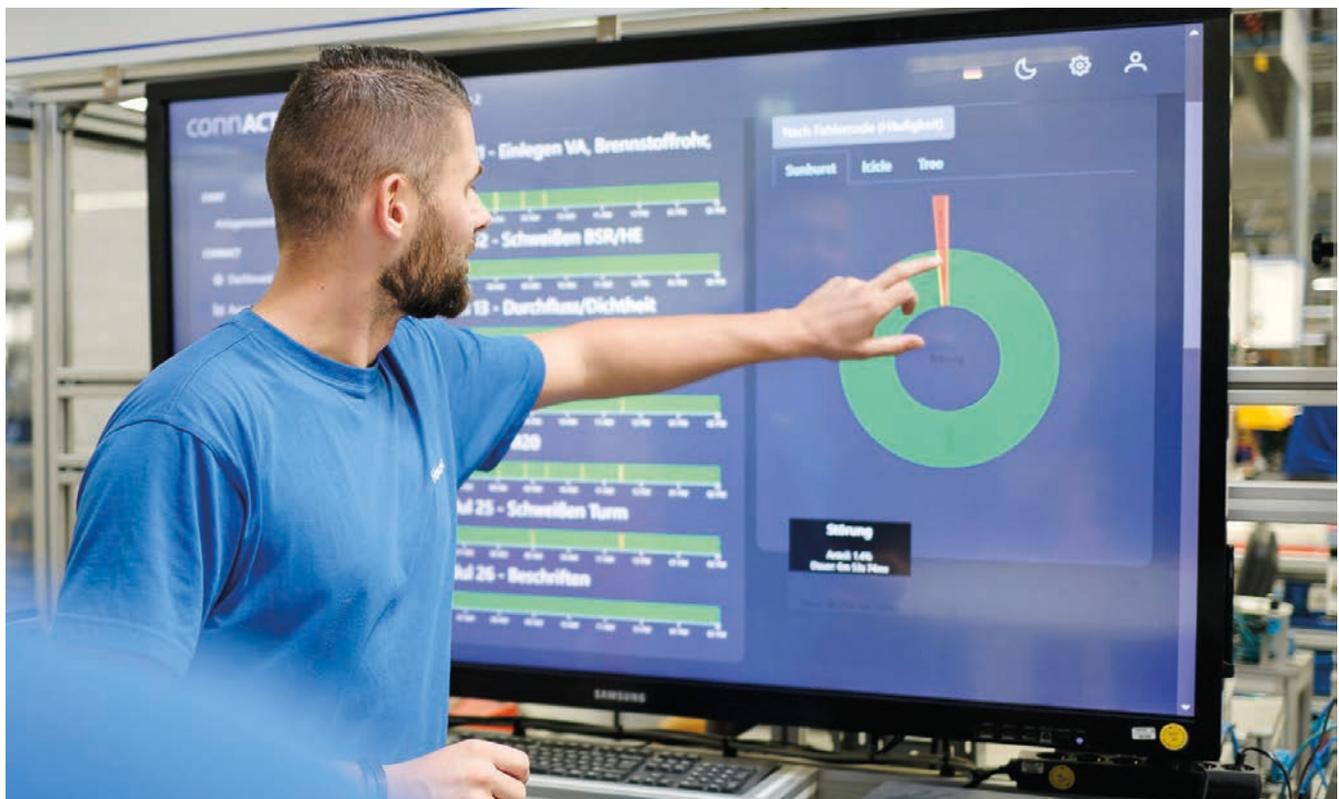


Abbildung 1: Gezielte Fehleranalyse im Rahmen des Schicht-Meetings bei Webasto [Quelle: SITEC Industrietechnologie GmbH]



Abbildung 2: connACT Services – einfach in jede Maschine integrierbar [Quelle: SITEC Industrietechnologie GmbH]

OLIVER BETKER,  
TEAMLEADER MANUFACTURING ENGINEERING, WEBASTO

„Mit connACT haben wir jetzt die Ausbringung und Prozessdaten unserer Produktionsanlagen jederzeit im Blick. Darüber hinaus können Anomalien in Prozessen frühzeitig erkannt und gezielt Gegenmaßnahmen erarbeitet werden. Die n.i.O.-Rate verringert sich dadurch signifikant.“

## Vom Maschinenbauer zum Möglichmacher

Hinter dem Konzept steht SITEC, ein Unternehmen, das beide Seiten kennt: den Maschinenbau und die Produktion selbst. Als Serienfertiger mit mehreren Jahrzehnten Erfahrung und Millionen produzierter Teile weiß man, wo die echten Probleme liegen. Diese Expertise floss in die Entwicklung von connACT SERVICES ein. Parallel wurde die eigene Softwarekompetenz gestärkt, ein internationales Entwicklerteam aufgebaut und Maschinenkonzepte weiterentwickelt, um die Anforderungen der Zukunft erfüllen.

## Gemeinsam stärker: Kooperation statt Silos

Auch das Ökosystem rund um connACT SERVICES ist kein luftleeres Marketingversprechen. In Zusammenarbeit mit regionalen IT- und Hardwarepartnern wird eine durchgängige Lösung realisiert – datensouverän, flexibel und unabhängig. Damit bleibt die Kontrolle im Unternehmen und nicht bei anonymen Cloud-Dienstleistern.

## Das wirtschaftliche Potenzial: eine stille Revolution

Der Nutzen ist messbar – nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich. Jedes Unternehmen, das seine Produktion digital besser versteht, kann flexibler reagieren, gezielter investieren und langfristig am Standort bestehen. So wird connACT SERVICES zum Enabler für die Transformation der Industrie – ohne Überforderung, mit echter Wirkung.

## Fazit

Digitalisierung muss nicht groß, teuer oder kompliziert sein. Sie muss funktionieren. connACT SERVICES zeigt, wie Mittelstand und Maschinenbau gemeinsam die Herausforderungen der Gegenwart meistern – mit durchdachter Technik, tragfähigem Geschäftsmodell und echtem Praxisbezug.

[www.connact-services.com](http://www.connact-services.com)

# Der Digitale Zwilling in der Praxis

## Werkzeugmaschinen modellieren und nutzen mit dem FA<sup>3</sup>ST Ecosystem

**W**ie lange kann eine Werkzeugmaschine noch zuverlässig produzieren? Welche Komponenten müssen bald gewartet oder ersetzt werden? Antworten auf diese Fragen entscheiden über Ausfallzeiten, Wartungskosten und Produktivität. Digitale Zwillinge eröffnen hier neue Perspektiven. Sie ermöglichen datenbasierte Entscheidungen über den gesamten Lebenszyklus einer Maschine hinweg – von der Entwicklung über die Nutzung bis hin zur Optimierung. Ein besonders interessanter Anwendungsfall: die Prognose der Restlebensdauer von Maschinenkomponenten.

In der Industrie 4.0 entstehen dafür enorme Datenmengen. Doch deren Potenzial bleibt oft ungenutzt, weil Systeme nicht nahtlos miteinander kommunizieren. Gefragt sind also nicht nur Daten, sondern auch Interoperabilität. Genau hier setzen Digitale Zwillinge mit Verwaltungsschalen an.

**Autor:**

**Dr. rer. nat.  
Andreas Otto**

Fraunhofer-Institut für  
Werkzeugmaschinen  
und Umformtechnik  
IWU

**Autor:**

**Daniel Berner**

Fraunhofer-Institut für  
System- und  
Innovationsforschung  
ISI

**Autor:**

**Dr. Michael Baumann**

Fraunhofer-Institut für  
Optronik, Systemtechnik  
und Bildauswertung  
IOSB



Abbildung 1: FA³ST Ecosystem mit seinen Komponenten [© Fraunhofer IOSB]

## Digitale Zwillinge

Ein Digitaler Zwilling ist die digitale Repräsentation eines realen physischen Objekts – etwa einer Werkzeugmaschine. Er umfasst alle relevanten Informationen: Geometrie, Zustand, Funktion und Lebensdauer. In Verbindung mit Sensordaten aus dem Betrieb lassen sich daraus wertvolle Erkenntnisse ableiten – etwa über den Verschleiß oder bevorstehende Ausfälle.

Die Herausforderung: Für eine breite Nutzung in der Industrie müssen Digitale Zwillinge standardisiert, interoperabel und systemübergreifend verständlich sein. Genau dieses Ziel verfolgt das Konzept der Verwaltungsschale.

## Verwaltungsschale

Die Verwaltungsschale – englisch Asset Administration Shell (AAS) – ist das standardisierte Informationsmodell für Digitale Zwillinge in der Industrie 4.0. Sie beschreibt strukturiert, welche Eigenschaften, Zustände und Beziehungen ein Asset digital abbildet. Submodelle ermöglichen eine feingranulare Repräsentation z. B. von Wartungsdaten, Energiewerten oder technischen Spezifikationen.

Ein besonderer Vorteil: Die semantische Anreicherung der Daten macht sie für Maschinen interpretierbar. Systeme können dadurch automatisiert verstehen, ob ein Wert beispielsweise eine Drehzahl (in 1/min) oder ein Gewicht (in kg) beschreibt. Das schafft die notwendige Grundlage für datengestützte Anwendungen wie Zustandsüberwachung oder Predictive Maintenance.

Doch Theorie allein reicht nicht. Entscheidend ist die praktische Umsetzung – und genau hier setzt das FA³ST Ecosystem an.

## FA³ST Ecosystem: KI-gestützte Entwicklung und Nutzung von Verwaltungsschalen

Das **FA³ST Ecosystem** ([FA³ST Ecosystem: KI-gestützte Entwicklung und Nutzung von Verwaltungsschalen – Fraunhofer IOSB](#))<sup>1</sup> bietet eine umfassende, modulare Werkzeug-

landschaft für die Erstellung, Verwaltung und Nutzung von Verwaltungsschalen (s. Abbildung 1). Es macht das Konzept der AAS für Unternehmen aller Größen greifbar und produktiv nutzbar.

### Einige Kernkomponenten im Überblick:

- **FA³ST CreAltor:** Erstellt Verwaltungsschalen automatisch aus heterogenen Quellen (z. B. PDF, Excel) mithilfe KI-basierter Analyse.
- **FA³ST ValidAltor:** Prüft Verwaltungsschalen auf Standardkonformität und schlägt Korrekturen vor.
- **FA³ST Mapper:** Verknüpft reale Maschinen (z. B. via OPC UA) mit digitalen Modellen.
- **FA³ST Service:** Bietet AAS-basierte Digitale Zwillinge als Webservice – standardkonform und integrierbar via REST-API.
- **FA³ST Registry:** Ermöglicht das zentrale Auffinden und Verwalten verfügbarer Verwaltungsschalen.
- **FA³ST Client:** Unterstützt die einfache Anbindung in Unternehmenssoftware (Java-Bibliothek).

Das FA³ST Ecosystem reduziert Aufwand, Kosten und Komplexität bei der Einführung von Digitalen Zwillingen und Verwaltungsschalen erheblich.

