

# ERGEBNISPAPIER „FORSCHUNG, ENTWICKLUNG & INNOVATION IN DER INDUSTRIE 4.0“

PRIORITÄRE FORSCHUNGSFELDER & MASSNAHMEN ZUR  
FÖRDERUNG DER ÖSTERREICHISCHEN FORSCHUNGSLANDSCHAFT

Verein Industrie 4.0 Österreich



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>VORWORT</b> .....	<b>5</b>
<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>6</b>
1.1 Executive Summary (deutsch)	8
1.2 Executive Summary (englisch)	9
<b>2. POSITIONIERUNG</b> .....	<b>10</b>
<b>3. FORSCHUNGSFELDER INDUSTRIE 4.0</b> .....	<b>12</b>
3.1 Virtualisierung	16
3.2 Sensorsysteme	19
3.3 Software Engineering	21
3.4 Physische Systeme	23
3.5 Cyber-physical Systems	26
3.6 Arbeits- und Assistenzsysteme	29
3.7 Wertschöpfungsnetzwerke und Geschäftsmodelle	32
3.8 Domänenwissen und Schlüsseltechnologien	34
<b>4. FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND INNOVATION IN ÖSTERREICH</b> .....	<b>36</b>
4.1 F&E-Finanzierung im Bereich Industrie 4.0 und Digitalisierung auf nationaler Ebene	37
4.2 EU-Forschungsrahmenprogramm	40
4.3 Zukunftsorientierte Gestaltung von Horizon Europe	41
4.4 Vorschläge zu einer verbesserten Nutzung von Förderprogrammen	41
4.5 Erhöhung der Dotierung des Programms Produktion der Zukunft	42
4.6 Absicherung eines Mix aus direkter F&E-Förderung und steuerlicher Begünstigung	43
<b>5. ÖSTERREICHISCHE USE CASES</b> .....	<b>44</b>
5.1 Salvagnini: Digitaler Zwilling für vollautomatisierte Produktion mit Losgröße 1 bei Blechbiegeautomaten	45
5.2 RHI Magnesita: Prozessoptimierung durch visuelle Analyse von Massendaten	47
5.3 Haas Fertigungsbau: Monitoring von Produkten im Umfeld Industrie 4.0	49
5.4 ABB: Software Engineering für Robotereinsatz in Holzindustrie	50
5.5 Metadynea Austria/Sandoz: Prozessoptimierung durch Prozessintegrierte Messtechnik	51
5.6 JELD-WEN: Umfassende Qualitätssicherung in der Losgröße 1 Türproduktion	54
5.7 Lithoz: Additive Fertigung von Hochleistungskeramik	56
<b>6. DANK</b> .....	<b>58</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS/IMPRESSUM</b> .....	<b>60</b>





Geschätzte Leserinnen und Leser!  
Liebe Mitglieder der Plattform Industrie 4.0!

Die Digitalisierung von Produkten, Dienstleistungen, Engineering- und Geschäftsprozessen hat die nächste Entwicklungsstufe der Produktion bereits eingeläutet und eröffnet der produzierenden Industrie eine Fülle an neuen Möglichkeiten. Mit den heute zur Verfügung stehenden technischen Errungenschaften lassen sich schon erste Visionen von Industrie 4.0 erfüllen. Um jedoch die volle Wirkungskraft entfalten zu können, bedarf es neuartiger Ansätze und Lösungen, für die das aktuelle Wissen erweitert und die verfügbaren Technologien weiterentwickelt werden müssen.

Die Umsetzung von Industrie 4.0 birgt großes Potential: Durch Produktinnovationen, neue Geschäftsmodelle, verbesserte Produktivität, Qualitätsverbesserungen und Ressourceneffizienz geht man von einer Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und der Reindustrialisierung aus. Oder in Zahlen ausgedrückt: Industrie 4.0 bewirkt in Österreich bis 2025 47–48 Mrd. € an zusätzlicher Produktion und 22–38 Mrd. € an zusätzlicher Wertschöpfung<sup>1</sup>. Nach heutigem Stand haben schon 6 % aller österreichischen Industrieunternehmen ihre Produktion nach Österreich zurückverlagert; Tendenz steigend!<sup>2</sup>

Da Digitalisierung kein ausschließlich technisches Phänomen ist – entscheidend ist die Frage nach der bestmöglichen, verantwortungsvollen Gestaltung der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine –, verfolgte der ExpertInnenkreis einen interdisziplinären Ansatz und ließ auch Expertisen aus den anderen ExpertInnen-Schwerpunktgruppen der Plattform Industrie 4.0 einfließen. Diesem Ansatz liegt zugrunde, dass die digitale Transformation nicht nur eine Chance für Qualitäts-, Produktivitäts- und Effizienzsteigerungen für bestehende Produkte und Produktionsanlagen ist, sondern vermehrt für völlig neue Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle. Die neuen technologischen Möglichkeiten müssen dazu genutzt werden, die Innovationsfähigkeit zu stärken, die wachsende Aufgabenkomplexität zu bewältigen und Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen bei der Gestaltung der Arbeit einzubinden, die Auswirkungen auf die Arbeitsplätze zu analysieren und Tätigkeiten qualitativ aufzuwerten. Dabei gilt es, Chancen für Innovationen rasch zu erkennen und verantwortungsvoll umzusetzen.

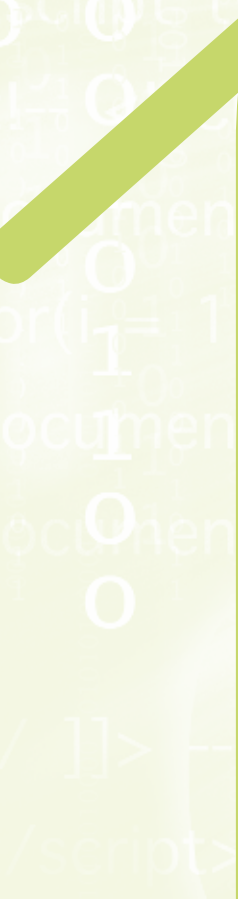
Vielorts wird diskutiert, ob sich die produzierende Industrie inmitten einer Revolution befindet, oder in einer evolutionären Transformationsphase. Fakt jedoch ist, die digitale Transformation findet statt, und Österreichs Industrie ist davon nicht ausgenommen. Die von der ExpertInnengruppe der Plattform Industrie 4.0 erarbeiteten Handlungsfelder geben daher wichtige Forschungs- und Technologieimpulse, um die Wettbewerbsfähigkeit Österreichs in der immer weiter fortschreitenden Phase der digitalen Transformation zu stärken.

Mag. Isabella Meran-Waldstein  
Bereichsleiterin Forschung, Technologie & Innovation, Industriellenvereinigung  
Vorstandsmitglied Verein Industrie 4.0 Österreich

<sup>1</sup> IWI/Pöchlhacker Innovation Consulting (2015)

<sup>2</sup> Dachs, B. et al. (2017)

# EINLEITUNG



## VEREIN INDUSTRIE 4.0 – DIE PLATTFORM FÜR INTELLIGENTE PRODUKTION

Der Verein „Industrie 4.0 Österreich“ wurde 2015 als Initiative des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie sowie von Arbeitgeber- und Arbeitnehmerverbänden gegründet. Diese erarbeiten gemeinsam mit Mitgliedern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Interessenvertretungen in spezifischen ExpertInnengruppen Strategien zur nachhaltigen und erfolgreichen Umsetzung der digitalen Transformation im Kontext von Industrie 4.0. Ziel ist es, die technologischen Entwicklungen und Innovationen durch Digitalisierung bestmöglich und sozialverträglich für Unternehmen, Beschäftigte und die Gesellschaft in Österreich zu nutzen und verantwortungsvoll umzusetzen. Der Verein Industrie 4.0 Österreich nimmt dabei eine wichtige Rolle in der nationalen und internationalen Koordinierung, Strategiefindung und Informationsbereitstellung ein.

## EXPERTINNENGRUPPE „FORSCHUNG, ENTWICKLUNG & INNOVATION“

Eine hohe Innovationsleistung trägt maßgeblich dazu bei, im internationalen Wettbewerb erfolgreich zu sein. Somit sind Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten unerlässlich für ein exportorientiertes Land wie Österreich. Die voranschreitende Digitalisierung sowie die beschleunigte technische Entwicklung bergen viele Chancen für Österreichs Unternehmen. Gleichzeitig entstehen dadurch aber auch neue Herausforderungen. Insbesondere für Klein- und Mittelunternehmen (KMU) ist daher die Entwicklung und Implementierung benutzerfreundlicher Systeme und Konzepte, die wirtschaftlich und nutzbringend umsetzbar sind, von großer Relevanz. Die Übertragbarkeit erzielter Forschungsergebnisse auf KMU spielt dabei eine wesentliche Rolle. Diesem Ansatz soll Rechnung getragen werden, indem pragmatische Lösungen und Ansätze in den Forschungsfeldern mitgedacht werden.

Die ExpertInnengruppe „Forschung, Entwicklung & Innovation“ wurde eingerichtet, um Empfehlungen für den Forschungs- und Entwicklungsbereich zu erarbeiten und relevante AkteurInnen zu vernetzen. VertreterInnen von universitären wie auch außeruniversitären Forschungsein-

richtungen, Politik und Verwaltung, Unternehmen und Interessensvertretungen fungieren dabei als zentrales Steuerungsgremium und legen Arbeitsschwerpunkte und die inhaltliche Ausrichtung der Aktivitäten der Plattform Industrie 4.0 im Bereich „Forschung, Entwicklung & Innovation“ fest.

## VORGEHENSWEISE

In den Workshops und Sitzungen der ExpertInnengruppe wurde ein breites Feld an Technologiekompetenzen und Forschungsbedarfen sondiert, die für Industrie 4.0 relevant sind. In einem gemeinsamen Prozess wurden von konsultativ eingebundenen ExpertInnen acht vorrangige Forschungsfelder identifiziert und Impulse zur Weiterentwicklung der österreichischen Förderlandschaft gesetzt. Dabei wurde auf einen „Stärken stärken“-Ansatz gesetzt, um Österreich als relevanten Akteur im globalen Wettbewerb zu positionieren. In weiterer Folge wurden jedem Kapitel Autoren zugewiesen und der gesammelte Input durch ein Redaktionsteam verdichtet.

## ZIELE DES ERGEBNISPAPIERS

**Das Ziel des vorliegenden Ergebnispapiers ist es, die in einem breit angelegten Prozess identifizierten, für Industrie 4.0 relevanten Forschungsfelder vorzulegen. Dabei sollen der Politik und Unternehmen Inputs geliefert werden, in welche Richtung die Entwicklung geht, damit rechtzeitig geeignete Maßnahmen ergriffen werden können. Gemeinsam sollen das Bewusstsein um die Bedeutung von Forschung, Entwicklung und Innovation gesteigert und Forschungseinrichtungen und Unternehmen dahingehend unterstützt werden, dass sie mit optimalen Rahmenbedingungen erfolgreich arbeiten können.**

## EXECUTIVE SUMMARY (deutsch)

Forschung und Entwicklung sind zweifellos wichtige Treiber im Kontext von Industrie 4.0 und Digitalisierung. Das Innovationssystem eines Landes hat große Auswirkungen auf die Entwicklung und Wettbewerbsfähigkeit seiner Unternehmen und damit auf die gesamte Volkswirtschaft.

Die voranschreitende Digitalisierung sowie die beschleunigte technische Entwicklung bergen viele Chancen für Österreichs Unternehmen. Gleichzeitig entstehen dadurch aber auch neue Herausforderungen. Berechnungen bis 2025 ergeben für Industrie 4.0 in Österreich 47–48 Mrd. € an zusätzlicher Produktion und 22–38 Mrd. € an zusätzlicher Wertschöpfung<sup>3</sup>. Nach heutigem Stand haben schon 6 % aller österreichischen Industrieunternehmen ihre Produktion nach Österreich zurückverlagert; Tendenz steigend!<sup>4</sup>

Die Plattform Industrie 4.0 hat sich mit der Frage beschäftigt, welche Forschungsfelder ein besonders hohes Potential für Österreich darstellen und wie man den technologischen und finanziellen Bedarf der Firmen noch treffsicherer adressieren kann. In einem breit angelegten, transparenten Prozess wurde das vorliegende Ergebnispapier erarbeitet. Es möchte Antworten und Inputs geben, damit rechtzeitig geeignete Maßnahmen ergriffen werden können, um Forschungs- und Entwicklungsanforderungen in Österreich bestmöglich zu erfüllen.

Hierfür wurden Technologiekompetenzen sowie Forschungs- und Entwicklungsbedarfe identifiziert und zu diesem Zweck acht vorrangige Forschungsfelder formuliert: Virtualisierung, Sensorsysteme, Software Engineering, Physische Systeme, Cyber-physical Systems, Arbeitssysteme, Geschäftsmodelle und Domänenwissen. Neben Vorschlägen zur verbesserten Nutzung von Förderprogrammen decken diese Handlungsfelder aus Sicht der Plattform Industrie 4.0 die wichtigsten Ansatzpunkte im Forschungsbereich rund um Industrie 4.0 ab.

---

<sup>3</sup> IWI/Pöchlhammer Innovation Consulting (2015)

<sup>4</sup> Dachs, B. et al. (2017)



## EXECUTIVE SUMMARY (english)

Research and development are undoubtedly important drivers in the context of Industry 4.0 and digital transformation. A country's innovation system has a major impact on the development and competitiveness of its companies, and thus on the entire economy.

The progressive digital transformation and the accelerated technical development will result in many opportunities for Austrian companies. However, at the same time, this also creates new challenges. Forecasts for 2025 concerning Industry 4.0 in Austria amount to € 47–48 billion in additional production and € 22–38 billion in added value. Today, 6 % of all Austrian industrial companies have relocated their production to Austria – and this trend is growing.

The national Platform Industry 4.0 has addressed the question, which research fields represent a particularly high potential for Austria and how to address the technological and financial needs of companies even more accurately. The present report has been developed in a broad and transparent process. It aims at providing answers and input so that suitable measures can be taken in good time to best meet Austria's research and development requirements.