## Anwendungsfall: Restlebensdauer von Maschinenkomponenten

In der Regel werden die Wartungsintervalle und Lebensdauer kritischer Komponenten von CNC-Maschinen bereits während der Konstruktion berechnet und auf Basis einer Abschätzung der späteren Nutzung festgelegt (siehe z.B. DIN ISO 281). Die realen Betriebszustände und damit auch Verschleiß und Restlebensdauer von Lagern und Führungen können jedoch von den während der Maschinenauslegung angenommenen Werten teilweise stark abweichen, womit Wartungen teilweise überflüssig sind oder im umgekehrten Fall unnötige Schäden verursacht werden.

Mit Hilfe der Verwaltungsschale sind die realen Betriebszustände der Maschine (z.B. Drehzahlen, Positionen) zu jeder Zeit verfügbar. Ein am Fraunhofer IWU entwickeltes Ver-



Abbildung 2: Digitaler Zwilling für die Restlebensdauer von CNC-Maschinen [© Fraunhofer IWU]

fahren ermöglicht jetzt mit Hilfe KI-basierter Metamodelle die Bestimmung der jeweils aktuellen Belastungen auf die kritischen Komponenten der Maschine, wie z.B. Wälzlager, Kugelgewindtriebe oder Führungssysteme ([Predictive Maintenance: Digitaler Zwilling für die Bestimmung der Restlebensdauer an CNC-Maschinen - Kognitive Produktion](#))<sup>2</sup>. Im Digitalen Zwilling für die Restlebensdauer von CNC-Maschinen werden die Belastungen kumuliert und als Restlebensdauer der jeweiligen Komponente zur Verfügung gestellt (vgl. Abbildung 2).

## Ausblick

Digitale Zwillinge und Verwaltungsschalen stehen erst am Anfang ihrer Möglichkeiten. Schon heute ermöglichen sie neue Formen der Überwachung, Optimierung und Entscheidungsfindung. Im konkreten Anwendungsfall der Restlebensdaueranalyse von Werkzeugmaschinen können sie Wartungskosten senken, die Maschinenverfügbarkeit steigern und Produktionsprozesse robuster machen.

Das FA<sup>3</sup>ST Ecosystem bietet hierfür einen praxisgerechten, modularen und KI-gestützten Einstieg – standardkonform, interoperabel und zukunftssicher. Es unterstützt zudem die Erstellung von Digital Product Passports (DPP) – eine wichtige Voraussetzung für Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft.

**Tip:** Vertiefende Informationen zu diesen und weiteren Themen der digitalen Transformation finden Sie in den modular aufgebauten Lernangeboten auf der Plattform [Transfer-X](#)<sup>3</sup>. Transfer-X unterstützt Unternehmen sich fit für die Zukunft zu machen. Auf dieser Wissensplattform bietet Transfer-X auf KMU ausgerichtete detaillierte Lernmodule, die relevante Industrie 4.0 Themen erklären und Unternehmen befähigen, ihre digitale und datenzentrierte Zukunft passend zu gestalten.

Linkverzeichnis:

1. [www.iosb.fraunhofer.de/faaast](http://www.iosb.fraunhofer.de/faaast)
2. [www.kognitive-produktion.de/predictive-maintenance-digitaler-zwilling-fuer-die-bestimmung-der-restlebensdauer-an-cnc-maschinen/](http://www.kognitive-produktion.de/predictive-maintenance-digitaler-zwilling-fuer-die-bestimmung-der-restlebensdauer-an-cnc-maschinen/)
3. [www.transfer-x.de](http://www.transfer-x.de)

# Virtuelle Inbetriebnahme für die zerspanende Robotik

Autoren:

**Christian Gollee,  
Philip Scharf**

Fraunhofer-Institut für  
Werkzeugmaschinen und  
Umformtechnik IWU

## Steuerungsbasierte virtuelle Fräsversuche

THOMAS A. EDISON

„Um zu erfinden, braucht man eine gute Vorstellungskraft  
und einen Haufen Schrott.“

Zumindest galt diese Weisheit noch zu Edisons Zeiten. Glücklicherweise können wir heute dank der virtuellen Inbetriebnahme auf beides weitestgehend verzichten. Stellen Sie sich vor, Sie könnten die komplexen und kostspieligen Prozesse der zerspanenden Robotik bereits vor der eigentlichen Inbetriebnahme simulieren und optimieren. Genau das ermöglicht die virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) – ein innovativer Ansatz, bei dem ein Simulationsmodell der Maschine an eine simulierte oder reale Steuerung angeschlossen wird, um die Interaktion und Funktionalität des Steuerungsprogramms und der Maschine unter realen Bedingungen zu überprüfen. In der Welt der zerspanenden Fertigung, wo Präzision und Effizienz entscheidend sind, bietet die VIBN eine leistungsstarke Methode, um virtuelle Fräsversuche durchzuführen, ohne Stillstands-

zeiten von Maschinen in Kauf nehmen zu müssen oder wertvolle Ressourcen zu verschwenden. Dies führt nicht nur zu einer erheblichen Reduzierung der Inbetriebnahmezeiten, sondern auch zu einer Verbesserung der Produktqualität und einer Senkung der Produktionskosten. Ein besonders spannender Aspekt der VIBN ist die Möglichkeit, verschiedene Szenarien und Parameter in einer sicheren, kontrollierten Umgebung zu testen. Dies eröffnet neue Horizonte für die Optimierung von Bearbeitungsstrategien und die Anpassung an spezifische Anforderungen. Im nächsten Abschnitt werden wir einen Ausflug in die Welt der steuerungsbasierten virtuellen Fräsversuche unternehmen und anhand eines faszinierenden Anwendungsbeispiels aufzeigen, wie diese Technologie die Zukunft der zerspanenden Robotik prägt.

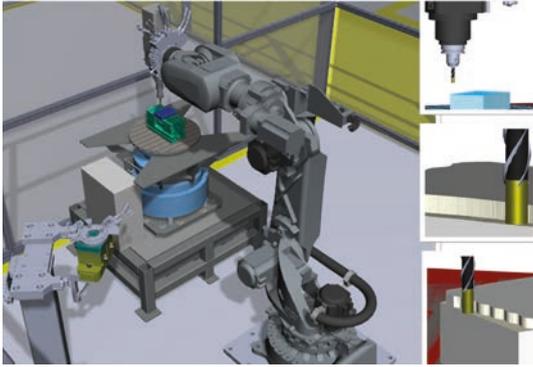


Abbildung 1: VIBN-Modell der Comau Roboterzelle (links), Werkstück mit Werkzeug im Eingriff (rechts) [© Fraunhofer IWU]



Abbildung 2: Vergleich der realen Steuerungsanbindung (links) und des HiL-Aufbaus (rechts) [© Fraunhofer IWU]

Um die Möglichkeiten virtueller Fräsversuche zu demonstrieren, wurde am Fraunhofer IWU in Dresden ein Simulationsmodell einer Roboterzelle für die spanende Bearbeitung von Bauteilen entwickelt. Das Modell umfasst einen Industrieroboter des Typs Comau NJ-130-2.0 als zentrales Element, ergänzt durch einen Werkzeugwechsler, eine Einspannvorrichtung und die Umhausung der Zelle (siehe Abbildung 1). Ausgestattet ist die Zelle mit einer B&R-Roboter-CNC, welche den Roboter zu einer Umsetzung hochgenauer Bahnen befähigt. Für die virtuellen Fräsversuche in der VIBN-Umgebung wurde das Simulationsmodell per Hardware-In-The-Loop-Aufbau (HiL) an die reale Steuerung angebunden. Abbildung 2 bietet einen visuellen Vergleich des realen Steuerungsaufbaus, wie er in der Roboterzelle umgesetzt wurde, mit dem Aufbau für die HiL-Simulation. Ein zusätzlicher Automation PC fungiert beim HiL-Aufbau als POWERLINK-Schnittstelle zwischen der realen Steuerung und einem echtzeitfähigen B&R-Solver samt VIBN-Modell. Mit diesem Aufbau konnten, basierend auf dem realen NC-Steuerungs-Code, mithilfe der virtuellen Fräsversuche in der VIBN-Umgebung aufschlussreiche Untersuchungen durchgeführt werden. Beispielsweise war es möglich, im Rahmen eines Industrieprojektes, das Verbesserungspotential von spielfreien Präzisionsgetrieben für die Bearbeitungsgenauigkeit des

Roboters simulativ abzuschätzen, bevor anschließend reale Validierungsversuche durchgeführt wurden. Dazu wurden im Simulationsmodell sukzessive einzelne, werkseitig verbaute, Standardgetriebe des Roboters durch diese Präzisionsgetriebe ausgetauscht und anschließend virtuelle Bauteile gefräst. Diese wurden mit der Zielgeometrie verglichen, um die Abweichung, infolge von Spiel und Nachgiebigkeiten in den Achsen des Roboters, zu ermitteln. Abbildung 3 stellt die Histogramme der Abweichungen einzelner Punkte der gefrästen Testkontur für drei unterschiedliche Achskonfigurationen des Roboters gegenüber. Somit konnte präzise evaluiert werden, welche Achsen für eine gegebene Bearbeitungsaufgabe den größten Einfluss auf die Genauigkeit haben und sich daher am besten für einen Getriebetausch anbieten.

Die Ergebnisse dieser virtuellen Fräsversuche zeigen deutlich, wie die VIBN-Technologie die Zukunft der Produktionstechnik im Allgemeinen und der zerspanenden Robotik im Besonderen mitgestalten und prägen kann. Sie eröffnet durch die Kombination von realem Steuerungscode, virtuellen Robotermodellen und Materialabtragssimulationen neue Möglichkeiten für die Optimierung und Anpassung von Bearbeitungsstrategien, was letztlich zu einer effizienteren und präziseren Fertigung führt.

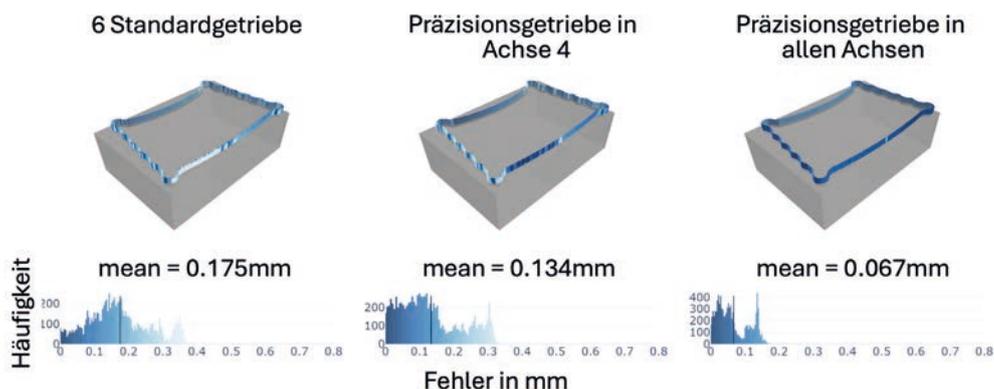


Abbildung 3: Vergleich der simulativ ermittelten Bearbeitungsfehler für unterschiedliche Achskonfigurationen des Roboters [© Fraunhofer IWU]

# Smarte Retrofit in der modularen Multi- Roboter-Produktion

## Einsatz von digitalen Zwillingen und virtuelle Inbetriebnahme

**E**ine flexible, vernetzte Produktion, in der Roboter, Menschen und Maschinen reibungslos zusammenarbeiten – das ist die Vision im Hintergrund von modularen und flexiblen Roboterzellen für die Matrixproduktion. Die virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) trägt dabei insbesondere zur Optimierung des Retrofits bestehender Anlagen bei, indem sie es ermöglicht, Umbauten und Abläufe bereits vor der tatsächlichen Inbetriebnahme virtuell zu testen, abzusichern und zu optimieren.

### Autoren:

**Muhammad Faisal  
Yaqoob, Philip Scharf**

Fraunhofer-Institut für  
Werkzeugmaschinen  
und Umformtechnik  
IWU

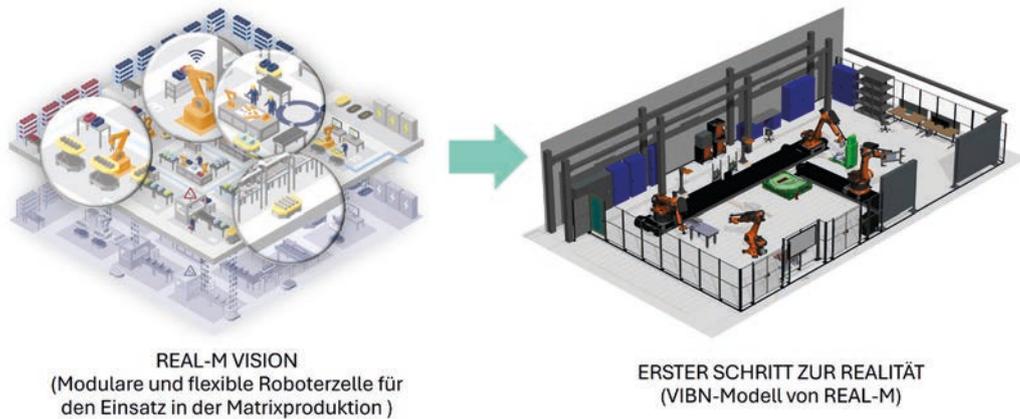


Abbildung 1: Die Vision von REAL-M (links) und das VIBN-Modell von REAL-M (rechts) [© Fraunhofer IWU]

Zur Realisierung dieser Vision wurde am Fraunhofer IWU in Chemnitz eine zuvor starre Karosseriebau-Linie in das Robotics Engineering Application Lab for Matrix Produktion (REAL-M) transformiert. REAL-M stellt eine modulare Produktionsumgebung dar, die mit vier Robotern, einem fahrerlosen Transportsystem (FTS), einer mobilen Fräsmaschine sowie umfangreicher Sensorik ausgestattet ist. Das Labor demonstriert, wie bestehende Anlagen für die Matrixproduktion umgerüstet und flexibilisiert werden können.

Der Erfolg der Automatisierung liegt in der Tat im Detail. Die Inbetriebnahme solch komplexer Roboterzellen erfolgt selten ohne Fehler. Durch die Verknüpfung digitaler Zwillinge mit der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) ermöglicht die virtuelle Inbetriebnahme das Testen und Optimieren von Prozessen vor der tatsächlichen Inbetriebnahme. Dies trägt zur Beschleunigung des Inbetriebnahmeprozesses bei und erhöht die Zuverlässigkeit der implementierten Automatisierungslogik. Anstelle kostspieliger Try-and-Error-Zyklen kann der Einsatz der virtu-

ellen Inbetriebnahme als „Sicherheitsnetz“ fungieren und Risiken wie fehlerhafte SPS-Logik, Kollisionen oder auch Herausforderungen hinsichtlich der Zykluszeit reduzieren. Anhand des VIBN-Aufbaus kann so frei gestaltet und getestet werden, ohne dass es zu Beschädigungen der Hardware durch Fehlfunktionen oder -planungen kommt (Abbildung 1).

So lassen sich auch komplexe oder verteilte Steuerungsanordnungen untersuchen. Die Steuerungssysteme der REAL-M sind hierarchisch angeordnet (Abbildung 2). An der Spitze steht eine Siemens-S7-Leitsteuerung, die die Gesamtsteuerung und Koordination aller vier Roboter sowie des FTS übernimmt und die Sicherheitszonen der gesamten Zelle, einschließlich Türen, Menschenerkennung, usw., verwaltet. Darunter befindet sich eine Siemens-Steuerung, die als Schnittstelle dient und die Kommunikation zwischen der Siemens-Leitsteuerung und dem KUKA-Roboter verwaltet. Sie koordiniert die KUKA-Steuerungen und sorgt für die Sicherheit der Roboter sowie die korrekte Programmausführung. Die KUKA-Steuerungen führen

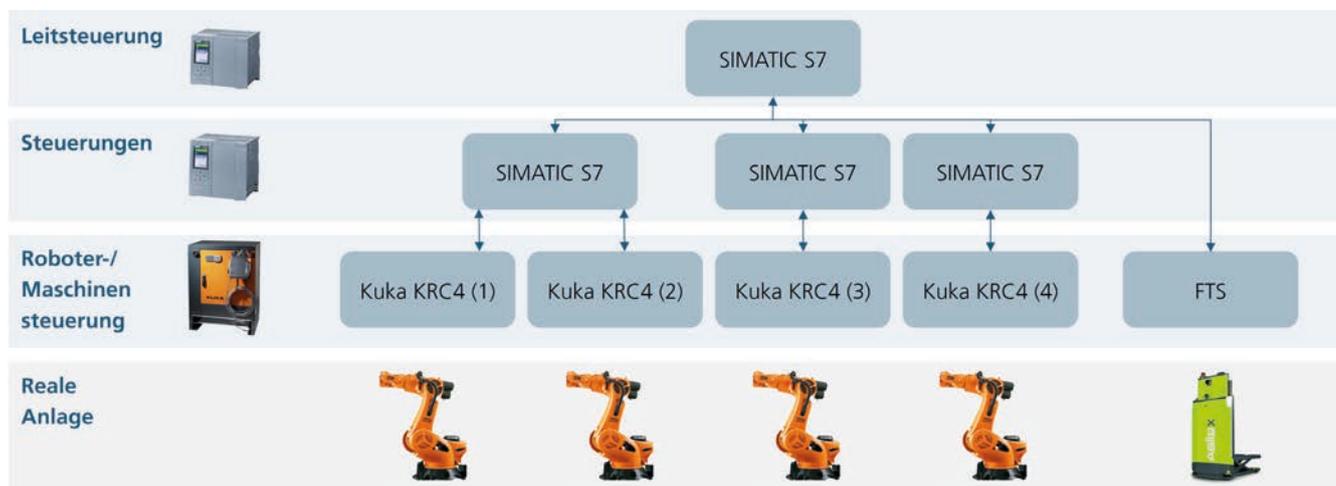


Abbildung 2: Steuerungsnetzwerkarchitektur von REAL-M [© Fraunhofer IWU]



schließlich die Bewegungen sowie Operationen der Roboter aus. Das FTS wird unabhängig über ein eigenes, web-basiertes Steuerungssystem bedient.

Zu den wesentlichen Gründen für die Durchführung der virtuellen Inbetriebnahme bei REAL-M zählten:

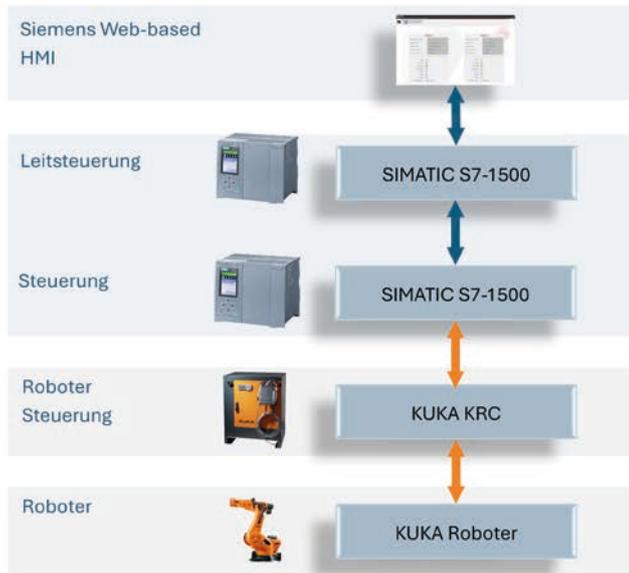
- Die vorhandenen Hardware war entsprechend der Anforderungen einer Matrixproduktion umzugestalten und durch einen Steuerungsretrofit auf den aktuellen Stand zu bringen.
- Eine Validierung der End-to-End Steuerungskommunikation zwischen Siemens- und KUKA-Steuerungen war erforderlich.
- Es sollte ein modellbasierter Teachprozess für die Roboter ermöglicht werden.
- Szenarien der Bedienschulung an der REAL-M unter Verwendung einer Virtual Reality (VR)-Brille sollten ermöglicht werden.

In der Abbildung 3 ist die reale Struktur des Steuerungssystems und die äquivalente Struktur des Steuerungsaufbaus in der VIBN-Umgebung dargestellt.

Wesentliche Aspekte des VIBN-Aufbaus sind:

- **Software-in-the-loop (SiL) Konzept:** Repliziert das kinematische Verhalten der realen Maschine und integriert emulierte Siemens- und KUKA-Steuerungssysteme
- **Controller-to-Controller-Kommunikation:** Validiert den Echtzeit-Datenaustausch zwischen Siemens- und KUKA-Controllern und dem virtuellen Modell (durch SIMIT-Kopplung)
- **Unterricht und Training auf dem virtuellen Modell:** Gewährleistet Konsistenz in der Programmierung mithilfe eines emulierten KUKA-Controllers, wodurch das Wissen direkt auf das reale System übertragen werden kann
- **End-to-End-Simulation und -Test:** Vom HMI-Interaktionspunkt bis zur Roboterbewegung ermöglicht das

## Realer-Aufbau



## VIBN-Aufbau

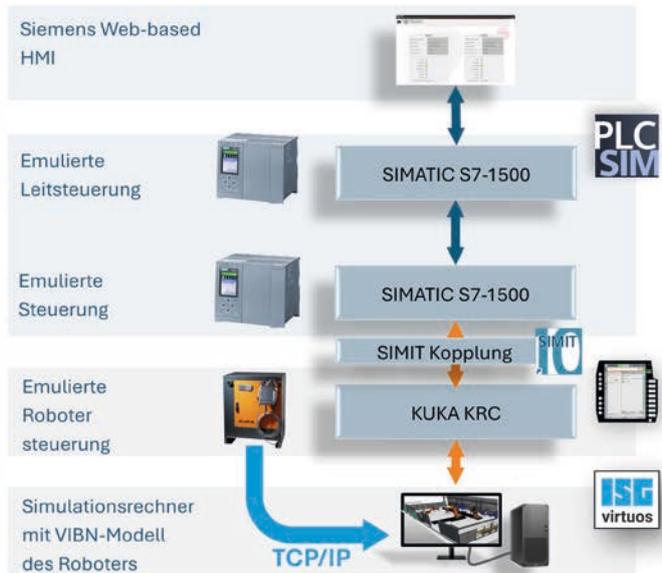


Abbildung 3: Vergleich der realen Steuerungsanbindung (links) und des SiL-Aufbau (rechts) [© Fraunhofer IWU]

System die virtuelle Komponentenprüfung und eine reibungslose Aufgabenausführung vor der physischen Bereitstellung

Der Modellaufbau kann weiterführend auch nach der Inbetriebnahme der Anlagentechnik eingesetzt werden. Neben Anwendungen wie der Kollisionsüberwachung oder Prozessplanung kann z.B. auch die Identifikation von

Sicherheitszonen und das Testen von Sicherheitslogiken durchgeführt werden: Werden keine Menschen erkannt, wird die Sicherheitszone grün dargestellt, bei Anwesenheit von Menschen ist die Zone rot (Abbildung 4).