To this end, technology competencies as well as research and development needs were identified by formulating eight priority research fields: virtualization, sensor systems, software engineering, physical systems, cyber-physical systems, work systems, business models, and domain knowledge. In addition to suggestions for the improved use of funding programs, these fields of action cover the most important starting points in the area of Industry 4.0 research from the perspective of the Platform Industry 4.0.

# POSITIONIERUNG





# FORSCHUNGS- FELDER INDUSTRIE 4.0

# 3

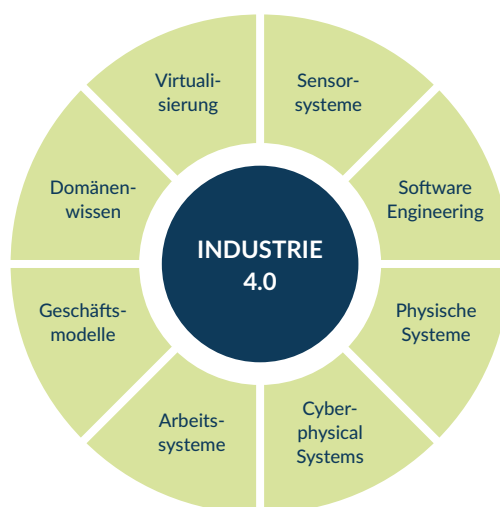
Die digitale Transformation der industriellen Produktion eröffnet eine Vielzahl an Möglichkeiten. Neben Kosteneinsparungen bzw. Effizienzsteigerungen lassen sich durch Industrie-4.0-Technologien neue, intelligente Produkte auf den Markt bringen und neue Geschäftsmodelle entwickeln. Der Sammelbegriff Industrie 4.0 bezeichnet dabei die Verschmelzung von Produktionstechnologien mit Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Die rasante Entwicklung der Kommunikations- und Webtechnologien bietet eine zunehmende Fülle neuer technischer Möglichkeiten für die Vernetzung zwischen den unterschiedlichsten Objekten. Diese Vernetzung und die sinkenden Kosten für Sensoren, Rechenleistung und Netzwerke führen dazu, dass zahlreiche Ideen und Produkte, die vor ein paar Jahren nicht vorstellbar gewesen wären, nun realisierbar werden. Dies bedeutet, dass diese technologischen Durchbrüche nun das Potential haben, klassische Volkswirtschaften und tradierte Geschäftsmodelle von Industrieunternehmen massiv zu bedrohen und zu disruptieren.

Physische Objekte und ihre digitalen Repräsentationen im „Cyber-Space“, auch als digitale Zwillinge oder Digital Layers bezeichnet, verschmelzen immer stärker zu einer neuen Realität. Diese neue Welt der Cyber-physical Systems (CPS) bzw. Cyber-physical Production Systems (CPPS) gilt es rasch zu erkennen und verantwortungsvoll umzusetzen.

Aufgrund der zu erwartenden weitreichenden Veränderungen durch Industrie 4.0 und dadurch entstehende Auswirkungen auf die Gesellschaft wurde ein interdisziplinärer Ansatz bei der Erarbeitung der behandelten Themen gewählt. Dieser Ansatz spiegelt sich auch in den angeführten Themenkomplexen wider, da er nicht nur technische Aspekte adressiert. Daher sollte gewährleistet sein, dass je nach Forschungstiefe und Umsetzungsgrad (z.B. ab TRL 6 – angewandte Forschung) der Einfluss auf Menschen und Beschäftigte analysiert wird.

In den vorliegenden Abschnitten geht es einerseits darum, technologische Grenzen zu verschieben, also die Kompetenzen im Bereich der Spitzentechnologien zu stärken, und andererseits darum, robuste, kostengünstige und einfache Lösungen für den österreichischen Mittelstand zu entwickeln.

Die gewählte Kreisgrafik illustriert die einwirkenden Themenkomplexe der digitalen Transformation, deren Ziel, Industrie 4.0, in der Mitte angesiedelt ist. Die Grafik stellt Gebiete dar, in denen Forschungsbestrebungen zu intensivieren sind, um für die Umsetzung von Industrie 4.0 geeignete Lösungen anbieten zu können. Sie dient als Orientierungshilfe, in welchen Bereichen Weiterentwicklung sinnvoll und notwendig ist, um Österreichs Position im globalen Wettbewerb zu stärken.



## VIRTUALISIERUNG

Das erste Kapitel behandelt die Thematik, bei der reale und virtuelle Welten aufeinandertreffen und immer mehr miteinander verschmelzen. Digitale Transformation im Kontext von Industrie 4.0 erfordert es, dass Produkte, Produktionsprozesse und -systeme einschließlich deren relevanter Umgebungen möglichst vollständig, konsistent und durchgängig in Digitalrechnern (Cyber-Welt) abgebildet werden können, um Informationen über diese Objekte und Prozesse einer Verarbeitung in Computern zugänglich zu machen und daraus neue Nutzenpotentiale zu eröffnen.

Unter dem Begriff Virtualisierung sollen alle Aktivitäten zur Schaffung solcher digitalen Abbildungen zusammengefasst werden. Begriffe wie digitaler Zwilling, Digital Layer, digitale Fabrik usw. tragen diesen Zielsetzungen ebenso Rechnung. Virtualisierung ist eine notwendige Voraussetzung zur Umsetzung von Industrie 4.0 und ohne Modellierung und Simulation undenkbar.

## SENSORSYSTEME

Virtualisierung ist am effektivsten, wenn viele Informationen zur Verfügung stehen. Um diese Informationen in Form von Daten zu generieren, bedarf es effizienter Sensorsysteme, welche im zweiten Kapitel behandelt werden. Sie spielen eine wesentliche Rolle bei der Qualitätskontrolle der Produkte, vorausschauender Instandhaltung und beim Product Lifecycle Management.

## SOFTWARE ENGINEERING

Der Bereich der Softwareentwicklung ermöglicht die Verhaltenssteuerung und -kontrolle von einzelnen Systemen und ganzen Prozessketten. Die zunehmende Verwendung von Standardtechnologien, die Öffnung der Technologien für breitere Anwendungsgebiete und die immer transparenter bzw. durchlässiger werdenden Systemgrenzen zur Außenwelt stellen uns vor neue und teilweise noch ungeklärte Herausforderungen.

## PHYSISCHE SYSTEME

Die Vernetzung mit Informationstechnologie und Sensorik schafft neue Chancen und Herausforderungen für die physische Repräsentanz „smarter“ Produktideen. Das vierte Kapitel geht auf den physischen Part von Produkten, Produktionssystemen und -umgebungen ein und behandelt unter anderem Fragen, die Logistik, Maschinen, automatisierte Fertigungssysteme und Werkstoffe betreffen.

## CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Cyber-physical Systems, wie sie in Kapitel fünf thematisiert werden, bezeichnen den Verbund informatischer, softwaretechnischer Komponenten mit mechanischen und elektronischen Teilen, die über eine Dateninfrastruktur kommunizieren. Die Begriffsbildung folgt dem Bedarf an einer neuen theoretischen Grundlage für die Erforschung und Entwicklung großer, verteilter, komplexer Systeme, wie zum Beispiel die Konstruktion neuartiger Industrieproduktionsanlagen, die sich hoch dynamisch an die jeweiligen Produktionserfordernisse anpassen können.

## ARBEITSSYSTEME

Das sechste Kapitel behandelt Arbeitssysteme und Fragen, wie man die technologischen Entwicklungen dazu nutzen kann, um Arbeit zu unterstützen bzw. neu zu organisieren. Die Einführung von intelligenten Produktionssystemen beeinflusst die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Aufgaben- und Tätigkeitsprofile sowie die gesamte Arbeitsorganisation. Die Auswirkungen auf die Arbeitswelt ergeben sich aber nicht nur durch neue Technologien, sondern auch durch die Gestaltung des Einsatzes dieser Technologien und durch die Anpassung der Arbeitsorganisation an die neuen Rahmenbedingungen. Wie diese arbeitsorganisatorischen Handlungsspielräume optimal genutzt werden können, eröffnet ein großes Spektrum an Forschungsfragen.

## NEUE GESCHÄFTSMODELLE

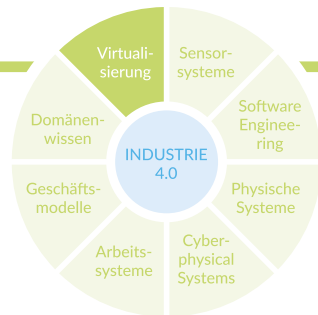
Die Vernetzung von Wertschöpfungsketten bis hin zur Bildung von Wertschöpfungsnetzwerken stellt Unternehmen vor neue Herausforderungen und bietet gleichzeitig große Chancen im Hinblick auf ihr Geschäftsmodell. Dies reicht von der geringfügigen Anpassung der Geschäftsmodelle über Geschäftsmodell-Innovationen, die zum disruptiven Bruch führen können, bis hin zu völlig neuen Geschäfts-ideen, die sich in innovativen Geschäftsmodellen widerspiegeln. Kapitel sieben umreißt diese Thematik und wirft essentielle Fragen auf.

## DOMÄNENWISSEN

Den Abschluss der Forschungsfelder bildet Kapitel acht, welches Domänenwissen und Schlüsseltechnologien adressiert. Domänenwissen bezeichnet das bereits vorhandene Wissen in dem entsprechenden Anwendungsgebiet. Die erfolgreiche Einbettung von Industrie-4.0-Technologien in die Produktion erfordert eine verstärkte Berücksichtigung des erforderlichen Prozess- bzw. Domänenwissens. Technologische Veränderungen müssen so gestaltet werden, dass das notwendige Wissen, einschließlich des aktuellen Erfahrungswissens der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer, zur Verfügung steht.

## CASE STUDIES

Im Anhang befinden sich Case Studies, die österreichische Kompetenz im Kontext der Industrie 4.0 aufzeigen. Sie dienen der exemplarischen Veranschaulichung und sollen den Praxistransfer der erhobenen Inhalte verdeutlichen.



### 3.1 VIRTUALISIERUNG

**Autoren:**

O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Zeman –  
 Johannes Kepler Universität Linz;  
 Dipl.-Ing. Herwig Zeiner –  
 JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

Unter **Virtualisierung im Kontext von Industrie 4.0** soll die angemessene Beschreibung bzw. Erfassung von produktionsbezogenen, physischen Objekten wie Produkten, Produktionssystemen (z.B. Maschinen, Anlagen, Fabriken), Produktionsprozessen (z.B. in der Fertigung, Logistik), aber auch der beteiligten Menschen, Tiere, Pflanzen usw. sowie der Beziehungen (z.B. Material-, Energie-, Informationsflüsse) zwischen diesen Objekten verstanden werden, die notwendig ist, um relevante Informationen über diese Objekte und Beziehungen einer digitalen Verarbeitung in Computern zugänglich zu machen<sup>6 7 8 9 10</sup>. Die Sensor- und Prozessdaten aus der physischen Welt müssen digital so aufbereitet werden, dass sie geeignet verarbeitet, aggregiert und interpretiert werden können, um daraus die beabsichtigten Informationen generieren und nutzbringend verwenden zu können<sup>11 12 13</sup>.

Ausreichend **vollständige und durchgängige, digitale Repräsentationen** (digitale Abbildungen, Modelle, Virtualisierungen) der genannten Objekte und Beziehungen einschließlich deren Eigenschaften sind die Voraussetzung dafür, dass

die rasch wachsenden Potentiale der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) zur Wertsteigerung in innovativen Produkten und Produktionsprozessen genutzt werden können. **Virtualisierung betrifft den gesamten Lebenszyklus** sowohl von materiellen **Produkten** (Sachgütern) als auch von **Dienstleistungen** bzw. deren Kombination in Form von **Produkt-Service-Systemen (PSS)**, von der ersten Idee über Produktplanung, Produktentwicklung, Produktionssystementwicklung, Produktion bzw. Bereitstellung, Inbetriebnahme, Betrieb, Service, Wartung bis hin zur Ablösung des Produktes vom Markt (End of Life, EoL), und muss daher auch alle für den Produktlebenszyklus relevanten **Geschäftsprozesse** wie z.B. **Management-Prozesse, Engineering-Prozesse**, Ingenieurstätigkeiten einschließen<sup>11 12</sup>.

Virtualisierung stellt damit eine notwendige Voraussetzung und daher einen **kritischen Erfolgsfaktor** für die Umsetzung von Industrie 4.0 dar. Gleichzeitig bestehen hier Chancen, in Zukunft hohe Wettbewerbsvorteile zu erzielen<sup>11 13</sup>.

**Messungen** (siehe Sensorsysteme, 3.2) sind unverzichtbare Informationsquellen zur Schaffung digitaler Repräsentationen von physischen Objekten in Computern. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass das physische Objekt überhaupt existiert, die interessierenden Größen (z.B. wichtige Eigenschaften der Objekte oder Prozessgrößen) einer Messung zugänglich sind und aus den Messwerten die gewünschten Rückschlüsse auf die interessierenden Größen gezogen werden können. Diese Voraussetzungen sind jedoch im Zusammenhang mit Produktion höchstens in Ausnahmefällen erfüllt. In der **Produktentwicklung** z.B. existiert das neue Produkt zu Beginn ja noch gar nicht, und in der **Produktion** wiederum ist es bereits bei einfachen Aufgabenstellungen praktisch unmöglich, alle relevanten Informationen über die wichtigsten Eigenschaften eines Produktes ausschließlich aus Messungen zu gewinnen<sup>12 13</sup>.