Die Frage ist also nicht mehr, ob digitale Zwillinge und virtuelle Inbetriebnahme eingesetzt werden sollten – sondern wie schnell Unternehmen die Vorteile dieser Technologien nutzen können, um in der Zukunft der Produktion an der Spitze zu bleiben.

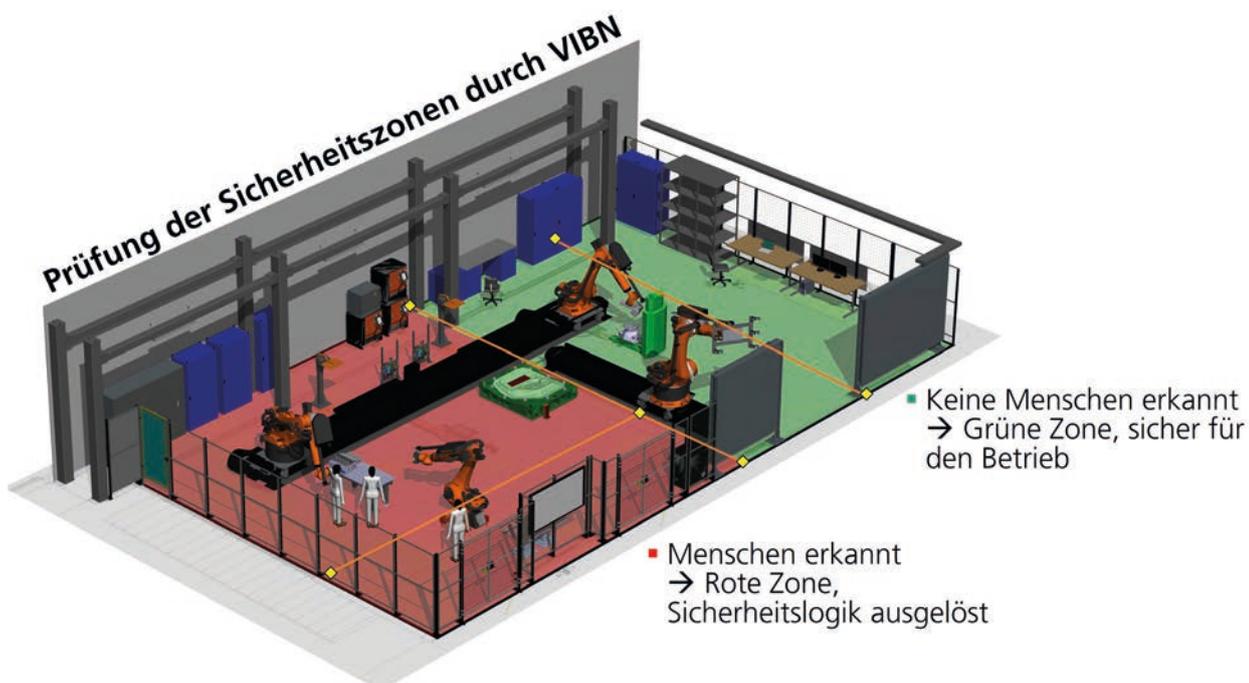


Abbildung 4: Visualisierung von Sicherheitszonen durch das VIBN-Modell [© Fraunhofer IWU]

# Planung nachhaltiger Produktionen mittels digitalem Fabrik- und Prozesszwilling

## Beispiele aus der industriellen Praxis

**M**it den aktuellen Anforderungen an moderne, wertschöpfende und nachhaltige Produktionen hinsichtlich steigender Komplexität durch hohe Produktvarianz und kürzeren Produktlebenszyklen steigt der Bedarf zur Reduzierung von Planungsaufwänden und schnelleren Produktionsanläufen bzw. der Verkürzung der „Time to Market“. Zusätzlich erlangen Themen wie alternde Belegschaften und hoher Wettbewerbsdruck, auch auf dem Fachkräftemarkt, weiter an Bedeutung. Die Nutzung digitaler Tools entlang von Produktentwicklungs- und Planungsprozessen ermöglicht die Absicherung einer späteren Realisierung und reduziert zeit- und kostenintensive Optimierungsschritte. Fehler können so von „Anfang an“ erkannt und vermieden werden. Die ema Software Suite der Firma imk Industrial Intelligence GmbH, bestehend aus den Modulen ema Plant Designer und ema Work Designer verbindet die beiden Welten der Fabrikplanung und Arbeitsplatzgestaltung in einem Tool zur ganzheitlichen 3D-Produktionsplanung.

### Autoren:

**Prof. Dr. Lars Fritzsche**  
Geschäftsführer

**Dr. Sascha Ullmann**  
Leiter Digitale Planung & Ergonomie

imk Industrial  
Intelligence GmbH

Der ema Plant Designer ermöglicht die Materialflusssimulation und 3D-Layoutplanung mit automatisch generierten Ergebnissen wie Auslastung, Durchlaufzeit, Flächenbedarf und Losgrößen. Darüber hinaus stehen Funktionen zur automatischen Generierung von Wertströmen und Layouterstellung zur Verfügung. Nach Optimierung auf der Fabrikebene können Maschinen, Roboter und manuelle Arbeitsplätze mit dem ema Work Designer hinsichtlich der Prozessplanung und Arbeitsplatzgestaltung weiter detailliert werden. Dies umfasst neben der Auslegung von Arbeitsplätzen, Betriebs-/Transportmitteln sowie Materialan-

stellung auch die Simulation von manuellen Tätigkeiten. Der integrierte Bewegungsgenerator ermöglicht die schnelle Simulation von Arbeitsprozessen inklusive Abhängigkeiten in der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Als großer Vorteil des Simulationsansatzes generiert ema Work Designer automatisch Kennzahlen nach etablierten Industriestandards wie z.B. zur notwendigen Fertigungszeit (MTM-UAS®), Ergonomie (EAWS®) und Produktivität (z. B. Laufweganalysen) auf Basis standardisierter Menschmodelle (Körpermaße z. B. nach DIN-Standard).



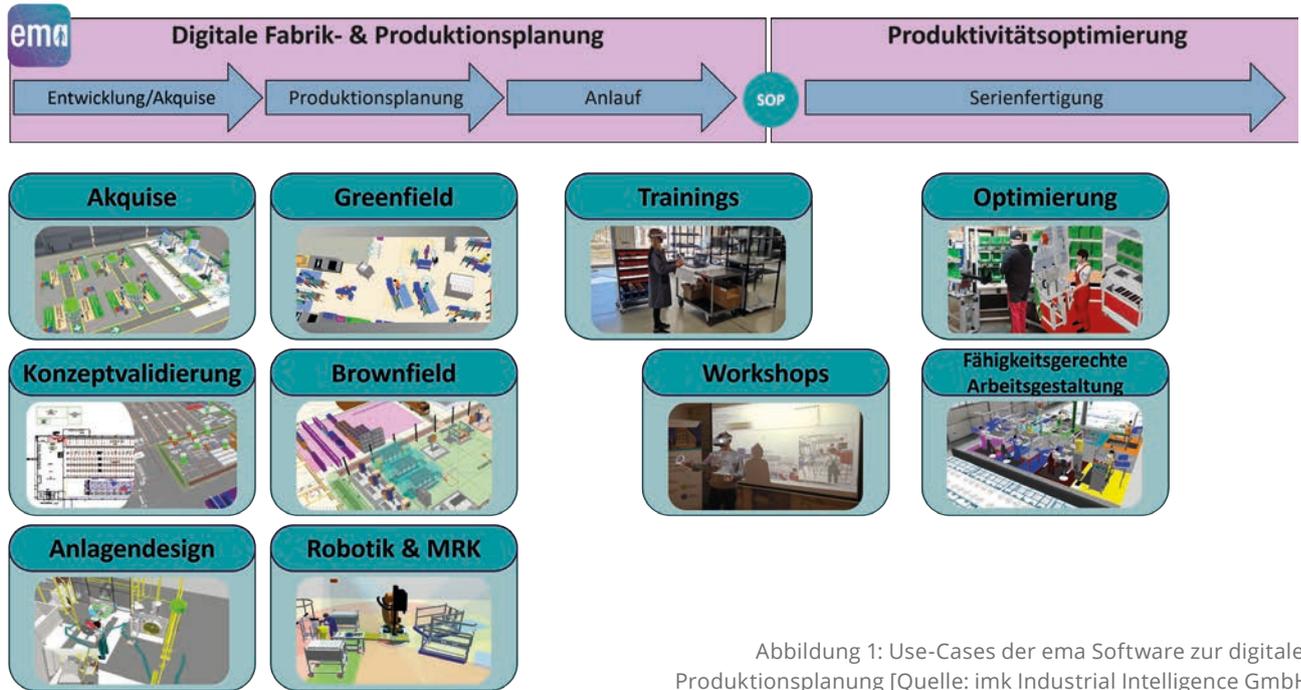


Abbildung 1: Use-Cases der ema Software zur digitalen Produktionsplanung [Quelle: imk Industrial Intelligence GmbH]

## Anwendungsfelder

Die Abbildung 1 zeigt exemplarisch verschiedene Einsatzmöglichkeiten des ema Work Designers in der digitalen Produktionsplanung.

Die Nutzung digitaler Tools ermöglicht insbesondere in den frühen Akquise- und Planungsphasen valide Aussagen zu Stückzahlen, Dimensionierung von Produktions- und Lagerflächen sowie die notwendige Anzahl an Anlagen und Mitarbeitern (inkl. entsprechenden Qualifikationen). Das digitale Modell ermöglicht zusätzlich einen schnellen Variantenvergleich z. B. von Layouts oder Stückzahlenszenarien. Die Abbildung 2 zeigt ein Beispiel aus dem Bereich der Konzeptvalidierung und Optimierung einer Fertigung aus dem Bereich der Medizintechnik. Mit Hilfe der Vorabvalidierung und weiterführenden Optimierung konnten im Vergleich zum angedachten Konzeptstand die Stück-

zahl um 25 % erhöht werden, bei gleichzeitiger Reduktion der Anzahl an Arbeitsplätzen (-25 %) bzw. an notwendigen Mitarbeitern (-35 %).

Neben der Planung von Produktionsbereichen und kompletter Montagelinien werden digitale Simulationen auch im Umfeld der Integration von erweiterten Montage- und Fertigungstechnologien genutzt. In Abbildung 3 ist ein Beispiel zur Simulation und Realisierung eines Schwerlastroboters in Kombination mit manuellen Tätigkeiten zur Montage von Sanitär-Elementen dargestellt. Dank der vorherigen Absicherung mittels 3D-Simulation konnte in diesem Projekt, welches u.a. gemeinsam mit dem Fraunhofer IWU Chemnitz durchgeführt worden ist, die Inbetriebnahme der Anlage in weniger als 6 Monaten realisiert werden und hat zu einer deutlichen Reduzierung der Taktzeit (-47 %) und einer Verringerung der ergonomischen Belastung der Werker geführt.

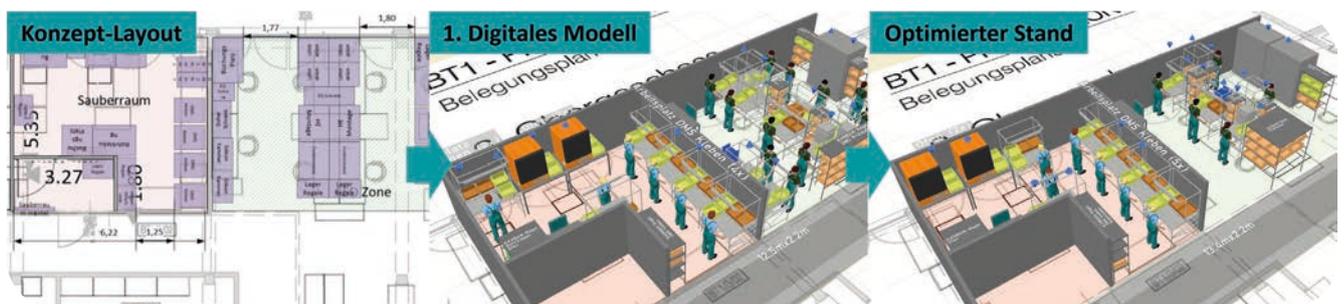


Abbildung 2: Beispiel zur Konzeptplanung und Optimierung in der Medizintechnik [Quelle: <https://imk-ema.com/projekt/digitale-planung-simulation-der-produktion-von-axon-rohradaptern-fuer-die-otto-bock-healthcare-products-gmbh/>]



Dabei ist nicht zwangsläufig eine vollständige Simulation oder der komplette digitale Zwilling notwendig, sondern abhängig von der Zielsetzung und der Verfügbarkeit von Daten (Produkt, Ressourcen, Layout) sind valide Aussagen auch auf Basis von Annahmen/Erfahrungswerten, Ersatzgeometrien oder Zusatztechnologien (z. B. 3D-Laserscan) möglich. Das wird an einem weiteren Anwendungsbeispiel deutlich: der Optimierung eines Vormontagebereiches für Landmaschinenkomponenten (Abbildung 4). Eine Vor-Ort-Begehung und Analyse der digitalen (Laufwegs-)Simulation bildet die Grundlage für die Lösungsentwicklung sowie

die Gestaltung verschiedener Varianten. Dabei können die erfahrenen Produktionsmitarbeiter einbezogen werden, indem ihnen der digitale Entwurf der optimierten Vormontage in einem Workshop vorgestellt wird. Darauf aufbauend können sehr genaue technische Spezifikationen und Lastenhefte abgeleitet werden, welche anschließend eine schnelle Realisierung ermöglichen. Der kontinuierliche Abgleich des digitalen Planungszustandes mit den implementierten Aufbauten erleichtert die Inbetriebnahme und sichert die Wirksamkeit der definierten Lösung (in diesem Beispiel: -40 % Fertigungszeit und -25 % Fläche).

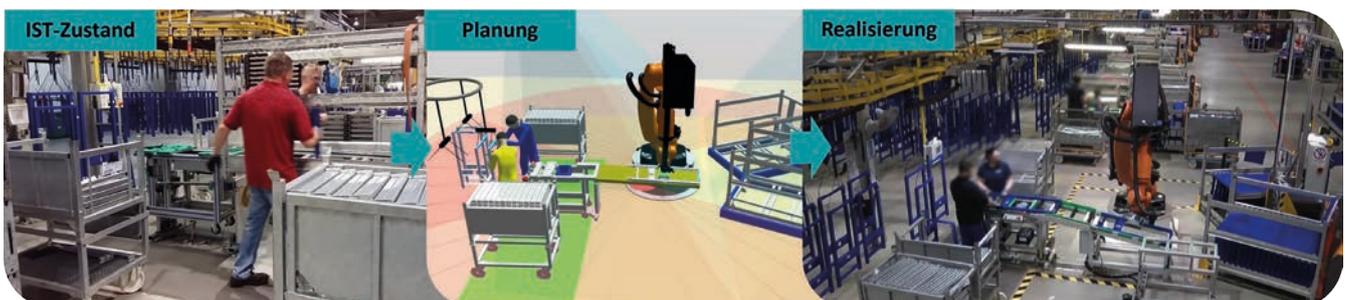


Abbildung 3: Beispiel zur Planung und Realisierung einer Mensch-Roboter-Kooperation  
[Quelle: <https://imk-ema.com/projekt/geberit-lichtenstein-gmbh/>]

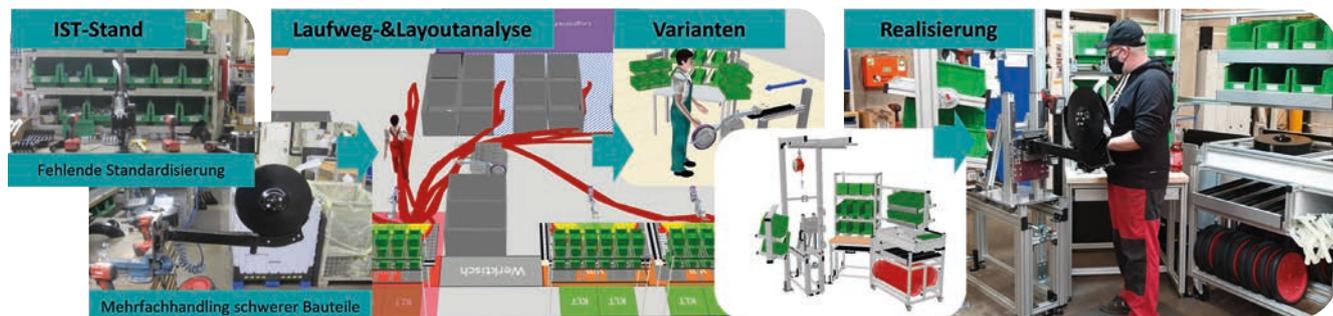


Abbildung 4: Beispiel zur Optimierung bestehender Vormontage-Arbeitsplätze  
 [Quelle: <https://imk-ema.com/projekt/optimierung-der-vormontage-von-landmaschinenkomponenten/>]

Der Vorteil eines digitalen Fabrik- und Prozesszwillinges liegt auch in der Weiter- und Nachnutzung der initial erstellten Modelle. So können z. B. mit der Verwendung von Virtual Reality Technologien die Simulationen auch zum Werkertraining oder auch in Verbindung mit Optimierungsworkshops zum „Erleben“ der Arbeitssituationen genutzt werden (Abbildung 5). Die Nutzung der Simulationen in „virtuellen Workshops“ kann sogenannte Kartonagen-

Workshops oder die Verwendung von teuren physischen Prototypen bzw. Mockups ersetzen. Darüber hinaus können die Simulationen erneut als Grundlage weiterführender Planungen dienen, z. B. bei Produktänderungen oder der Integration neuer Produkte und Fertigungstechnologien.





Abbildung 5: Beispiel zur Nutzung von Virtual Reality in Werkertrainings und virtuellen Workshops [Quelle: imk Industrial Intelligence GmbH]

## Zusammenfassung

Mit der durchgängigen Nutzung von digitalen Fabrik- und Prozesszwillingen kann ein „Closed-Loop“ Ansatz aus Entwicklung, Planung und Produktion unterstützt werden, der letztendlich einen deutlichen Effizienzgewinn im Planungsprozess ermöglicht (Abbildung 6). Im Vergleich zum konventionellen Planungsprozess bestätigen die Anwendungsprojekte, dass sich im Durchschnitt Kosteneinsparungen von ca. 35 % realisieren lassen, indem insgesamt weniger Ressourcen (Personal, Material, Zeit) benötigt werden. Der Zeitaufwand für den gesamten Planungsprozess und damit die „Time-to-Market“ lässt sich um ca. 25 % verringern, bei gleichzeitig höherem Reifegrad (Ziel: 100 %) zum Start-of-Production (SOP).

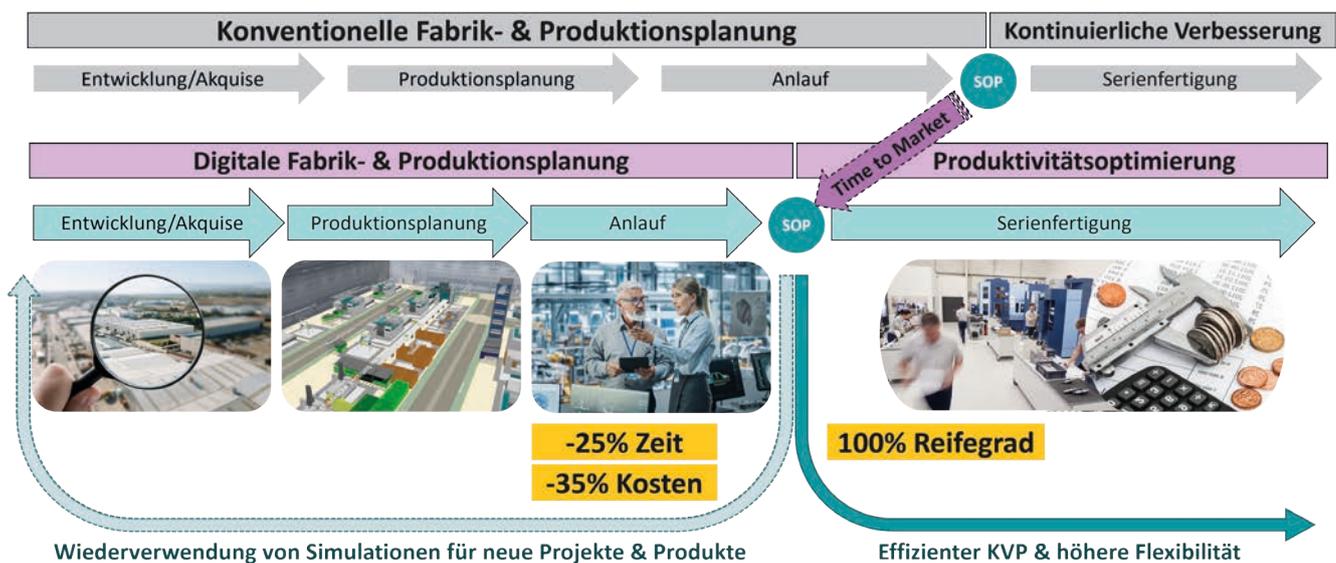


Abbildung 6: Vorteile der digitalen Fabrik- & Produktionsplanung und Produktivitätsoptimierung im Vergleich zum konventionellen Vorgehen [Quelle: imk Industrial Intelligence GmbH]

# Digitale Zwillinge in der digitalen Fabrik

## BIM-Modellinformationen, Shopfloor- und Energiedaten kombiniert in einer Umgebung

In unserer täglichen Praxis als Digitalisierungspartner treffen wir auf verschiedenste Unternehmen mit sehr unterschiedlichem Digitalisierungsgrad. Einige verfügen bereits über zahlreiche Daten aus ihrer digitalen Fabrik, jedoch sind diese oft nicht automatisiert zugänglich oder in separaten Datensilos abgelegt. Andere wiederum verwalten ihre Informationen noch immer in Excel-Tabellen. Und nach wie vor treffen wir auch auf Betriebe, die nur über sehr wenige digitale Daten verfügen – obwohl sämtliche relevante Softwaretechnologien und Sensoren bereits am Markt verfügbar sind.