<sup>6</sup> Geisberger, E. et al. (2012)  
<sup>7</sup> Acatech (2013)  
<sup>8</sup> Anderl, R. et al. (2012)  
<sup>9</sup> Lee, E.A. (2015)  
<sup>10</sup> Bauernhansl, T. et al. (2014)  
<sup>11</sup> Zeman, K. et al. (2016)  
<sup>12</sup> Vajna, S. et al. (2018)  
<sup>13</sup> Geisberger, E. et al. (2015)



Als **Beispiel** soll hier die Herstellung von Spritzgießteilen genannt werden. De facto ist es unmöglich, die instationäre, dreidimensionale Temperaturverteilung im Bauteil während seiner Entstehung in der Maschine zu messen. Die genaue Kenntnis der Temperaturverteilung ist aber für die minimal mögliche Zykluszeit (optimale Wahl des Ausformzeitpunktes) und damit für die Wirtschaftlichkeit des Prozesses entscheidend. Wird das Bauteil zu früh, d.h. bei zu hoher Temperatur aus der Form ausgeworfen, kann unzulässig hoher Verzug eintreten. Wird das Bauteil hingegen unnötig spät ausgeworfen, wird Produktionsleistung „verschenkt“.

In der Produktion können die Messgrößen in der Regel nur an wenigen, ausgewählten Messpunkten durch Sensoren erfasst werden, die fehlende Information muss dann durch Modelle (virtuelle Sensoren) (re-)konstruiert werden. Selbst bei relativ einfachen Messaufgaben ist es notwendig, auch eine adäquate Modellvorstellung über die Messgrößen zu entwickeln, da die Messwerte sonst nicht richtig interpretiert werden können.

Diese Beispiele und Überlegungen zeigen, dass **Messungen alleine nicht ausreichen**, um wichtige Eigenschaften von Produkten oder Prozessgrößen in der Produktion ausreichend zu erfassen. Eine Ergänzung bis hin zum vollständigen Ersatz von Messungen durch geeignete Modelle ist unerlässlich. Daraus kann geschlossen werden, dass eine vollständige und durchgängige Virtualisierung von Produkten und Produktion auf einer **umfassenden, durchgängigen Modellbasis** aufbauen muss<sup>11 13</sup>.

In manchen Branchen wie etwa in der Stahlherzeugung, in der Flugzeug- und Automobilindustrie hat die Unterstützung der Produktion durch Modellierung und Simulation bereits eine **lange Tradition**. Dies wird u.a. dadurch begünstigt, dass durch sehr hohe Produktionsmengen (z.B. Stahlherzeugung) oder Stückzahlen (z.B. Automobilindustrie) hohe Wiederholungseffekte erzielt werden. Kleine prozentuelle Verbesserungen haben einen hohen Nutzen-Multiplikator und können sich rasch amortisieren<sup>14</sup>. In vielen Branchen, in denen es solch hohe Multiplikatoren nie gegeben hat, besteht hingegen dringender Nachholbedarf.

Virtualisierung kann in der Produktion wahrscheinlich am besten durch eine möglichst geschickte Kombination aus Messung (Sensorik, Signalverarbeitung, Datenauswertung, Visualisierung und Interpretation) und Modellierung von (zeitlich veränderlichen) Produkteigenschaften, Eigenschaften von Produktionssystemen, Prozessgrößen sowie deren Zusammenwirken erreicht werden. Was nicht durch Messung („direkt“) erfasst werden kann, muss durch Modelle ergänzt bzw. (re-)konstruiert werden. Dabei gilt die Regel: Je mehr Information durch Sensoren zur Verfügung steht, desto weniger Information muss durch Modelle (re-)konstruiert werden und desto zielsicherer kann i. Allg. eine Beschreibung erfolgen.

Um konsistente Modelle, etwa für Zwecke in der Produktentwicklung oder im laufenden Betrieb, verwenden zu können, müssen sie erst einmal geschaffen werden, was die zentrale Frage der Modellbildung aufwirft. Domänenwissen, Erfahrung und aktuelles Methodenwissen im Bereich Modellbildung und Simulation sind unerlässliche Voraussetzungen, um Modelle durch Verifikation und Validierung abzusichern, was einen erheblichen Aufwand und eine große Herausforderung darstellen kann. Die Zusammenhänge zwischen messbaren Einflussgrößen (z.B. Temperatur, Drehzahl) und Prozesszielgrößen sind für den laufenden Betrieb essentiell. Sind diese bekannt, kann mathematisch mit White-Box-Modellierung gearbeitet werden. Oft ist dies jedoch nicht (ausreichend) der Fall, sodass auf Black- (oder Grey-)Box-Modelle zurückgegriffen werden muss, wozu aufgezeichnete historische Daten benötigt werden<sup>8 10 12 13</sup>.

Da zu Beginn der **Produktentwicklung** keinerlei Messungen von dem zu entwickelnden Produkt zur Verfügung stehen und Erfahrungswissen zur Entwicklung komplexer Produkte kaum genügt, ist es erforderlich, zur Unterstützung der **Gestaltung, Prognose und Absicherung von Produkteigenschaften** auf umfassende Modellierung und Simulation zurückzugreifen. Dadurch können innovative Produkte mit höherer Qualität schneller und zielsicherer auf den Markt gebracht werden<sup>12</sup>.

Im Unterschied dazu kann in der **Produktion** und **Produktnutzung** auf eine Fülle von Messdaten zurückgegriffen wer-

<sup>14</sup> Zeman, K. et al. (2006)

den (Big Data). Modellierung und Simulation können die **Produktionsplanung** wesentlich unterstützen, ebenso können **echtzeitfähige Modelle** in Regelkreisen ganz wesentlich zur Einhaltung engster Toleranzen für die geforderten Produkteigenschaften beitragen. Schließlich können Messungen und Modelle zur Steuerung, Verfolgung und Sicherung der Produkteigenschaften (Qualitätssicherung) und des Produktionsflusses genutzt werden. Insbesondere mit Hilfe von modernen In-Memory-Technologien können derartige echtzeitfähige Modelle in bestehende ERP-Systeme und damit Geschäftsprozesse und -funktionen integriert werden, um damit die Voraussetzung für eine agile und intelligente Produktion zu schaffen<sup>8 10 12</sup>.

In der **Produktnutzung** können Modelle in Verbindung mit Messungen dazu genutzt werden, um den Zustand des Produktes zu verfolgen und Prognosen über Wartungsbedarf, Schädigung oder Restlebensdauer zu machen. Dabei können extrem große Datenmengen anfallen (Big Data), die mit KI-Methoden<sup>15</sup> (z.B. Machine Learning) ausgewertet werden können, um als Feedbackschleife zur Produktentwicklung Verbesserungspotentiale für die nächste Produktgeneration zu erkennen und nutzbar zu machen<sup>10 12 13</sup>.

#### Forschungs- und Handlungsbedarf im Bereich der Virtualisierung gibt es zu folgenden Themenfeldern:

**Übergeordnete Vision:** Eine lückenlose, modellbasierte Gestaltung, Vorhersage, Steuerung und Verfolgung von Produkteigenschaften<sup>14</sup>.

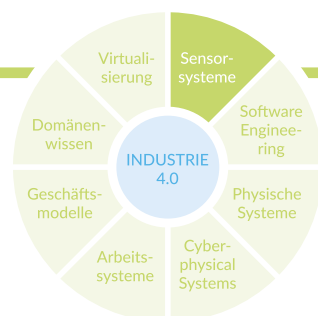
**Beherrschung von Komplexität:** Durch die Verschmelzung von physischer Welt und Cyber-Welt zu Cyber-physical Systems (CPS) und die zunehmenden Möglichkeiten, alles mit jedem im Sinne eines Internet of Anything (IoA) zu vernetzen, entstehen immer komplexere Produkte, die in immer komplexere Umgebungen eingebettet sind<sup>8 13</sup>. Methoden zur Beherrschung dieser Vielschichtigkeit sind von hoher Notwendigkeit. Das Denken in Systemen und die Sicht auf das betrachtete „Gesamtsystem“ müssen dabei gestärkt werden.

**Modelle:** Besonders für komplexe Produkte (Systeme), Produktionsprozesse und -systeme fehlen geeignete Modelle in vielen Bereichen gänzlich oder sind unterentwickelt. Von einer konsistenten, (horizontal und vertikal) durchgängigen Virtualisierung und Modellierung kann meist keine Rede sein, vielmehr bestehen heute existierende Modelllandschaften meist aus einer Fülle von kaum miteinander verbundenen Modellinseln, sodass zu deren Integration dringender Handlungsbedarf besteht<sup>8 9</sup>.

**Vollständigkeit, Konsistenz und Durchgängigkeit von Modellen und Daten:** Die Entwicklung und Verbreiterung einer möglichst vollständigen, konsistenten und durchgängigen Modellbasis ist entscheidend für die Umsetzung von Industrie 4.0. Vollständigkeit, Konsistenz und Durchgängigkeit von Daten können nur dann erreicht werden, wenn auch die Modelle, zu denen diese Daten gehören, vollständig, konsistent und durchgängig sind. Dazu sollen Methoden entwickelt werden, mit denen folgende Teilziele verfolgt werden:

- › Vollständigkeit von Modellen und Daten
- › Konsistenz von Modellen und Daten
- › Durchgängigkeit von Modellen und Daten über:
  - den Produktlebenszyklus
  - verschiedene Disziplinen
  - das Wertschöpfungsnetz (Zulieferer, Kunden)

<sup>15</sup> Künstliche Intelligenz



## 3.2 SENSORSYSTEME

### Autoren:

Dipl.-Ing. Herwig Zeiner –

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH;

Dipl.-Ing. Stefan Rohringer – Infineon Technologies AG

Das Monitoring der Infrastruktur<sup>16</sup> und der Abläufe in der Industrie erfordern neue intelligente Sensorik<sup>17</sup> und intelligente, echtzeitfähige Auswertungstechniken<sup>18</sup>. Die Echtzeitinformationen über den Prozess werden zur Optimierung der Arbeitsabläufe (z.B. Produktion mit integrierter Sicherheitsanalyse) und zur Verwendung der Betriebsmittel genutzt. Betreiber von komplexen Industrieanlagen müssen ihre Anlage ständig unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimieren. Diese Optimierung ist abhängig von der aktuellen Marktsituation und muss verschiedenste Kriterien einbeziehen (Ressourcenverbrauch, Auslastung und Durchsatz der Anlage, Qualität des Produkts etc.). Genaue und zuverlässige Sensordaten und deren intelligente Auswertung sind daher jetzt wichtiger denn je<sup>19</sup>. Zukünftig werden intelligente Sensoren auf Grund der Verschmelzung der Messtechnik mit der Mikrocontroller-Technologie zunehmend autark und automatisiert Prozesse übernehmen können, die aktuell von IT-Systemen ausgeführt werden.

In einem sehr geringen Ausmaß stehen auch heute schon von Produkten im praktischen Einsatz Informationen über die Verwendung zur Verfügung, die einerseits Auskunft über die Umgebung, den Zustand und die Veränderung der Lebensdauer des Produkts geben, andererseits den Einsatz

optimieren und Anforderungen für Verbesserungen ermöglichen.

Bestehende Fabrikanlagen und deren Prozesse können im Ist-Zustand mit moderner Sensorik aufgenommen werden, und diese Daten können auch als Basis für rasche und effiziente Planungen von Fertigungsstraßen und operativen Prozessen dieser Fertigungsanlagen herangezogen werden. Mittels Retrofitting-Ansätzen (=Nachrüsten von Sensoren auf Maschinenanlagen) wird die Kommunikation nicht-Inter-netprotokoll-(IP-)fähiger Maschinen zu IT-Systemen der vertikalen Integration realisiert. So können Sensordaten für die Datenmodellierung von Maschinen nutzbar gemacht und zur weiteren Verarbeitung bereitgestellt werden. Ein älterer Maschinenpark kann teilweise digitalisiert und I4.0-nutzbar gemacht werden.

Sensorik spielt dabei für eine Reihe von Aufgaben in der Produktion eine wesentliche Rolle:

**Qualitätskontrolle der Produkte:** Diese muss in der Lage sein, trotz hoher Diversität der Produkte bei flexibel einsetzbaren Produktionslinien schnell geeignete Qualitätsparameter bereits während einzelner Produktionsschritte selbständig zu erfassen, um regelnd und optimierend in die Produktionsabläufe eingreifen zu können. Dabei können je nach Anforderung sowohl autonome Regelvorgänge Abweichungen von den gewünschten Parametern ausgleichen oder eine Interaktion der Cyber-physical Systems (CPS) mit Bedienern/Experten notwendig werden. Da der Mensch ein sehr visuell orientiertes Wesen ist, werden bildgebende Systeme auch weiterhin eine große Rolle in der objektiven und oftmals auch subjektiven Bewertung der Qualität spielen.

Mit der **vorausschauenden Instandhaltung**<sup>20</sup> werden mit Hilfe der Sensorik und der Datenanalytik die Anlagen bestmöglich gewartet. Mit Hilfe von z.B. Complex Event Processing können anhand von aktuellen Maschinenzuständen bzw. Maschinenparametern vorausschauend erforderliche

<sup>16</sup> Geisberger, E. et al. (2015)

<sup>17</sup> Maiwald, M. (2016)

<sup>18</sup> Gröger, C. (2018)

<sup>19</sup> Kagermann, H. (2017)

<sup>20</sup> Larose, D. T. et al. (2015)

Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten abgeleitet und entsprechende Instandhaltungsaufträge im ERP-System angelegt werden. Die vorausschauende Instandhaltung erhöht nicht nur die Maschinenverfügbarkeit und vermeidet Stillstandszeiten, sie eröffnet auch für Anlagenbauer und Maschinenhersteller die Erschließung neuer Optimierungspotentiale.

**Production Lifecycle Management** umfasst den gesamten Lebenszyklus von der Konstruktion und Berechnung über die Produktionsplanung bis hin zu Verkaufsplanung, Verkauf, Vertriebslogistik sowie End-of-life Management inklusive Recycling und Servicefragen. Ein Hersteller, der mit einer

großen Anzahl an kleinen Partnern zusammenarbeitet, hat andere Anforderungen als jemand, der eng mit einem oder wenigen (großen) Lieferanten arbeitet. Je nach Größe und Branche des Unternehmens bedarf es verschiedener Mechanismen, um eine erfolgreiche Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette zu ermöglichen. Enabler dieses Ansatzes sind IT-Systeme. Durch den zunehmenden Anteil an Software in diesen Prozessen besteht die Herausforderung darin, multidisziplinäre Systeme zu entwickeln, zu simulieren, zu validieren und fertigzustellen und somit mechanische, elektronische, elektrotechnische und weitere Komponenten über gemeinsame Softwaresteuerungen zu integrieren.

#### Forschungs- und Handlungsbedarf im Bereich der Sensorik gibt es zu folgenden Themenfeldern:

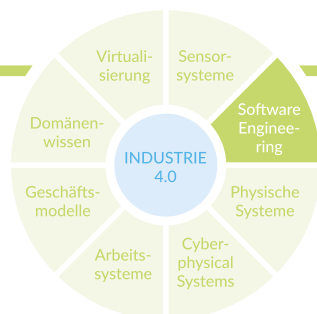
**Entwicklung und Integration von energieeffizienten und autarken Sensoren bzw. Sensorsystemen:** Die Integration intelligenter Selbstdiagnose sowie von (Re-)Kalibrationsfunktionen stellt hier eine besondere Anforderung dar. Des Weiteren müssen Entwicklungsaktivitäten auf Adaptivität eingehen, d.h. die Fähigkeit, sich an wechselnde Umgebungsbedingungen, Konzentrationen, Störeinflüsse etc. anzupassen und weiterhin bestmöglich zu funktionieren.

**Energy Harvesting für Sensor-Betrieb und Datenübertragung:** Es bedarf Niedrigst-Spannungs-Elektronik ( $\leq 1,2$  V), um Energie aus Energy Harvestern ohne verlustbehaftete Spannungskonverter direkt nutzen zu können. Dabei ist ein energieoptimierter Betrieb inklusive Daten-(Vor-)Verarbeitung im Sensormodul zu erzielen.

**Intelligent Vision Systems für Produktionsprozesse:** In der industriellen Automatisierung müssen räumlich abgegrenzte Bereiche vor dem unbeabsichtigten Eindringen von Personen oder Objekten geschützt werden. In der industriellen Inspektion und Qualitätskontrolle ist oftmals eine dreidimensionale optische Erfassung erforderlich, z.B. hochgenaue Prüfung von Oberflächen auf feinste Risse oder Löcher, dreidimensionale Vermessung von Formteilen.

**Sensorik auf Basis neuer Materialien:** Neue Entwicklung für z.B. Detektion und Quantifizierung organischer und anorganischer Stoffe, z.B. für die Prozessindustrien.

**Life Cycle:** Die Nachrüstbarkeit von Legacy-Anlagen ebenso wie Konzepte für Sensorfusion und virtuelle Sensoren inkl. der Wahrung der Security-Anforderungen stellen weiteren Forschungsbedarf dar.



### 3.3 SOFTWARE ENGINEERING

#### **Autoren:**

Dipl.-Ing. Herwig Zeiner -

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH;

Dr. Eric Armengaud, MBA - AVL List GmbH

Die steigende Nachfrage nach Software in wesentlichen industriellen Anwendungsgebieten sowie vor allem die zunehmenden Fähigkeiten der Software, Aufgaben automatisiert durchzuführen, was zuvor durch verschiedene Arten von Hardware erreicht werden musste, sind ein entscheidender Vorteil für die Reduktion der Produktionskosten und für bessere Anpassungsfähigkeit (Stichwort: Losgröße 1) im Bereich der Industrie 4.0. Die Konzeption von komplexen technischen Produktionskomponenten erfolgt meist aus mechanischen, elektronischen und softwaretechnischen Einzelkomponenten. Software bezieht sich auch auf die System-Integration von physischen Maschinen mit vernetzten Sensoren mit Software und ermöglicht dabei erst die Umsetzung von intelligenten Optimierungs- bzw. kognitiven Lernverfahren, damit Prozessabläufe optimiert werden können.

Die Querschnittstechnologie Software gehört zu den Schlüsseltechnologien für den Transformationsprozess im Bereich der Industrie 4.0. Software bzw. Software Engineering spielen dabei für die Integration dieser Einzelkomponenten eine entscheidende Rolle<sup>21</sup>. Mit Hilfe von Software wird erst das intelligente Kombinieren von Algorithmen, Sensoren sowie deren gemessenen Daten, physikalischer Objekte und cyber-physischer Systeme ermöglicht. Eine Herausforderung für das Software Engineering im industriellen Umfeld sind die unterschiedlichen Updatezyklen der Softwaresysteme

und der physischen Produkte. Es hat sich bei vielen smarten Produkten der ersten Generation gezeigt, dass diese integrierten Systeme oft deswegen nicht eingesetzt werden, weil die Software nicht mehr betrieben werden kann, obwohl das physische Produkt durchaus noch eingesetzt werden kann.

Es gilt, die heutigen Herausforderungen an Software im Industrieumfeld zu meistern. Erstens brauchen wir Entwicklungsmethoden und Validierungsstrategien für unterschiedliche Produktvarianten der Softwaresysteme. Zweitens gilt es, die Qualität und Robustheit der Systeme sicherzustellen. Drittens geht es darum, Daten, die aus dem Betrieb von Industrieanlagen und Industrieprodukten gewonnen werden, wieder in sogenannte kognitive Softwarekomponenten einzuspeisen. Die erforderlichen Analysefähigkeiten werden diesen Komponenten mit selbstlernenden Verfahren und Machine Learning beigebracht. Eine weitere Herausforderung ist die Integration von unterschiedlichen Softwaresystemen (z.B. Individual- und Standardsoftware), die sowohl vertikal als auch horizontal integriert werden, um eine durchgängige Digitalisierung der Wertschöpfungskette zu erreichen. Hierzu bedarf es des Einsatzes moderner Schnittstellen auf Basis von APIs<sup>22</sup>, Web Services, Streamingschnittstellen sowie der verstärkten Integration externer Systeme und Datenquellen, unterstützt durch die Cloud-Technologie.

Aufgrund der durchgängigen Vernetzung werden Informationen und Daten verteilt verwaltet bzw. in Kombination mit verteilten Geräten, wie mobilen Geräten, Sensoren oder anderen intelligenten mobilen Rechenknoten (Edge zwischen Internet und physischer Welt), verarbeitet.

<sup>21</sup> Avgeriou, P. et al. (2016)

<sup>22</sup> application programming interface/Programmierschnittstelle

Forschungs- und Handlungsbedarf im Bereich des Software Engineering gibt es zu folgenden Themenfeldern<sup>23</sup>:

**Software für kognitive Systeme – von reaktiver zu proaktiver Steuerung:** Forschungsbedarf besteht in der Entwicklung einer umfassenden, neuartigen Software-Kompetenz<sup>24,25</sup> bzw. von kognitiven Methoden für proaktive Verfahren für die Steuerung im Bereich der Industrie 4.0.

**Systems & Software Engineering für adaptive und zuverlässige Systeme<sup>26</sup>:** Beherrschung der Systemkomplexität neuartiger, verteilter Softwarearchitekturen und Entwicklung einer neuen Generation von zuverlässigen<sup>27</sup>, verteilten Softwaretechnologien zur Realisierung von Smart-Applikationen und -Services, die sich während ihrer Laufzeit an die zukünftigen Anforderungen anpassen.

**Software Life Cycle<sup>28</sup>:** Forschungsbedarf besteht auch in neuen Verfahren für den industriellen Software Life Cycle mit automatisierter Analyse bestehender Programmstrukturen, des Reengineering, des Reverse Engineering, der Umsetzungsstrategien bei Updatezyklen und der Anpassung an neuartige Verteilungsumgebungen. Das inkludiert auch die Umstellung von existierenden Steuerungsstrategien in Richtung kognitiver Produktionssysteme.

---

<sup>23</sup> Spinnellis, D. (2017)

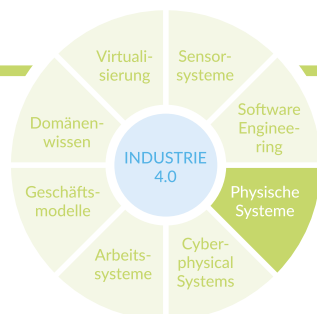
<sup>24</sup> Kim, M. et al. (2016)

<sup>25</sup> Kim, M. et al. (2017)

<sup>26</sup> Hatcliff, J. et al. (2014)

<sup>27</sup> Xie, F. et al. (2007)

<sup>28</sup> Sharma, T. et al. (2018)



### 3.4 PHYSISCHE SYSTEME

#### **Autoren:**

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Franz Haas –  
Technische Universität Graz;

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Schledjewski –  
Montanuniversität Leoben

Im Maschinenbau lautet das Gebot der Stunde, die Komplexität von Fertigungssystemen nicht nur steuerungsseitig, sondern auch maschinenbautechnisch zu beherrschen und den Zielkonflikt zwischen technisch Machbarem und wirtschaftlich Leistbarem aufzulösen. Glücklicherweise befindet sich Österreichs Wirtschaft derzeit im Zehnjahreshoch, wodurch sich die Chance eines nachhaltigen Strukturwandels mit einhergehender Modernisierung in allen Sektoren der Produktion eröffnet. Österreich ist und bleibt ein erfolgreiches Industrieland mit hoher Kompetenz in der Elektronik sowie im Maschinenbau und im verfahrenstechnischen Anlagenbau.

Die Vernetzung mit Informationstechnologie und Sensorik schafft für die physische Repräsentanz der „smarten“ Maschinenkonzepte neue Chancen und Herausforderungen. In diesem Kontext wird die Ausbildung und die Sicherstellung einer ausreichenden Verfügbarkeit vom handwerklich hochqualifizierten bis zum wissenschaftlich exzellent ausgebildeten Personal als zentrale Aufgabe gesehen.

**Forschungsbedarfe im Sektor „Physische Systeme“ werden in Folge systemtechnisch für die folgenden Themen definiert:**

- › Basissysteme (Werkstoffe, funktionale Oberflächen)

- › Intelligente Teilsysteme (Komponenten, Module, Werkzeuge)
- › Komplexe Gesamtsysteme (Geräte, Maschinen, „Smart Factory“)
- › Verteilte Systeme (Produktionslogistik)

**Basissysteme** (Werkstoffe, funktionale Oberflächen)

Im Zuge des Paradigmenwechsels hin zu Industrie 4.0 wird es zu einer Umstellung bzw. Weiterentwicklung aller Produktionsfaktoren kommen. Das Kernelement von Industrie 4.0, die integrierte Produkt- und Produktionssystementwicklung, erfordert maßgeschneiderte Materialien, aber auch neuartige Bearbeitungswerkzeuge. In diesem Kontext wird eine Fülle von Werkstoffgruppen angesprochen, die optimiert und maßgeschneidert verarbeitet werden müssen. Dazu zählen neben Isolatoren, Halbleitern und Leitern auch funktionale Materialien (z.B. für optimierte Sensoren, Aktuatoren) und nicht zuletzt die klassischen Strukturwerkstoffe. Es sind dies Metalle, Keramiken, Kunststoffe sowie deren Verbundwerkstoffe. Die zu bearbeitenden Themen orientieren sich dabei entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Neue Hochleistungsmaterialien benötigen wiederum innovative Fertigungsprozesse, denn letztlich determinieren die Werkstoffeigenschaften die Prozesswahl und großteils die Produktionskosten. Ein wichtiges Forschungsgebiet repräsentiert das funktionale Oberflächendesign durch Beschichtungen sowie durch verschiedenste Feinbearbeitungsverfahren. Die größte Herausforderung stellt aus heutiger Sicht die Pulverentwicklung für die Metall-Additive-Serienfertigung der Zukunft dar.

**Intelligente Teilsysteme**

(Komponenten, Module, Werkzeuge)

Die Fähigkeit, aufgenommene Daten zu verarbeiten und diese an weitere vernetzte Systeme im Produktionsumfeld weiterzugeben, macht ein Teilsystem zum „Intelligent Player“ innerhalb des Gesamtsystems. Dazu wird für intelligente Werkzeugsysteme ein Stufenmodell zur Klassifizierung vorgeschlagen<sup>29</sup>. Die Komplexität und Testbarkeit von modernen, mechatronischen Systemen kann nur durch Modu-

<sup>29</sup> Reinhart, G. (2017), S. 324

larisierung und standardisierte Schnittstellen (physisch wie informationstechnisch) beherrscht werden. Das zugehörige Leitparadigma wird mit „Plug and Play“ zusammengefasst und fordert das Einbinden neuer Komponenten mit minimalem Konfigurationsaufwand<sup>30</sup>.

### **Komplexe Gesamtsysteme**

(Geräte, Maschinen, „Smart Factory“)

Die Produktionssysteme betreffend besteht Bedarf, die Möglichkeiten modernster Sensortechnik, Informationstechnik und flexibler Verkettung in die Systeme zu integrieren, wobei die klassischen Ziele Produktivitätssteigerung, Kostenminimierung und hohes Qualitätsniveau die Richtung vorgeben. Die messtechnische Evaluierung der Maschinen, die Auswertung der Messdaten für die präventive Instandhaltung, die Integration unterschiedlicher Produktionsverfahren zu Hybrid-Systemen und die Fähigkeit von Steuerungen zum „Plug and Produce“ sind zentrale Handlungsfelder in diesem Bereich. Auch die Ressourceneffizienz wird in naher Zukunft ein zentrales Forschungsthema bleiben. All diesen Bereichen ist jedoch die Notwendigkeit der Erstellung ausreichend genauer digitaler Modelle (Maschinen-, Produkt- und Prozessmodelle) überzuordnen. Diese sind sowohl im Entwicklungsprozess (CAx) als auch im Betrieb essentiell, da die Modellbeschreibung Voraussetzung für die Anwendung von künstlicher Intelligenz ist. In diesem Zusammenhang ist auch auf die Bedeutung der Robotik zu verweisen. Die Roboterzahlen und die Robotereinsatzgebiete in Industrie, Service und zunehmend auch zu Hause steigen rasant an. Wertschöpfung und Standortsicherung können nur durch weitere Automatisierung erreicht werden. Nicht umsonst wird Österreich eine erfolgreiche Positionierung bei der Durchdringung von Industrie 4.0 bescheinigt. Es besteht jedoch Aufholbedarf im Einsatz von Industrierobotern, da Österreich in den Statistiken derzeit nur am Ende des Mittelfeldes mit einem Drittel der Roboterdichte von Deutschland oder Südkorea liegt<sup>31</sup>. Roboter werden uns helfen, den Weg zu kleineren Losgrößen und rascher Rekonfigurierbarkeit der individualisierten Produktion erfolgreich zu gehen.