Der Aufbau eines digitalen Zwillings einer Fabrik ist heutzutage aus unserer Sicht für jedes Unternehmen realisierbar – ohne hohe Investitionen oder lange Projektlaufzeiten einplanen zu müssen. Die Einführung erfolgt schrittweise, kann an den vorhandenen Datenbestand angepasst werden und führt häufig zu kurzen Amortisationszeiten (ROI).

**Autor:**

**Björn Schuster**

Bereichsleiter Business  
Development

N+P Informationssysteme  
GmbH

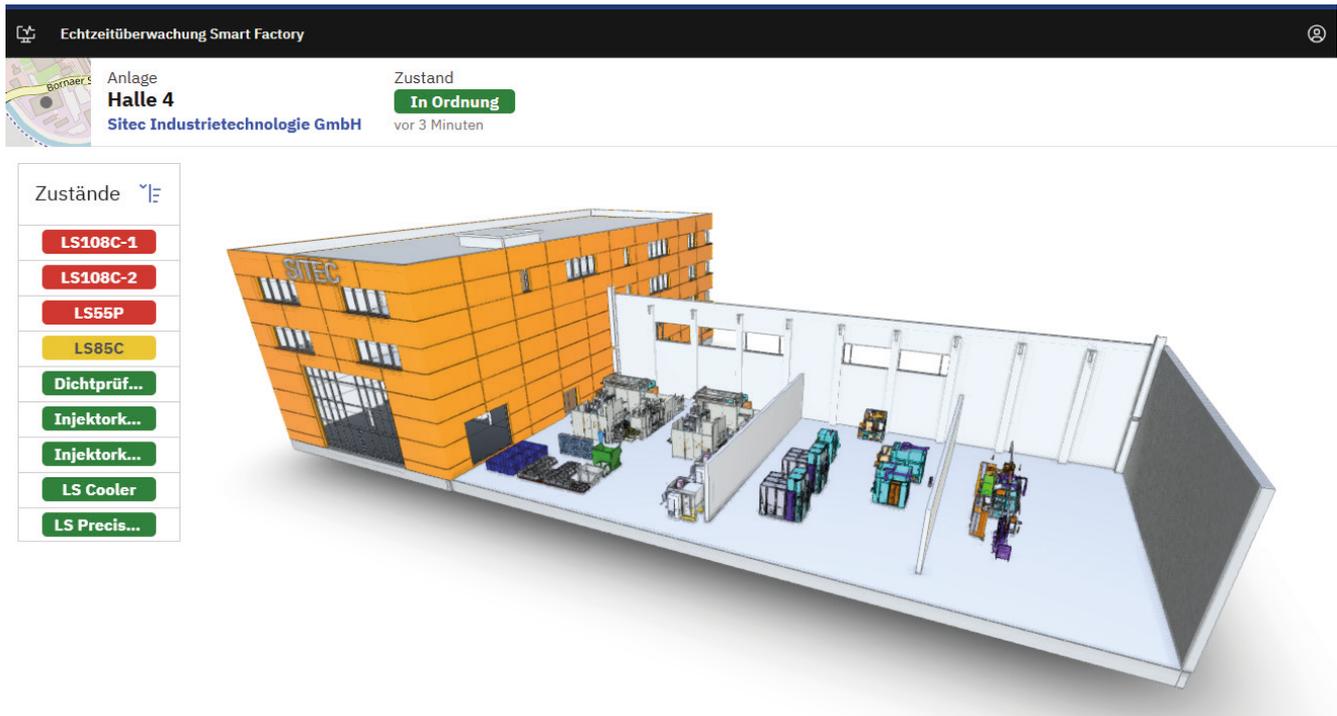


Abbildung 1: Digitaler Zwilling einer Fabrik in der N+P Plattform [Quelle: N+P Informationssysteme GmbH]

## Einführung in die digitale Fabrik

Digitale Zwillinge sind virtuelle Abbilder physischer Fabriken. Sie verknüpfen Daten aus Planung, Betrieb und Energieverbrauch in Echtzeit. Durch die Kombination von BIM-Modellen mit Shopfloor- und Energiedaten sowie Informationen zur technischen Gebäudeausrüstung entsteht ein umfassendes Abbild, das für mehr Transparenz sorgt und schnellere Entscheidungen ermöglicht.

### 1. BIM und digitale Fabrik

Building Information Modeling (BIM) erfasst alle relevanten Gebäudedaten – darunter Geometrie, Bauteile und technische Informationen – in einem zentralen Modell. Bereits während der Fabrikplanung lassen sich so Simulationen durchführen, um zu prüfen, wie Maschinen, Transportwege und Infrastruktur optimal zusammenwirken und davon abgeleitet optimale Produktionsabläufe gewährleisten zu können.

Die digitale Fabrik verbindet CAD/PLM-, MES/BDE/MDE- und ERP-Systeme, um Planungsdaten, Echtzeitinformationen vom Shopfloor und Geschäftsprozesse miteinander zu verknüpfen. Dabei gewinnen neben Produktionsdaten zunehmend auch Daten aus der technischen Gebäudeausrüstung an Bedeutung – etwa Informationen zum Energieverbrauch, zum Status von Klimaanlagen, Schutzgasverbräuchen oder ähnlichen.

### 2. BIM-Modelle als Basis

Um bereits in der Planungsphase Hallenlayouts zu optimieren und Engpässe zu vermeiden, setzen immer mehr Unternehmen auf BIM-Modelle. Diese enthalten sowohl 3D-Geometrien als auch Metadaten, etwa zu Wartungszyklen, Maschineninformationen oder Herstellerangaben. All diese Informationen bieten eine leicht verständliche und visuell zugängliche Grundlage zur Darstellung komplexer Zusammenhänge.

### 3. Echtzeitdaten im digitalen Zwilling

Zunehmend nutzen Unternehmen MES-Systeme, um kontinuierlich Produktionskennzahlen wie Stückzahlen, Ausschuss, OEE sowie Maschinenzustände zu erfassen. Ziel ist es häufig, diese Daten mit dem ERP-System zu verbinden. Für Unternehmen, denen ein vollständiges MES-System zu komplex erscheint, existieren heute zahlreiche Technologien, um Maschinenzustände oder andere Werte auch ohne aufwändige Systeme zu erfassen. Diese Daten schaffen eine neue Transparenzebene und ermöglichen schnelle Reaktionen auf Störungen sowie eine bedarfsgerechte Wartung.

Wichtig ist dabei, die gewonnenen Echtzeitdaten einfach und verständlich aufzubereiten – im Idealfall im Kontext mit den 3D-Daten aus dem BIM-Modell. Dadurch erhalten alle rele-

vanten Entscheider einen schnellen Einblick und können gezielt Maßnahmen ableiten (siehe Abbildung 1). In der Praxis zeigt sich: Die systematische Erfassung von Echtzeitdaten führt häufig zu erheblichen Produktivitätssteigerungen.

#### 4. Nachhaltigkeit im digitalen Zwilling

Neben der Produktivitätssteigerung und der Vermeidung von Abfall ist auch die systematische Erfassung der Energieverbräuche ein zentraler Bestandteil nachhaltiger Fabrikprozesse – insbesondere vor dem Hintergrund wachsender Reportingpflichten. Doch auch hier stellen wir häufig fest: Die Daten sind entweder nicht verfügbar oder werden nur manuell und mit hohem Aufwand erfasst. Der digitale Zwilling schafft Abhilfe. Smarte Zähler können Energieverbräuche automatisiert erfassen. Analoge Zähler lassen sich mithilfe intelligenter Apps unkompliziert per Foto dokumentieren. Dies gilt nicht nur für Strom, sondern auch für Wasser, Gas und Schutzgasverbräuche (siehe Abbildung 2).

#### 5. Nutzen und Ausblick

Durch die einfache Vernetzung von BIM-Modell, Shopfloor- und Energiedaten innerhalb eines digitalen Zwillinges der Fabrik steigt die Effizienz spürbar: Transparente Prozesse ermöglichen gezielte Maßnahmen, Wartungskosten werden gesenkt und Energieeinsparungen gefördert – ein klarer Beitrag zur Nachhaltigkeit. Ein Blick in die Zukunft zeigt weiteres Potenzial: KI-basierte Analysen können Muster in Verlaufsdaten erkennen und Vorhersagen zu möglichen Ausfällen treffen – bevor diese überhaupt auftreten. Besonders wichtig ist: Der Weg zur digitalen Fabrik lässt sich schrittweise und mittelstandsgerecht gestalten – mit überschaubarem Aufwand und klar messbarem Mehrwert.

#### Fazit

Digitale Zwillinge auf Basis der N+P-Plattform verbinden BIM-Modelle mit realen Betriebsdaten und sind damit der Schlüssel zu einer vernetzten, effizienten Fabrik. Durch die Integration von Shopfloor- und Energiedaten entsteht ein dynamisches, lebendiges Abbild der Produktion – ein entscheidender Baustein für mehr Transparenz, Effizienz und zukunftssichere Entscheidungen.