### **Verteilte Systeme (Produktionslogistik)**

Die „Smart Factory“ als zentraler Baustein von Industrie 4.0 muss in der Lage sein, effizient und wenig stör anfällig die Komplexität in der Fertigung zu managen. Wesentlicher Bestandteil einer Smart Factory ist Smart Logistics mit Themen wie Internet der Dinge, Physical Internet, Augmented Reality und autonome, zellulare Transportsysteme. Diese neuartigen Transportsysteme ermöglichen die flexible Verkettung der Maschinen in automatisierten Fertigungssystemen. Hierbei werden autonom fahrende „Shuttles“ eingesetzt, um Waren zwischen Maschinen, vom Rohteillager und ins Fertigteillager zu transportieren.

---

<sup>30</sup> Reinhart, G. (2017), S. 695

<sup>31</sup> IFR-Study (2017)



### Forschungs- und Handlungsbedarf im Bereich der Physischen Systeme gibt es in folgenden Themenfeldern:

**Werkstoffe:** Es gilt, maßgeschneiderte Werkstoffe (Keramiken, Kunststoffe, Metalle, Verbundwerkstoffe) für Industrie 4.0 mit optimierten Eigenschaften für Produkt und Produktion zu entwickeln<sup>32</sup>. Ebenso soll die Weiterentwicklung der Zerspanungswerkstoffe vorangetrieben werden, basierend auf z.B. polykristallinem Diamant, CBN, Hartmetallen und Keramiken.

**Oberflächen:** Neue Oberflächenbehandlungen zur Funktionalisierung (z.B. Benetzbarkeit, Verschleiß, Spannungen) und Entwicklung neuer Beschichtungen zur Optimierung der Schnittstelle zwischen Werkzeug und Werkstoff sind dabei ebenfalls von Bedeutung.

**Additive Fertigung:** Additive Fertigung (3D-Druck) für Keramiken, Kunststoffe, Metalle und Verbundwerkstoffe muss schneller, prozesssicherer und in bestehende Produktionslinien integriert werden. Die Charakterisierung von additiv gefertigten Bauteilen (Festigkeit, Bearbeitbarkeit), deren Mikrostruktur deutlich von konventionell gefertigten Bauteilen abweicht, spielt dabei eine bedeutende Rolle. Die hochproduktive und automatisierte Fertigung von belastungsoptimierten Bauteilen (Metalle, Keramiken, Verbund- und Kunststoffe) ist hierbei zu erzielen.

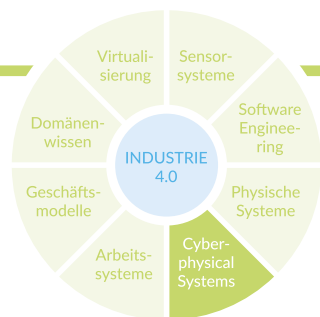
**Maschinenkonstruktion und -optimierung:** Kinematikkonzepte der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter, ob serieller, paralleler oder hybrider Natur, sind den hohen Anforderungen an Steifigkeit, Dynamik und thermische Stabilität anzupassen. Die Maschinenelemente der Zukunft, die mechatronische Komponenten mit Funktionen zur Kompensation von Abweichungen und Schwingungen darstellen werden, müssen optimiert werden<sup>33</sup>. Zerspanung, Umformung und additive Verfahren in Kombination müssen fein aufeinander abgestimmt werden, um Hochleistungs-Werkstoffe der Zukunft in konkurrenzfähige, hochqualitative Produkte zu verwandeln. Licht-Werkzeuge (Photonics) und Laser-Messtechnik sind als Schlüsseltechnologien in die Maschinenkonzepte zu integrieren. Die Automatisierung der nächsten Generation muss sich der Herausforderung stellen, mit dem Menschen bei einem Höchstmaß an Sicherheit zusammenzuarbeiten.

**Logistik:** Um Smarte Logistik zu verwirklichen, bedarf es der Entwicklung autonomer, zellulärer, selbststeuernder Transportsysteme, die idealerweise mit standardisierten Schnittstellen zu den Produktionsanlagen und Lagereinrichtungen der „Smart Factory“ ausgestattet sind.

---

<sup>32</sup> Mayrhofer, P. et al. (2015)

<sup>33</sup> Haas, F. et al. (2015)



### 3.5 CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

**Autor:**

Dr.-Ing. Fazel Ansari – Technische Universität Wien

Die mit dem übergreifenden Thema Industrie 4.0 verbundene, technologische Modernisierung steht in engem Zusammenhang mit der schnellen Entwicklung und Anwendung von Cyber-physical Systems (CPS). Ein CPS „ist eine Integration von computergestützten Berechnungen mit physikalischen Prozessen, deren Verhalten sowohl von Cyber- als auch von physischen Teilen des Systems definiert wird“<sup>34</sup>. CPS ist eine Art von Systemen, die „eine enge Integration zwischen Berechnung, Kommunikation und Kontrolle in ihrem Betrieb und Interaktionen mit dem Aufgabenbereich, in dem sie eingesetzt werden“<sup>35</sup>, aufweisen (vgl. Abbildung 2). Der Aufgabenbereich umfasst hierbei nicht nur die physische Umgebung, die automatisch vom Cyberspace erfasst werden kann, sondern berücksichtigt auch die semantische Verknüpfung des Cyber-physical-social-Raums<sup>36</sup>. Der Cyber-physical-social-Raum ist die Koalition und Vereinigung des physischen Raums, des Cyberspace und des sozialen Raums<sup>36</sup>. Durch die Integration menschlicher Faktoren als Teil eines Systems ist das Cyber-physical-social System (CPSS) „eng mit menschlichen und sozialen Merkmalen verbunden, koordiniert und integriert“<sup>35</sup>. Aus Sicht der Systemgestaltung zielt das Human-Centered CPS, als eine Klasse von Open Sociotechnical Systems<sup>37</sup>, darauf ab, eng mit dem Menschen zu interagieren und zusammenzuarbeiten. Damit soll ein gemeinsames Ziel erreicht werden (z.B. Ver-

ringerung der Fehlerrate), anstatt nur Dienstleistungen oder Unterstützung zur Ausführung von menschlichen Tätigkeiten bereitzustellen, die von benutzerzentrierten Systemen unterstützt werden.

Darüber hinaus entsteht durch die industrielle Anwendung von CPS ein neuer Typ von Produktionssystemen, die sogenannten Cyber-physical Production Systems (CPPS), die in intelligenten Fabriken eingesetzt werden<sup>38,39</sup>. CPPS bereichern die Kommunikation innerhalb des Cyber-physical-social-Raums in der Produktionsumgebung. Ein Beispiel hierfür ist etwa eine selbstgesteuerte Hochgeschwindigkeitsdruckmaschine für einen Print-on-Demand-Service mit mehreren Plattformen, Sensoren und Aktuatoren, die „eine schnelle Abschaltung herbeiführen kann, um bei Papierstau die Beschädigung des Geräts zu vermeiden“<sup>34</sup>. Eine solche autonome Betriebsentscheidung kann Ausfälle mit weitreichenden Folgen in der Produktionsanlage verhindern. In diesem Fall muss sich der zuständige Operator, der mit dem CPPS interagiert, nicht mehr notwendigerweise mit dem Initiieren und Überwachen der Maschine befassen. Stattdessen kann sich dieser „neue Fähigkeiten“ zum Verbessern sowie Anpassen der Maschinenleistung unter verschiedenen technischen, ökologischen und ökonomischen Anforderungen und Bedingungen aneignen – z.B. die Optimierung der Wartungskosteneffizienz oder des Energieverbrauchs. Als Resultat wird ein Wandel der Arbeitsaufgaben angenommen: die Entwicklung von einfacher Inbetriebnahme hin zur umfassenden Entscheidungsgewalt. Die Entstehung von CPS birgt mehrere technologische und nicht-technologische Herausforderungen mit erheblichen, qualitativen Auswirkungen, welche die Realisierung von Industrie-4.0-Lösungen direkt oder indirekt beeinflussen können. Daher sollten die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten diese Aspekte sorgfältig aus technologischen, wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen (nichttechnologischen) Aspekten betrachten.

<sup>34</sup> Lee, E.A. et al. (2016)

<sup>35</sup> Wang, F. Y. (2010)

<sup>36</sup> Zhuge, H. (2011)

<sup>37</sup> Geisberger, E. et al. (2012)

<sup>38</sup> Kagermann, H. et al. (2013)

<sup>39</sup> Monostori, L. et al. (2016)

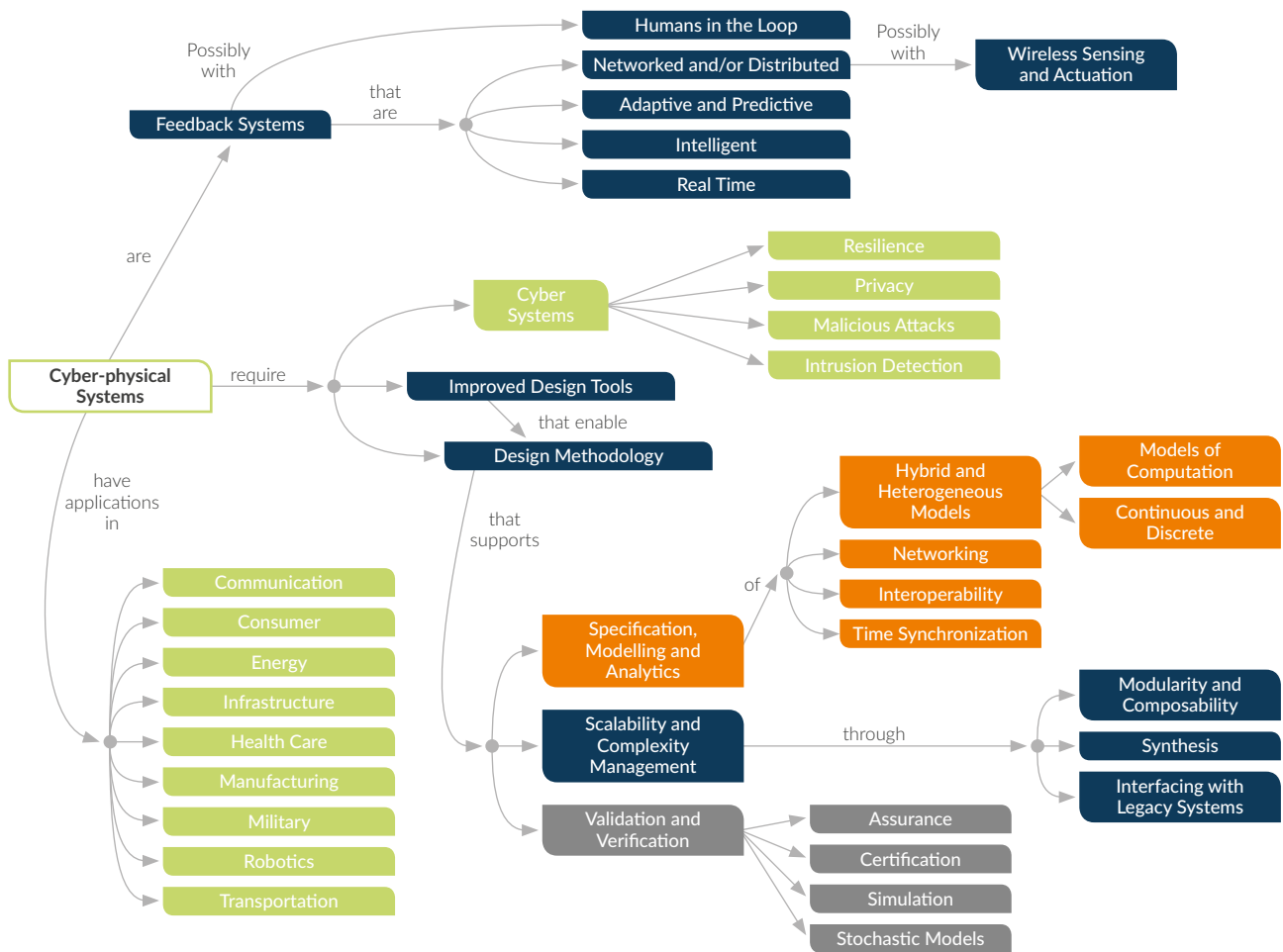


Abbildung 2: Eine Konzeptkarte von CPS (adaptiert nach<sup>34</sup>)

**Forschungs- und Handlungsbedarf im Bereich der Cyber-physical Systems gibt es zu folgenden Themenfeldern:**

(adaptiert nach 34 40 41 42)

**Kompositionalität:** Kompatibilitätsprobleme können aufgrund der Integration von heterogenen Cyber- und physikalischen Aspekten von CPS, d.h. bei der Systemintegration von beiden Systemwelten und cyberphysikalischen Systemen (CPSoS), auftreten.

**Verteilte Sensorik, Berechnung und Kontrolle:** Zu den Hauptproblemen gehört die (Halb-)Echtzeit-Erfassung adäquater Informationen, deren Verarbeitung und Verankerung der Kontrolle in einer verteilten Umgebung.