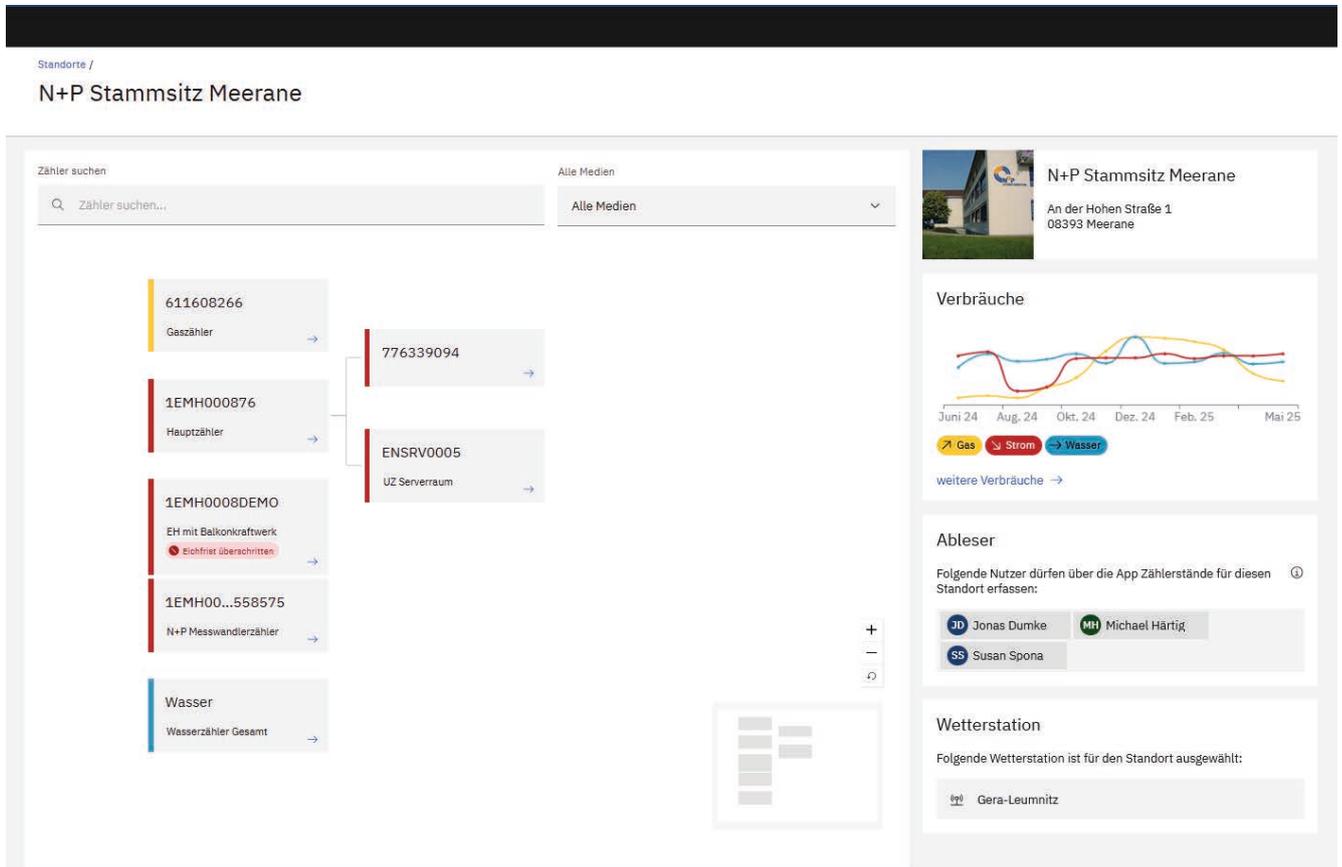


Abbildung 2: Abbildung der Zählerstruktur im Energiecontrolling in der N+P Plattform [Quelle: N+P Informationssysteme GmbH]

Autor:

Anton Mauersberger

Fraunhofer-Institut für  
Werkzeugmaschinen und  
Umformtechnik IWU

# smartTOOL

## Wenn Werkzeuge zu intelligenten Partnern werden

**M**oderne Produktionsprozesse stehen unter hohem Druck: Maximale Qualität, minimale Ausschussraten, kurze Rüstzeiten und höchste Verfügbarkeit werden zur Norm – nicht zur Ausnahme. Besonders in der Zerspanung, wo Werkzeugbelastungen, Prozesskräfte und Verschleiß oft unvorhersehbar schwanken, ist Prozesssicherheit und Effizienz entscheidend. Doch bislang arbeiten Werkzeuge still und stumm – sie verrichten ihre Aufgabe, liefern aber kaum Informationen über ihr Innenleben. Das Projekt smartTOOL ändert das grundlegend: Es macht das Werkzeug selbst zum intelligenten Sensorträger und Datenlieferanten – direkt an der Quelle des Geschehens.



## Herausforderung: Unsichtbare Risiken in der Zerspangung

In der Zerspangung können schon kleinste Abweichungen zu Qualitätseinbußen, Werkzeugbrüchen oder ungeplanten Stillständen führen. Informationen über Verschleiß, Belastung oder mögliche Prozessstörungen werden bisher oft nur indirekt oder verzögert erfasst – eine reaktive Strategie mit Risiken. smartTOOL verfolgt einen proaktiven Ansatz: Durch die Integration von Sensorik und Elektronik direkt in den Werkzeughalter werden Kräfte, Vibrationen und Temperaturen in Echtzeit erfasst – während des laufenden Bearbeitungsprozesses.

Ein besonderes Highlight: Die Energieversorgung des Systems erfolgt autark über Energy Harvesting. Die beim Zerspangen entstehenden Vibrationen werden genutzt, um elektrische Energie zu erzeugen – ganz ohne externe

Stromversorgung oder Batteriewechsel. Damit ist smartTOOL wartungsarm, robust und durchgängig einsatzbereit.

Die erfassten Daten bilden die Grundlage für einen Digitalen Zwilling des Werkzeugs, der Zustand, Belastung und Lebensdauer exakt abbildet. Unternehmen erhalten so permanenten Einblick in das reale Geschehen und können Prozesse gezielt überwachen, regeln und optimieren – ein echter Schritt in Richtung smarter, vernetzter Fertigung.

## Intelligenz im Werkzeug – Daten für Effizienz und Qualität

smartTOOL macht das Werkzeug selbst zum aktiven Teil der Maschinenintelligenz. Die erfassten Sensordaten werden nicht nur gespeichert, sondern auch ausgewertet – zur





Optimierung von Schnittparametern, zur Früherkennung von Werkzeugverschleiß oder zur automatischen Anpassung von Bearbeitungsstrategien. In Kombination mit Cloud- und Edge-Technologien entsteht ein umfassendes System, das lokal wie global wertvolle Erkenntnisse liefert.

Der Digitale Zwilling, gespeist aus realen Live-Daten, begleitet das Werkzeug über seinen gesamten Einsatz hinweg – von der ersten Bearbeitung bis zum Austausch. So wird die Planung präziser, Wartung vorausschauend und die Qualität messbar gesteigert.

## Umsetzung in der Praxis

Umgesetzt wurde smartTOOL in der Zerspaltung, speziell bei der Bearbeitung anspruchsvoller Bauteile mit hohen Qualitätsanforderungen. Die kompakt integrierte Sensorik im Werkzeughalter liefert verlässliche Daten unter rea-

len Produktionsbedingungen – selbst bei hohen Drehzahlen, Kräften und Temperaturschwankungen. Durch Energy Harvesting ist das System energieautark und kann überall eingesetzt werden – ohne zusätzliche Infrastruktur.

## Fazit: Werkzeuge werden smart – und die Zerspaltung effizienter

smartTOOL zeigt, wie Digitalisierung tief in den Produktionsprozess hineinwirkt – bis ins Werkzeug selbst. Der Digitale Zwilling des Werkzeugs macht Fertigung transparenter, sicherer und effizienter. Unternehmen, die auf solche Lösungen setzen, steigern nicht nur ihre Produktivität, sondern legen die Basis für intelligente, selbstlernende Fertigungssysteme. Wer sein Werkzeug versteht, beherrscht seinen Prozess – autark, vernetzt und vorausschauend.

# Pantotea

## Digitaler Zwilling als Möglichkeit des Wissenstransfers von Facharbeitern auf ein technisches System

Autor:

Simon Burger

Fraunhofer-Institut für  
Gießerei-, Composite- und  
Verarbeitungstechnik  
IGCV

Die europäische Gesellschaft kämpft seit längerem mit demographischen als auch strukturellen Änderungen. Hierbei steht im industriellen Umfeld primär der Facharbeiter im Fokus. Durch das Ausfallen der geburtenstarken Jahrgänge mit jahrzehntelanger Erfahrung in den Fachbereichen und dem mangelnden Nachzug von qualifiziertem Personal, steht die Industrie vor extremen Herausforderungen. Um diesem Trend entgegenzuwirken, wird vermehrt auf technologische Ansätze zurückgegriffen. Hierbei haben sich intelligente Systeme und digitale Zwillinge als hilfreich erwiesen, um das Wissen von Facharbeitern auf technische Systeme zu übertragen. Zudem können diese Systeme körperlich anstrengende Arbeiten erleichtern, indem sie belastende Aufgaben übernehmen. Im Bereich der Gießertechnik steht hier vor allem die Nachbearbei-

tung bzw. Gratentfernung im Vordergrund. Die als Putzen bezeichnete Tätigkeit ist mit einem hohen Maß an physischer Beanspruchung verbunden und birgt ein großes Gefahrenpotenzial. In der Großserienfertigung von kleineren Bauteilen findet eine Teil- oder Vollautomatisierung dieser Tätigkeit statt<sup>2</sup>. Der Grat bezeichnet eine unerwünschte Ausprägung an Material im Bereich der Formteilung, die in verlorenen Sandformen entsteht. Je nachdem wie komplex die Form ist, weist diese mehrere konturbildende Formelemente auf, die wiederum zu ausgeprägten Gratbildungen führen. Neben den entstehenden Gussgraten muss auch der Anschnitt (Schmelze wird über dieses Zuführsystem in den Formhohlraum transportiert) und Speiser (Dienen dazu, die durch Schrumpfung des Metalls bei Abkühlung entstehenden Defekte zu vermeiden) entfernt werden<sup>1</sup>.

## Herausforderung und Aufgabenstellung

Die Herausforderung in dem Projekt Pantotea liegt in der Übertragung von jahrzehntelanger Facharbeitererfahrung auf ein technisches System. Dabei führt ein Mitarbeiter ein Dummy-Werkzeug, das der Form und Abmessung des Realwerkzeugs (z. B. einer Flex) entspricht. Dieses Dummy-Werkzeug ist mit einem optischen Trackingsystem ausgestattet und ermöglicht dadurch die Bewegungen des Facharbeiters in Form einer Trajektorie zu erfassen. Das auch als Teach-In bezeichnete Übertragen der Bewegungsdaten kann nun ausgewertet und so aufbereitet werden, dass es an einen Roboter übertragen werden kann. Ist der Arbeitsbereich des Putzroboters gegenüber der Bauteilgröße begrenzt, wird das Bauteil umgesetzt und es wird erneut geteacht.

## Ansatz für die Umsetzung

Die Idee, den Putzprozess, der ursprünglich von einem Facharbeiter ausgeführt wird auf ein technisches System zu übertragen soll folgendermaßen umgesetzt werden. Zunächst wird das Trennwerkzeug mit einem Tracking System ausgestattet. Dadurch sind Bewegungen, die ein Facharbeiter ausführt in ihrer Trajektorie übertragbar. Dieses Bild des Bewegungsmusters ist in Abbildung 1 a gezeigt. Ist die Trajektorie übertragen, kann diese auf einen digitalen Zwilling angewendet werden. Dieser Übertrag ermöglicht die Verfahrbewegung zu optimieren, da Gussteile nicht exakt reproduzierbar hergestellt werden. Dadurch entstehen kleine Unregelmäßigkeiten der Gratkanten, welche von der Form und Lage des Idealbauteils abweichen. Ein Abgleich von Idealform der Bewegung (Trajektorie) und der tatsächlichen Bauteilform ermöglicht ein Anpassen der Be-



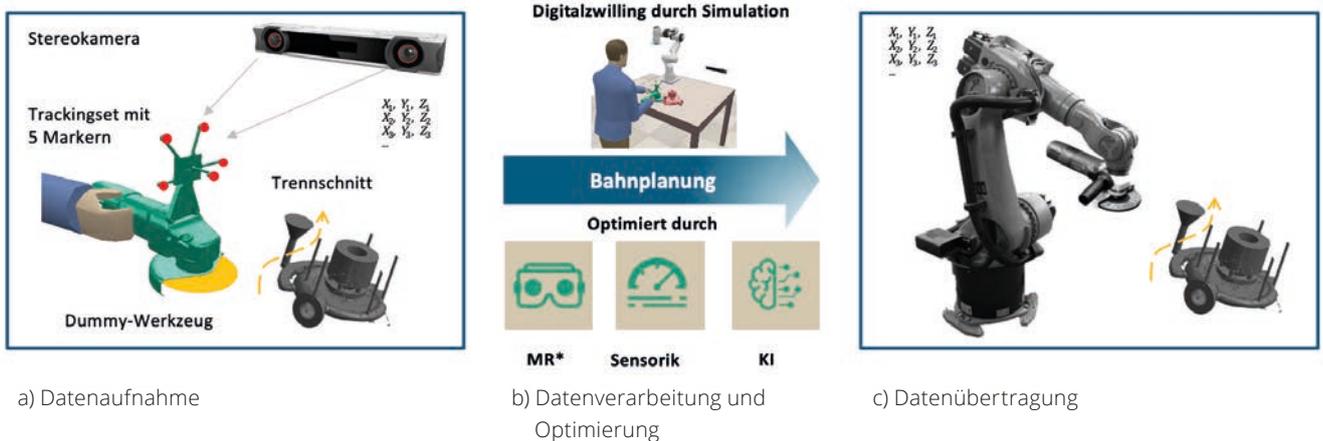


Abbildung 1: Ablauf Bauteilputzen mittels KI-unterstützten Robotersystems [© Fraunhofer IGCV]

wegungsbahn unabhängig der Form jedes Bauteils. Daher muss ein Kamerasystem zusätzlich die Abweichungen zum Ursprungsmodell bestimmen und die Differenz im Bewegungsablauf angleichen.