**Physikalische und menschliche Schnittstellen und deren Integration:** Ein wesentliches Merkmal von CPS ist, mit verschiedenen Umgebungen und damit auch Sensortechnologien in Kontakt treten zu können. Ein weiteres wesentliches Merkmal ist die (kognitive) Fähigkeit, effektiv mit verschiedenen Arten von Endbenutzern auf verschiedenen Qualifikations- und Kompetenzleveln durch den Einsatz von Mensch-Maschine-Schnittstellen zu kommunizieren.

<sup>40</sup> Ansari, F. et al. (2016)

<sup>41</sup> CPS Summit (2008)

<sup>42</sup> Seidenberg, U. et al. (2017)

**Extrahieren von Wissen aus heterogenen Datenquellen:**

Die Verarbeitung von Rohdaten, die in strukturiertem, halbstrukturiertem und nichtstrukturiertem Format sowie verschiedenen Qualitäts- und Wahrnehmungsleveln gesammelt werden. Des Weiteren erfordert das Extrahieren von Wissen zur Unterstützung der Entscheidungsfindung und des Lernens aus jeder Entscheidungsinstanz die Verwendung von Smart Data Analytics und Künstliche-Intelligenz-(KI-)Techniken, insbesondere Predictive/Prescriptive Data Analytics und Deep Learning (siehe Kapitel 3.8).

**Modellierung und Analyse von physischen und Cyber-Komponenten:**

Eine große Herausforderung stellt die Modellierung und Analyse von heterogenen physischen und Cyber-Komponenten mit unterschiedlichen Zeitvorstellungen über verschiedene Skalen und die Integration der daraus gesammelten Rückmeldungen dar.

**Privatsphäre, Vertrauen, Sicherheit:** Die Anwendung von CPS in verschiedenen Sektoren wirft neue Fragen in Bezug auf Privatsphäre, Vertrauen und Sicherheit auf. Unter anderem kann die Offenlegung von Informationen aus dem Cyber-physical-social-Raum neue Regeln für die Zugänglichkeit und Transparenz von Informationen erfordern. Darüber hinaus sind neue Arten von physischen und cyber-physischen Angriffen möglich, z.B. im Kontext von intelligenten und vernetzten Fabriken. Hieraus ergibt sich ein Bedarf an neuen Konzepten und Werkzeugen zur Sicherstellung und Erhöhung der Cyber-Sicherheit.

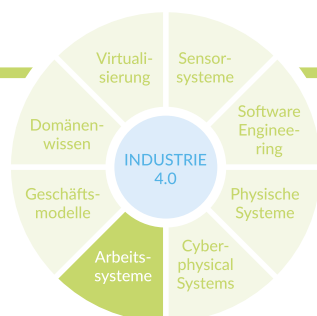
**Robustheit, Anpassung, Rekonfiguration:** CPS arbeiten in dynamischen (Produktions-)Umgebungen und müssen daher mit unsicheren Situationen und Störungen umgehen können, ohne die Ergebnisqualität zu beeinträchtigen. Darüber hinaus sollten CPS rekonfigurierbar und adaptiv sein, um (unerwartete) Fehler sowohl auf physikalischer als auch auf Cyber-Ebene zu beheben.

**Software-Technologie:** Entwicklung und Einsatz von CPS erfordern neue Programmiersprachen, während traditionelle CPS die Komplexität von Cyber-physischen Räumen bewältigen können. Darüber hinaus benötigen CPS integrierte Softwarelösungen zur Unterstützung der Leistungsplanung, Überwachung und Steuerung von CPS und zur Bewältigung hoher Datenmengen (Echtzeit) zwischen Subsystemen, Systemen und Umgebungen.

**Verifizierung, Tests (Sicherheit), Zertifizierung und Richtlinien:**

CPS erfordern neue Ansätze zur Verifizierung und für Tests, um potentielle Ereignisse wie physische oder cyberbezogene Fehler durch Vergleich mit definierten Standards zu überprüfen und anzupassen. Zu diesem Zweck sollte ein Erkennungs-, Lern- und Argumentationsmodul entwickelt werden, um die Richtigkeit von Entscheidungen sicherzustellen und das Lernen auf Basis von Vergangenheitsdaten zu fördern. Die Anwendung von CPS in verschiedenen industriellen Sektoren erfordert auch die Handhabung von Sicherheitszertifizierungen – etwa die Identifikation von Gefahrenquellen und den Umgang mit diesen in Übereinstimmung mit gesetzlichen Anforderungen für Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz.

**Gesellschaftliche Auswirkungen:** Soziale Aspekte von CPS können sich auch auf das Design, die Überprüfbarkeit, die Validierung, den Betrieb, den Datenschutz, das Vertrauen und die Fehlertoleranz auswirken. Insbesondere kann die Entwicklung von menschenzentrierten CPS gesellschaftliche, kulturelle und ethische Widerstände gegen technologische Veränderungen hervorrufen, z.B. aufgrund von Risiken des Arbeitsplatzverlustes etwa durch den Einsatz von Robotern oder intelligenten Systemen.



### 3.6 ARBEITS- UND ASSISTENZSYSTEME

#### **Autor:**

Rafael Boog, BSc – Plattform Industrie 4.0

Die Einführung von intelligenten Produktionssystemen beeinflusst maßgeblich die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Aufgaben- und Tätigkeitsprofile der Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen sowie die gesamte Arbeitsorganisation. Rückblickend betrachtet, löste jeder größere technologische Sprung grundlegende Veränderungen in den Bereichen Organisation, Technik und Mensch in der Produktion aus. Diese Veränderungen wurden von einer Reihe an wissenschaftlichen Ansätzen begleitet. Retrospektiv betrachtet, weisen zielführende Ansätze dabei eine wesentliche Gemeinsamkeit auf: Der Mensch als Problemlöser und Innovator. Jüngste Beobachtungen aus der betrieblichen Praxis zeigen auf, dass die bestmögliche Nutzung von Industrie-4.0-Produktionstechnologien durch die Verknüpfung der individuell und kollektiv möglichen menschlichen Reflexions-, Steuerungs-, Problemlösungs-, Interventions- und Anpassungsfähigkeit mit maschineller Präzision und Geschwindigkeit erzielt wird. Auch die optimale Umsetzung neuer Technologien hängt stark von der Bereitschaft, Qualifikation und Kompetenz der Belegschaft ab, diese voll mitzutragen <sup>vgl. 43 44 45</sup>. Die erfolgreiche Einführung von umfassenden Industrie-4.0-Technologien führt somit nicht zu einem Konkurrenzkampf Mensch gegen Maschine, sondern wirft die Frage nach der best-

möglichen Gestaltung und der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine auf. Dies betrifft das gesamte System Mensch-Maschine und muss daher auch Rückwirkungen auf die Gestaltung (das Design) der Maschinen haben.

Zu den Aussichten und der Zukunft der Arbeit existieren zum gegenwärtigen Zeitpunkt heterogene, teils widersprüchliche Perspektiven, welche in der ExpertInnengruppe „Mensch in der digitalen Fabrik“ und der korrespondierenden Publikation „Arbeitsorganisation im Zeitalter der Digitalisierung“<sup>46</sup> thematisiert werden. Zum jetzigen Zeitpunkt werden drei verschiedene Ausprägungen diskutiert. Das Automatisierungsszenario beschreibt die Entwertung menschlicher Arbeit, während die Technologie sämtliche Kontroll- und Steuerungsaufgaben übernimmt. Im Werkzeugenszenario unterstützt die Technologie die dominante Rolle des Menschen. Das Hybridszenario beschreibt eine Kooperation zwischen Mensch und Maschine, in der die jeweiligen Stärken die Aufgabenteilung festlegen<sup>47</sup>. Welche Ausprägung sich durchsetzen wird, hängt von vielen Faktoren ab, allerdings sprechen aus heutiger Perspektive einige Gründe für das Werkzeugenszenario, wie z.B. der Mensch als Entscheider in ungeplanten bzw. unvorhersehbaren Situationen. Die große Bedeutung menschlicher Arbeitskraft veranlasste die Erarbeitung humanzentrierter Erweiterungen von Cyber-physical Systems (CPS), die neben der Verbindung des physischen und digitalen Raums menschliches Wissen integrieren <sup>vgl. 43 48 49</sup>. CPS nehmen eine zentrale Rolle in der angestrebten Industrie 4.0 ein. Durch die Verbreitung solcher Systeme werden sich die Interaktionen zwischen Mensch und Maschine zweifelsfrei, mit neuen Formen der kollaborierenden Arbeit, erhöhen. Dabei werden Beschäftigte durch intelligente, multimodale Assistenzsysteme erleichternd unterstützt. Maßgebend für eine erfolgreiche Veränderung werden, neben Technik- und Softwarearchitekturen und Organisationsmodellen von Arbeit, umfassende Weiterbildungs- und Qualifikationsaktivitäten sein<sup>50</sup>. Die ExpertInnengruppe der Plattform Industrie 4.0, Qualifikati-

<sup>43</sup> Dombrowski, U. et al. (2014)

<sup>44</sup> Deuse, J. et al. (2015)

<sup>45</sup> Hirsch-Kreinsen, H. (2015)

<sup>46</sup> Verein Industrie 4.0 (2017)

<sup>47</sup> Buhr, D. (2015)

<sup>48</sup> Hadorn, B. et al. (2016)

<sup>49</sup> Hirsch-Kreinsen, H. (2015)

<sup>50</sup> Mühlbradt, T. et al. (2018)

on und Kompetenzen, widmete sich intensiv diesem Thema und veröffentlichte ein Ergebnispapier, das Antworten und Inputs gibt, um die Qualifikations- und Kompetenzanforderungen bestmöglich zu erfüllen<sup>51</sup>.

Die IT-Unterstützung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern während ihrer Tätigkeiten ist bereits in der betrieblichen Praxis angekommen. Derzeitige Entwicklungen konzentrieren sich auf die Verbesserung der Benutzerschnittstelle zwischen Mensch und Maschine mit dem Ziel der aktiven Arbeitserleichterung in Echtzeit. Neben maschinellen und IT-Werkzeugen, die die manuelle Arbeit erleichtern, gewinnen prozessorientierte, multimodale Assistenzsysteme zunehmend an Bedeutung.

Derartige Assistenzsysteme sind in der Lage, individuelle Nutzerprofile zu erstellen und Unterstützungsleistungen an die konkreten Bedürfnisse des Nutzers anzupassen, d.h. die Maschine passt sich an den Menschen an und nicht umgekehrt. Daraus ergibt sich neben Prozessoptimierungspotenzialen die Möglichkeit, Lernsequenzen unterschiedlicher Ausprägung und Komplexität einzubetten, was ein breiteres Spektrum der betrieblichen Weiterbildung eröffnet und dazu beiträgt, die Grenze zwischen Arbeit und Lernen (z.B. On-Demand-Learning am Arbeitsplatz) zunehmend aufzuweichen. Um optimale Arbeitsbedingungen und Lerneffekte zu erzielen, müssen multimodale Assistenzsysteme so gestaltet werden, dass sie das vorhandene Prozesswissen und die individuellen Anforderungen der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen berücksichtigen. Ein weiterer wichtiger Aspekt dabei ist die Gestaltung der Nutzbarkeit und Verwendungsfähigkeit von Informations- und Kooperationssystemen aus Anwendersicht (Human-Centered Computing). Hauptaugenmerk kommt dabei der Wechselwirkung von menschlichem Arbeitsverhalten, Organisation und Prozess zu.

Intelligente Robotertechnologien sind ein Schlüsselaspekt der flexiblen Produktion. Im klassischen Industrieinsatz werden Roboter aus Sicherheitsgründen physisch vom Menschen getrennt. Moderne, sensitive und kollaborative Roboter haben jedoch das Potential, hinter dieser Barriere hervorzukommen und neben bzw. mit Menschen zu arbei-

ten. Dies erschließt neue Einsatzbereiche für Robotik in der Industrie, da eine Teilautomatisierung von bisher ausschließlich manuellen Prozessen durch die Kombination der Stärken eines Menschen mit denen des Roboters erreicht werden kann. Robotik ist nicht nur ein essentieller Baustein von Industrie 4.0, sondern auch ein Innovationstreiber sowohl in der Industrie- als auch der Service-Robotik.

Der Einsatz von innovativen multimodalen Assistenzsystemen, z.B. die Visualisierung mit Hilfe von Augmented und Virtual Reality, die Echtzeitdatenübertragung erlauben, trägt neben den erwähnten positiven Effekten auch zur Möglichkeit bei, durch neue Services oder Geschäftsmodelle die betriebliche Wertschöpfungskette zu verlängern. Daraus ergibt sich ein großes Potential für den Standort Österreich.

---

<sup>51</sup> Verein Industrie 4.0 (2017)

**Forschungs- und Handlungsbedarf im Bereich der Arbeits- und Assistenzsysteme gibt es zu folgenden Themenfeldern:**

**Arbeitsorganisation:** Um zweckmäßige und langfristig stabile Produktionsprozesse im Kontext Industrie 4.0 zu gewährleisten, bedarf es der weiteren Untersuchung der Ausprägung des Wirkverhältnisses zwischen den Bereichen Organisation, Technik und Mensch in der Produktion. Hierunter fallen auch die Entwicklung der Kategorisierung und Systematisierung von Modelltypen, der Aufbau von Klassifizierungskonzepten, die Rekonfigurierbarkeit von Produktionssystemen und die Arbeits- und Organisationspsychologie.

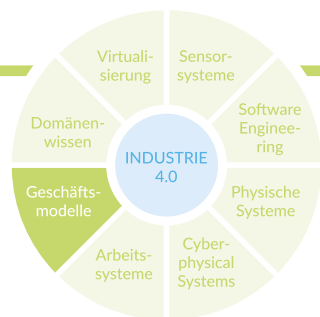
**Kompetenzen:** Forschungs- und Entwicklungsbedarf gibt es ferner auch für bedarfsgesteuerte Kompetenzmanagementsysteme zur Unterstützung wettbewerbsfähiger Produktionsunternehmen. Durch Assistenzsysteme in Form von Augmented- bzw. Mixed Reality besteht künftig die Möglichkeit, Lernprozesse flexibel zu gestalten und somit auf individuelle Bedürfnisse einzugehen. Hier gilt es, Lösungen zu entwickeln, die weiterführende betriebliche Qualifikationsmaßnahmen unterstützen.

**Assistenz:** Zur Vereinfachung von Handhabungs-, Transport- und Bearbeitungsaufgaben benötigt man weitere Entwicklungsschritte in Richtung neuartiger Automatisierungslösungen. Die Entwicklung multimodaler Assistenzsysteme mit intuitiven Benutzerschnittstellen bei zugleich positiver Beeinflussung der ergonomischen Gestaltung des Arbeitsplatzes ist hier von großer Bedeutung.

**Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) im industriellen**

**Umfeld:** Erkennen und Interpretieren der Umgebung, Sensor-basierte Roboterbedienung sowie Safety und Maschinensicherheit sind in diesem Kontext Themen mit großer Hebelwirkung. Für inhärent sichere und zuverlässige, autonom agierende Roboter gilt es, in den Gebieten der Mechanik, Sensorik, Aktuatorik, Steuerung und der Software weitere Fortschritte zu erzielen.

**Bewusstseins- und Akzeptanzschaffung:** Für die große Zahl an österreichischen Unternehmen, die erst am Anfang ihrer digitalen Transformation stehen, bedarf es eines einheitlichen Verständnisses über I4.0 und gezielter Bewusstseinsbildung sowie Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung bei den MitarbeiterInnen, damit die betrieblichen Maßnahmen auf fruchtbareren Boden fallen und effektiv wirken.



### 3.7 WERTSCHÖPFUNGS- NETZWERKE UND GESCHÄFTSMODELLE

**Autor:**

Rafael Boog, BSc – Plattform Industrie 4.0

Ein zentrales Charakteristikum von Industrie 4.0 ist die zunehmende Nutzung von dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken mit einem hohen Grad an Autonomie und Automatisierung. Viele eigenständige Beteiligte eines Wertschöpfungsprozesses werden durch solche Wertschöpfungsnetzwerke zu einem Zusammenschluss an Firmen verbunden, deren gemeinsames Interesse auf einen dauerhaften und wirtschaftlichen Mehrwert abzielt. Um effizient zu sein und neue Geschäftsmodelle zu ermöglichen, muss der Informationsfluss in diesem Wertschöpfungsnetzwerk ermöglicht werden<sup>52</sup>. Angebot und Nachfrage der Dienstleistungen werden hinkünftig automatisch über Unternehmensgrenzen hinweg angeglichen und zu wertschöpfenden Prozessen verbunden werden.

Industrie 4.0 ermöglicht, bestehende Geschäftsmodelle zu verändern<sup>53</sup>. Durch die Wandlung vom reinen Produzenten zum produzierenden Serviceanbieter eröffnet sich eine Fülle an Geschäftsmöglichkeiten. Um im globalen Wettbewerb bestehen zu können, müssen verschiedene Dimensionen kombiniert werden: die zunehmende Vernetzung mit Lieferanten und Abnehmern, die Entwicklung und Erweiterung von digitalen Serviceleistungen und die Steigerung des Nutzens für den Kunden. Durch zunehmende Vernetzung

und die Einbeziehung und Analyse von Daten bietet sich die Möglichkeit, bestehende Geschäftsmodelle effizienter, mehr am Kunden orientiert und von Daten getrieben, auszurichten. Auch neue Geschäftsmodelle profitieren von diesen Möglichkeiten bzw. werden durch diese überhaupt erst realisierbar. Bei neuen Geschäftsmodellen geht es insbesondere darum, die Digitalisierung zu nutzen, um neue Ertragsquellen zu erschließen, die mit dem bisherigen Geschäftsmodell nicht eröffnet werden konnten. Die Herausforderung bei der Entwicklung liegt darin, die scheinbar unüberschaubaren technologischen Entwicklungen zu überblicken und Risiken und Chancen zu analysieren, um daraus zielgerichtete Geschäftsmodelle zu entwickeln. Eine Vielzahl an innovativen Modellen basiert auf der gekonnten Kombination bereits bekannter Lösungen<sup>54</sup>. Beispielhaft zu erwähnen ist hier das schon 1962 genutzte Modell des britischen Triebwerksherstellers Rolls-Royce, bei dem anstelle eines einmaligen Verkaufspreises einer Turbine ein festgelegter Wert pro Flugstunde verlangt wurde. Dies ermöglichte neben dem Angebot des physischen Produkts zusätzliche, wertschöpfende Dienstleistungen.

Um von offenen und dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken zu profitieren, insbesondere bei der Integration von mehreren Bauteilen, zu einem System, bedarf es eines gemeinsamen Verständnisses und abgestimmten Vorgehens bei der Umsetzung neuartiger Geschäftsmodelle<sup>55</sup>. Eine wichtige Rolle werden daher bedarfsgerechte Modelle zur gemeinsamen Kooperation einnehmen, um die Vision von Unternehmensgrenzen übergreifender, vernetzter Produktion und produktionsnahen Dienstleistungen zu realisieren.

<sup>52</sup> Zolnowski, A. et al. (2013)

<sup>53</sup> Lassnig, M. et al. (2017)

<sup>54</sup> Zolnowski, A. et al. (2013)

<sup>55</sup> Kersten W. et al. (2018)



### Forschungs- und Handlungsbedarf in den Bereichen Geschäftsmodellentwicklung und Bildung von Wertschöpfungsnetzwerken gibt es zu folgenden Themenfeldern:

**Neue Methoden rücken den Kunden in den Fokus:** Bei der Erarbeitung neuer Geschäftsmodelle, aber auch bei der Veränderung von bestehenden, bedarf es der Unterstützung durch den Kunden bei der Bewertung von technologischen Möglichkeiten und deren möglichen Risiken und Chancen.

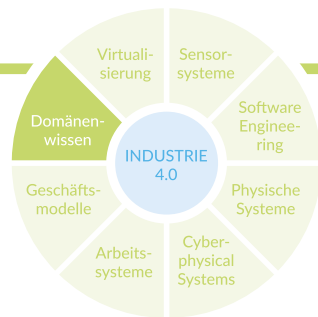
Vor allem muss die Differenzierung nicht nur über technische Spezifikationen, sondern auch in Hinblick auf die Anwendung aus Sicht des Kunden verstanden werden. Insbesondere der digitalisierte Bullwhip Effect und seine Auswirkungen sind für die Kundenorientierung als Ausgangspunkt im Supply Chain Management von hohem Interesse.

**Datengetrieben:** Die Etablierung datengetriebener und -basierender Geschäftsmodelle beinhaltet hohes Potential für produzierende Unternehmen. Um diese Chancen zu nutzen, bedarf es einer neuen Herangehensweise in vielen Prozessen: der Erstellung und Bewertung von Wertemodellen sowie der Definition der benötigten Daten.

**Gemeinsames Verständnis:** Best-Practice-Beispiele sowie Geschäftsmodellmuster sollen verfügbar gemacht werden, um ein gemeinsames Bild der Wertschöpfungsnetzwerkpartner zu unterstützen und die Entwicklung von Modellen zu befeuern.

**Rechtliche Aspekte:** Durch die Bildung von Wertschöpfungsnetzwerken und im Zusammenhang mit neuen Formen von Geschäftsmodellen ergeben sich neue Aspekte in Haftungsfragen, der Eigentümerschaft von z.B. Daten und Ähnlichem.

**Aufbau und Modellierung neuer Wertschöpfungsnetzwerke:** Für den Zusammenschluss vieler eigenständiger Teilnehmer eines Wertschöpfungsprozesses ist eine offene Architektur mit gleichzeitig minimalem Betriebsaufwand notwendig. Der Umgang mit der dadurch entstehenden Komplexität sowie die Entwicklung von Methoden zur Bewältigung des konstanten Wandels innerhalb eines Netzwerks bedürfen dabei der gezielten Forschung. Die Digitalisierung der Overall Equipment Effectiveness (OEE) stellt dabei ein besonders interessantes Forschungsfeld dar.



### 3.8 DOMÄNENWISSEN UND SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN

**Autoren:**

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Franz Haas –  
Technische Universität Graz;

O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Zeman –  
Johannes Kepler Universität Linz

Dem Forschungsfeld „Domänenwissen und Schlüsseltechnologien“ kommt innerhalb der Strategie zu Forschung/Entwicklung/Innovation der österreichischen Plattform Industrie 4.0 eine spezifische Rolle zu, weshalb es im Themenkreis besonders hervorgehoben wird.

Erstens ist Industrie 4.0 vom Grundverständnis her ein interdisziplinäres Arbeitsfeld und gründet sich auf mehrere Säulen (Domänen). Schon der zentrale Begriff „Cyber-physical System“ gibt den Hinweis auf die Notwendigkeit zur gleichwertigen Beherrschung von Mechanik, Elektronik und Informationstechnologie. So einfach dies postuliert werden kann, so komplex ist die erfolgreiche Umsetzung in der aktuell und künftig geforderten Quantität und Qualität.

Zweitens werden die Erfolge in der Implementierung von Industrie 4.0 durch das im jeweiligen Betrieb vorhandene Prozesswissen getragen. Dieser „Schatz“ ist im übertragenen Sinn eine Kraftquelle für Industrie 4.0 und umfasst im Wesentlichen das Erfahrungs- und Methodenwissen der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen zur Produktion im engeren Sinn sowie zu den Wechselwirkungen mit den vor- und nachgelagerten Teilprozessen.

In einem Vortrag von voestalpine<sup>56</sup> wurde ein Beispiel genannt, das den beschriebenen Sachverhalt sehr gut wiedergibt. Ein Big-Data-Projekt hatte zum Ziel, den Blechwalzprozess prozesssicherer zu gestalten. Es ist aus der Erfahrung bekannt, dass der Sauberkeit der Walzenoberflächen für eine gleichbleibende Oberflächen-Qualität der Bleche große Bedeutung zukommt. Nur wie kann man „Sauberkeit“ quantifizieren? So kam man auf die Idee, Verunreinigungen mit Klebefolien-Streifen zu sammeln, zu klassifizieren und die Digitalfotos zu verarbeiten. Jetzt kommt das Erfahrungswissen ins Spiel, muss doch jemand darüber urteilen können, welche Art und welches Ausmaß an Verschmutzung gerade noch tragbar ist und ab wann ein Reinigungsvorgang geplant werden muss.

Dieses einfache und daher umso eindrucksvollere Beispiel zeigt deutlich, worauf es ankommt und worin das Defizit im gegenständlichen Arbeitsfeld besteht. Künstliche Intelligenz bedarf eines Regelwerks der Urteilsfähigkeit, benötigt tragfähige mathematische Modelle, basierend auf den Grundlagen der Physik, der Mechanik, der Elektrotechnik. Was nützt es, Hunderte von Messsignalen einer Produktionslinie in Echtzeit, mit hohen Abstraten aufzunehmen, wenn mangels tauglicher Modelle niemand in der Lage ist, daraus die richtigen Schlüsse zu ziehen? Letztlich ist davon auszugehen, dass auch die Produktionsmaschine der Zukunft nicht ohne den Menschen funktionieren wird. Aus dem Zusammenwirken von menschlicher und künstlicher Intelligenz ergeben sich weitere Forschungsfragen<sup>57</sup>.

<sup>56</sup> Saiger, H. (2018)

<sup>57</sup> Reinhart, G. (2017), S. 377

**Forschungs- und Handlungsbedarf im Bereich Domänenwissen und Schlüsseltechnologien gibt es zu folgenden Themenfeldern:**

**Technologie:** Profilbildung in der österreichischen Technologie-Szene, um Stärken zu stärken. Technologie-Screening im Zukunftsbereich Photonik, um sowohl die technologischen Sprünge der Lasertechnik für die Fertigungsprozesse als auch die Möglichkeiten der modernen Datenübertragung durch Lichtleiter nutzen zu können.

**Miniaturisierung:** Forschungsarbeiten rund um das Thema Miniaturisierung und die angrenzenden Themenfelder, insbesondere der Mess- und Handhabungstechnik miniaturisierter Komponenten.

**Qualifikation und Kompetenzen:** Gezielte Ausbildungsprogramme in den von der Europäischen Kommission identifizierten Schlüsseltechnologien.

**Schulterschluss:** Recherchen im Rahmen der relevanten Fachgremien und nationalen Plattformen, um nicht Gefahr zu laufen, lediglich dem allgemeinen „Mainstream“ zu folgen. Ebenso ist eine vertiefende und laufende Abstimmung zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung zu diesem Zweck erforderlich.

**Wissensmanagement:** Systematische Sammlung von Fachwissen aus allen Hierarchieebenen und Tätigkeitsfeldern. Suche nach dem Optimal-Mix aus dezentraler Selektion/Validierung/Verarbeitung von Messdaten und zentraler Sammlung und Informationsgewinnung entsprechend der Philosophie von „Big Data“. Initiierung von Data-Labs in Unternehmen, Fachhochschulen, Universitäten und Schulen mit den modernsten Analyse- und Visualisierungs-Werkzeugen, um „Domänenwissen“ greif- und erlebbar zu machen.

# FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND INNOVATION IN ÖSTERREICH

# 4

Forschung, Entwicklung und Innovation sind wesentliche Grundpfeiler, um die Chancen, die sich durch die Digitalisierung bieten, auch effektiv zu nutzen. Das Forschungsland Österreich, mit seiner zentralen Lage als Ost-West-Drehscheibe, reüssiert im internationalen Vergleich und bietet Unternehmen und Forschungseinrichtungen gute Rahmenbedingungen, eine moderne Infrastruktur und qualifizierte Fachleute. Gemessen an einem direkten Anteil von 18,9% der Bruttowertschöpfung liegt Österreichs Industrie über dem EU-Durchschnitt von 15,9%<sup>58</sup> und leistet mit seinen vor- und nachgelagerten Teilen der Wertschöpfung einen hohen Beitrag zum Wohlstand Österreichs. Um diesem guten Nährboden Rechnung zu tragen, wurden im Zuge der Bedarfserhebung der Expertengruppe auch Maßnahmen zur Förderung der österreichischen Forschungslandschaft behandelt.