Die Innovation des „PANTOTEA“ besteht darin, dass der Mitarbeiter die Arbeitsbewegung mit einem Dummy-Werkzeug ausführt, das in seiner Haptik und Form dem gewohnten Werkzeug entspricht. Die „klassische Werkzeugfunktion“ ist dabei nicht eingeschaltet und es ist beispielsweise keine Schneidscheibe eingebaut. Diese Scheibe wird virtuell dargestellt, z. B. durch einen optisch sichtbaren Laser (Holographie-Laser). Der durch den Mitarbeiter durchgeführte Bewegungsablauf des Dummy-Werkzeuges wird dabei erfasst und daraus eine Bewegungsbahn errechnet. Diese ermittelte Sollbewegungsbahn wird in die notwendigen Achsbewegungen des Roboters aufgeschlüsselt und nach einer Kollisionsprüfung im Umgebungsraum an den Putzroboter übertragen. Alternativ werden die Randbedingungen für die Unterstützung durch die Nutzung einer VR-Brille im Mixed-Reality-Verfahren betrachtet.

Nach dem Verlassen des Mitarbeiters wird der Putzvorgang gestartet und der Putzroboter führt den tatsächlichen Bearbeitungsvorgang aus. Eine gleichzeitige Mensch-Maschine-Interaktion findet aus Arbeitssicherheitsgründen nicht statt, da die in diesem Bereich dazu notwendigen Aufwendungen den angegebenen Rahmen deutlich übersteigen würden. Während des automatischen Putzvorgangs kann der Mitarbeiter andere Tätigkeiten, oder z. B. auch vorbereitende oder nachbereitende Tätigkeiten in einer weiteren Putzzone durchführen. Durch die Auswertung der erfassten Daten des Putzprozesses mittels einer KI-Anwendung wird eine selbstlernende Optimierung angestrebt. Die Entwicklung und der erstmalige Einsatz einer solchen Technologie in dem sehr rauen und anspruchsvollen Umfeld der Gießerei birgt verschiedene Risiken. Ein entscheidender Risikofaktor ist die Staubeinwirkung auf die optische Sichtbarkeit der Stereokamera. Zudem sind nicht vorhersehbare Reaktionskräfte

auf das technische System zu beachten. Eine Anpassung der Putztechnologie erfordert eine Anpassung der Reihenfolge der Putzschnitte. Ferner sind im System nicht mitberechnete Positionen der abgetrennten Materialvolumina bei nachfolgenden Putzschnitten zu berücksichtigen. Der Einsatz des „Pantomime Roboter-Teaching“ im Bereich des Gussputzens von Handform-Großgussteilen ermöglicht die Entlastung der Mitarbeiter, die Stabilisierung der Prozesszeiten, die Mehrarbeitsplatzbetreuung sowie die Standardisierung der Putzqualität. Diese Aspekte sind im Folgenden als Vorteile zusammengefasst.

#### Vorteile:

- Bahnaufnahme mit hoher Genauigkeit
- Keine Programmierkenntnisse erforderlich
- Dummy-Werkzeug: Trennscheibe, Fräser
- Einbinden des Know-Hows der Facharbeiter
- Automatische Übersetzung in Roboteranweisungen
- Unterstützung durch KI-Algorithmus zur Optimierung der Hand-„Geteachten“-Bahnen
- Prozessüberwachung mit integrierten Sensoren

<sup>1</sup> Verein Deutscher Giessereifachleute e.V. VDG in Zusammenarbeit mit der TU München - Fakultät für Maschinenwesen, Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen. Grundlagen der Gießertechnik.

<sup>2</sup> Villagrossi, E., Cenati, C., Pedrocchi, N., Beschi, M., and Molinari Tosatti, L. 2017. Flexible robot-based cast iron deburring cell for small batch production using single-point laser sensor. Int J Adv Manuf Technol 92, 1-4, 1425-1438.

# Die digitale Bauteilakte

## Wie Unternehmen ihre Produktion zukunftsicher machen

Autor:

Anton Mauersberger

Fraunhofer-Institut für  
Werkzeugmaschinen und  
Umformtechnik IWU

**M**oderne Unternehmen stehen unter wachsendem Druck, ihre Prozesse effizient, transparent und nachhaltig zu gestalten. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Qualitätssicherung und Rückverfolgbarkeit. Wer Bauteile produziert, muss nicht nur liefern, sondern auch nachweisen können, wie und unter welchen Bedingungen ein Produkt entstanden ist. In globalen Lieferketten und bei sicherheitsrelevanten Anwendungen wird diese Fähigkeit zur lückenlosen Dokumentation zum entscheidenden Wettbewerbsvorteil.



## Die digitale Bauteilakte als technisches Gedächtnis

Die digitale Bauteilakte ist ein zentrales Instrument zur lebenszyklusübergreifenden Dokumentation technischer Komponenten. Sie enthält strukturierte Informationen zu eingesetzten Werkstoffen, Fertigungsprozessen, thermischen und mechanischen Behandlungen sowie zu Umwelteinflüssen und Nutzungskontexten. Im Mittelpunkt steht die präzise Erfassung der Werkstoffstruktur, da diese maßgeblich die Funktionalität, Lebensdauer und Wiederverwertbarkeit eines Bauteils bestimmt.

Die Erhebung dieser Daten erfolgt zunehmend automatisiert durch integrierte Sensorik, optische Prüfverfahren und zerstörungsfreie Materialanalytik. Dabei werden Parameter wie Härteverläufe, Gefügeeigenschaften, Rissbildungen oder thermische Spannungen in Echtzeit erfasst und klassifiziert. Die Daten werden einer individuellen Bauteilakte zugeordnet und ermöglichen eine fundierte Bewertung hinsichtlich Qualität, Belastbarkeit und Einsatzgrenzen, auch nach mechanischer oder thermischer Beanspruchung.

Ein besonders innovativer Bestandteil der digitalen Bauteilakte ist der Material-Fingerprint. Er ermöglicht die eindeutige Identifikation eines Bauteils anhand seiner intrinsischen physikalisch-chemischen Eigenschaften, etwa elektrische Leitfähigkeit, Dichte, magnetische Eigenschaften oder spektrale Signaturen. Diese Merkmale bleiben auch nach Umformung, Lackierung oder mechanischer Bearbeitung erhalten und erlauben eine robuste Rückverfolgbarkeit über den gesamten Lebenszyklus hinweg.

Zur Erfassung dieser Merkmale kommen hochauflösende Sensorsysteme zum Einsatz, insbesondere auf Basis der Wirbelstromtechnologie. Die gewonnenen Daten werden durch maschinelle Lernverfahren analysiert. Neuronale Netzwerke extrahieren charakteristische Merkmalsvektoren, die eine eindeutige Wiedererkennung ermöglichen, markerfrei, zuverlässig und unabhängig von äußeren Veränderungen. Als technische Umsetzung zur Identifikation innerhalb der digitalen Bauteilakte eignet sich der Material-Fingerprint besonders gut.

Ein praktisches Beispiel ist die Identifikation eines Karosseriebauteils wie dem B-Säulenfuß. Bereits im Zustand des

Blechzuschnitts wird ein Fingerprint erfasst, der auch nach Umformung und Beschichtung eine eindeutige Zuordnung erlaubt. So wird eine durchgängige Rückverfolgbarkeit innerhalb der Fertigungskette möglich.

## Digitale Infrastruktur: Asset Administration Shell

Die digitale Bauteilakte wird in einer semantisch strukturierten Datenumgebung verwaltet, die den durchgängigen Zugriff auf bauteilbezogene Informationen über den gesamten Lebenszyklus hinweg ermöglicht. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Asset Administration Shell (AAS). Sie fungiert als digitale Repräsentation eines physischen Objekts, etwa eines Bauteils oder einer Baugruppe und bildet sämtliche relevanten Informationen strukturiert in sogenannten Submodellen ab. Dazu zählen unter anderem Angaben zu Werkstoffen, Fertigungsprozessen, Nutzungshistorie oder Umweltwirkungen. Durch ihre standardisierte Struktur erlaubt die AAS eine einheitliche, maschinenlesbare und interoperable Bereitstellung technischer Daten über System- und Unternehmensgrenzen hinweg und bildet damit

die technologische Grundlage für Industrie-4.0-Anwendungen sowie für die Integration in Konzepte wie den Digitalen Produktpass.

## Verbindung zum Digitalen Produktpass

Besonders relevant wird die digitale Bauteilakte im Kontext des Digitalen Produktpasses (DPP), der ab 2026 schrittweise eingeführt wird. Ziel ist es, Informationen zu Materialzusammensetzung, Reparaturfähigkeit, CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und Recyclingpotenzial bereitzustellen. Der DPP soll Transparenz über den gesamten Produktlebenszyklus schaffen und die Kreislaufwirtschaft fördern.

Die digitale Bauteilakte liefert dafür die notwendige Detailtiefe auf Komponentenebene. Sie ermöglicht die strukturierte Bereitstellung und Validierung der relevanten Informationen, die im DPP zusammengeführt werden. Unternehmen, die frühzeitig in digitale Rückverfolgbarkeit investieren, sichern sich regulatorische Konformität und Wettbewerbsvorteile in einer datengetriebenen, nachhaltigen Industrie.





# DiSerHub

Der erste Transformationshub, der alle Dimensionen im Wertschöpfungsprozess eines Fahrzeugs adressiert: Produktion, Vertrieb, Nutzung und Recycling. Erfahren Sie mehr zu Handlungsoptionen für digitale Geschäftsmodelle und Services. Werden Sie Teil von DiSerHub. Profitieren Sie von umfassendem Wissen, nutzen Sie Synergien, erhalten Sie effektive Lösungen, beschleunigen Sie Ihre digitale Transformation. [Navigieren Sie Richtung Zukunft.](#)

## 5 Partner. 5 Standorte. 1 Netzwerk.



[diserhub.de](https://diserhub.de)