Universitäten, Fachhochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen spielen über Forschungskompetenzen, Infrastrukturen und Ausbildungsstrukturen eine zentrale Rolle im Innovationssystem und interagieren in vielfältiger Weise mit Unternehmen. Durch Bereitstellung öffentlicher Mittel wird eine verbesserte Zusammenarbeit der verschiedenen Institutionen angeregt, die die Forschungsbasis wesentlich verbreitert und etliche Spillover-Effekte generiert.

Das Innovationssystem eines Landes hat große Auswirkungen auf die Entwicklung und Wettbewerbsfähigkeit seiner Unternehmen, und damit auf die gesamte Volkswirtschaft. Durch seine Investitionen in die Grundlagen- und Anwendungsforschung sowie in Ausbildung und Infrastruktur erbringt der Staat wesentliche Vorleistungen für den privaten Forschungs- und Entwicklungsbereich<sup>59</sup>. Durch Erhöhung der öffentlichen und privaten F&E-Ausgaben gehört Österreich zu den EU-Ländern mit der stärksten Zunahme der F&E-Intensität seit 1998 und konnte sich so von einer Volkswirtschaft, in der Innovations- und Wachstumsprozesse nur zu geringen Teilen von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten vorangetrieben wurden, hin zu einem forschungsinten-

tensiven Land entwickeln und hat sich zum Ziel gesetzt, in die Gruppe der „Innovation Leader“ aufzuschließen.

Ein maßgebliches Mittel, um im internationalen Wettbewerb erfolgreich zu sein, ist – für ein exportorientiertes Industrieland wie Österreich – eine hohe Innovationsleistung. Österreich liegt mit seiner Forschungsquote, die für 2018 voraussichtlich einen Rekordwert von 3,19 Prozent des BIP erreichen wird, hinter Schweden an zweiter Stelle innerhalb der EU. Der größte Anteil, nämlich mehr als 65 Prozent der gesamten F&E-Investitionen in Österreich, wird von Unternehmen geleistet (inländische Unternehmen, sowie österreichische Niederlassungen von internationalen Unternehmensgruppen). Darüber hinaus leistet die Forschungsfinanzierung und Förderung durch den öffentlichen Sektor mit rund 35%<sup>60</sup> einen wesentlichen Beitrag dazu. Daher ist es wichtig, diese staatliche Unterstützung in Form von Investitionen in Forschung, Entwicklung und Innovation weiter zu intensivieren, um günstige Rahmenbedingungen für die österreichische Industrielandschaft zu schaffen und in Folge Wertschöpfung und Beschäftigung zu stärken.

## 4.1 F&E-FINANZIERUNG IM BEREICH INDUSTRIE 4.0 UND DIGITALISIERUNG AUF NATIONALER EBENE<sup>61</sup>

In Österreich gibt es einen Mix aus direkter F&E-Förderung und steuerlicher Begünstigung von F&E-Aktivitäten. Dadurch können alle Innovationsphasen adressiert und gefördert werden und alle F&E-aktiven Akteure in ihren Tätigkeiten unterstützt werden. Für ein starkes FTI-System braucht es sowohl eine hochwertige Grundlagenforschung als auch

<sup>58</sup> Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (2016)

<sup>59</sup> Keuschnigg, C. et al. (2017)

<sup>60</sup> Statistik Austria (2018)

<sup>61</sup> Das folgende Kapitel fokussiert speziell auf Maßnahmen zur Unterstützung von angewandter F&E, da wie auch schon im vorigen Kapitel ausgeführt anwendungsorientierte F&E-Maßnahmen im Fokus des vorliegenden Ergebnisrapports stehen. Das soll jedoch keinesfalls suggerieren, dass eine starke Unterstützung der reinen Grundlagenforschung nicht als ebenso wichtig erachtet wird.

exzellente angewandte F&E durch Wissenschaft und Wirtschaft.

F&E-politische Maßnahmen zur Unterstützung von Forschung, Entwicklung und Innovation umfassen zusätzlich zu entsprechenden rechtlichen oder administrativen Rahmenbedingungen, wie etwa Maßnahmen zur Unterstützung von Wissenstransfer aus der Grundlagenforschung in die angewandte F&E durch Beratung, Mentoring und Finanzierung von Spin-offs bzw. von F&E-Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft oder Bürokratieabbau, als wesentliches Element die F&E-Finanzierung.

Mit der Forschungsprämie, die seit 1.1.2018 auf 14 % angehoben wurde, konnte Österreich einen USP etablieren, der einen wesentlichen Eckpfeiler der Attraktivität des F&E- und Innovationsstandortes darstellt. Besonders für risikoreiche F&E-Vorhaben, insbesondere in frühen Innovationsphasen, bietet die Forschungsprämie eine optimale Unterstützung. Damit bildet sie speziell auch im Bereich Industrie 4.0 und Digitalisierung ein überaus wichtiges Element, das auch in Zukunft abgesichert werden muss, um auch weiterhin einen essentiellen Mehrwert für das innovative Ökosystem und die innovationsfreundlichen Rahmenbedingungen zu

schaffen. Auf nationaler Ebene und im Bereich der direkten F&E-Förderung beteiligt sich das BMVIT neben dem BMDW und BMBWF auch aktiv an der Förderpolitik und der Koordination von Industrie-4.0-Themen und unterstützt thematische Prioritäten in verschiedenen, von der FFG und der aws. betreuten F&E-Programmen.

Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) konzentriert sich dabei auf die Förderung der anwendungsorientierten, industrienahen Forschung, Entwicklung & Innovation, die Förderung der Breitbandinfrastruktur (Breitband Austria 2020) und der Markteinführung von digitalen Anwendungen und Produkten (AT:net). Hauptziel ist dabei, das Niveau der in Österreich entwickelten und umgesetzten Innovationen zu steigern.

Die FFG verfügt dabei über einen ausgewogenen Bottom-up- und Top-down-Mix an Förderungen. Die FFG wickelt zahlreiche Programme für verschiedene Geldgeber auf Bundesebene (BMVIT, BMDW, BMBWF, KLIEN, ÖBB, AS-FINAG usw.) und Landesebene (Kooperationen mit einigen Bundesländern) ab, dies treuhändisch oder mit Eigenmitteln (s. Abb. 3).

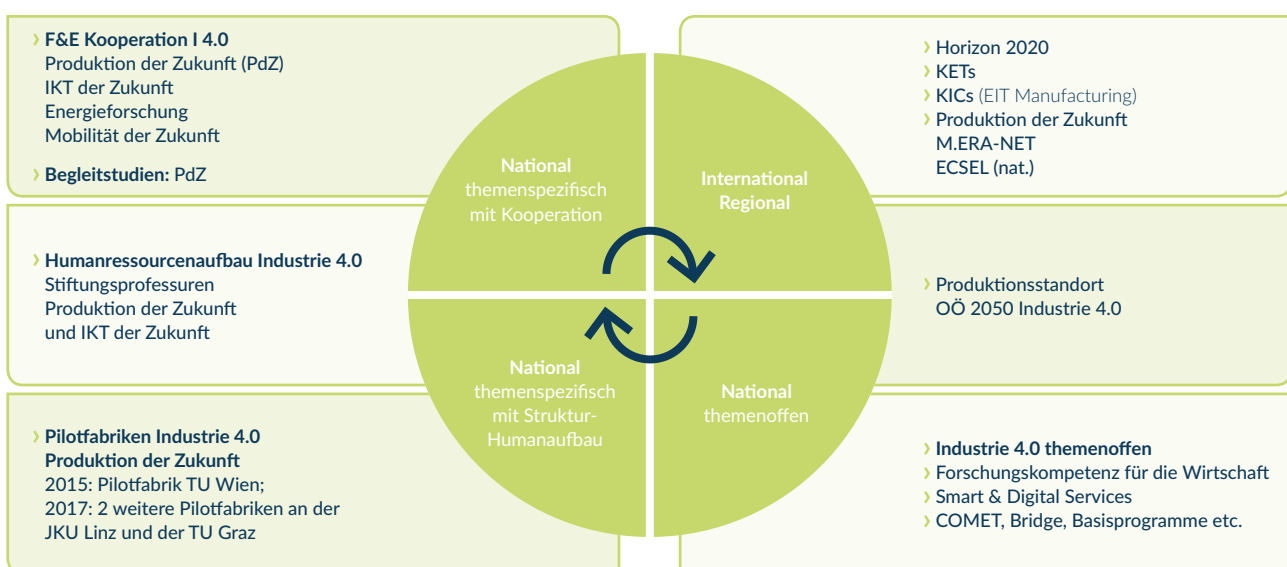


Abbildung 3: Fördermix und Services der FFG hinsichtlich Industrie 4.0 (Quelle: FFG)

Die ersten zum Thema Industrie 4.0 und von der FFG geförderten F&E-Projekte sind 2012 entstanden. Seitdem, v.a. seit 2014, hat die FFG über 200 F&E-Vorhaben zum Thema „Industrie 4.0“ gefördert, die meisten davon in den Themenfeldern Industrielle Fertigung, IKT-Anwendungen, Informationsverarbeitung, (Mikro-)Elektronik und Werkstofftechnik.

Darüber hinaus bildet das Basisprogramm das budgetär größte F&E-Förderprogramm der FFG. Für die Unternehmen ist dieses besonders wertvoll, da durch das themenoffene Bottom-up-Prinzip und die laufende Ausschreibung eine hohe Flexibilität und rasche Time-to-Contracts geboten werden. In diesem Programm sind sowohl Einzelprojektförderungen als auch optional Forschungsk Kooperationen möglich. Damit können im Rahmen der Basisprogramm-Förderung insbesondere auch hochsensible, im Wettbewerb stehende Themenbereiche beforscht und weiterentwickelt werden. Um gerade in Zeiten kürzer werdender Innovationszyklen und zunehmenden Wettbewerbsdrucks flexible Förderinstrumente anbieten zu können, ist es daher notwendig, solche Förderformate zu festigen und auszubauen.

Mit der auf dem Basisprogramm oder auf COIN aufbauenden Initiative „Smart and Digital Services“ des BMDW werden spezielle Maßnahmen zur Unterstützung von Dienstleistungsinnovationen mit F&E-Charakter geboten, die zusätzlich zur Förderung auch zur Bewusstseinsbildung hinsichtlich nicht rein technologischer Innovationen, wie sie in Zeiten aktueller Entwicklungen zunehmend an Bedeutung gewinnen, beitragen. Aktuelle Schwerpunkte dieser Initiative sind Industrie 4.0 und Blockchain. Für die Antragsteller wird hohe Flexibilität geboten, da für sie bei der Einreichung im Rahmen der „Smart and Digital Services“-Förderschiene kein Zusatzaufwand zur üblichen Basisprogramm- oder COIN-Antragstellung entsteht.

Neben allen themenoffenen Programmen – insb. Basisprogramm, BRIDGE und COMET – können F&E-Vorhaben zum Thema Industrie 4.0 grundsätzlich in folgenden thematisch orientierten Programmen gefördert werden, vor allem:

- › Produktion der Zukunft  
[www.ffg.at/produktionderzukunft](http://www.ffg.at/produktionderzukunft)
- › IKT der Zukunft  
[www.ffg.at/iktderzukunft](http://www.ffg.at/iktderzukunft)
- › Mobilität der Zukunft  
[www.ffg.at/mobilitaetderzukunft](http://www.ffg.at/mobilitaetderzukunft)

#### › TAKE OFF

[www.ffg.at/takeoff](http://www.ffg.at/takeoff)

#### › Energieforschung

[www.ffg.at/energieforschung](http://www.ffg.at/energieforschung)

Im Programm „Produktion der Zukunft“ des BMVIT wird Industrie 4.0 auch 2018/2019 ein Schwerpunkt der Ausschreibung sein. Die traditionell hohe Call-Überzeichnung deutet auf einen sehr großen Finanzierungsbedarf auf dem Gebiet der Produktionstechnologien seitens der Firmen und deren wissenschaftlichen Kooperationspartner (Universitäten, Fachhochschulen, außeruniversitäre Einrichtungen) hin.

Darüber hinaus hat die FFG im Auftrag des BMVIT eine Reihe von Studien über das Thema Industrie 4.0 beauftragt: <https://www.ffg.at/produktionderzukunft/studien>

Diese Studien bieten eine wichtige Grundlage für Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Stakeholder und öffentliche Einrichtungen, die mit Industrie 4.0 und Digitalisierung in der heimischen Sachgüterproduktion befasst sind.

Auch auf regionaler Ebene unterstützt die FFG das Thema Industrie 4.0. Im Auftrag des Landes Oberösterreich und ergänzend zu den Bundesprogrammen gab es 2014 eine Ausschreibung zu diesem Schwerpunkt. 2017 gab es im Auftrag der Bundesländer Steiermark und Kärnten eine Ausschreibung zum verwandten Thema Mikroelektronik („Silicon!Alps“).

In dieses Umfeld ist Silicon Austria eingebettet, eine Forschungs-Investitionsoffensive des BMVIT für die österreichische Elektronikindustrie und den Hochtechnologiestandort Österreich auf dem Gebiet elektronikbasierter Systeme (Electronic Based Systems – EBS). Dadurch soll Österreichs internationale Wirkung und Sichtbarkeit im Bereich der Mikroelektronik und elektronikbasierter Systeme erhöht und das Land zu einem attraktiven und führenden Standort ausgebaut werden. Dazugehörige Maßnahmen sind Stiftungsprofessuren, Pilotfabriken für Elektronik und Mikroelektronik, die Schaffung offener Werkstätten an Universitäten und Schulen, Elektronik-Leitprojekte oder die Etablierung eines Forschungszentrums – Silicon Austria Labs –, das ein Forschungszentrum für Mikroelektronik auf Weltniveau werden soll. Ziel ist, die heimischen Kompetenzen in der Mikroelektronik zu bündeln und Österreich international an die Spitze zu bringen. Die drei Standorte von Silicon Austria sind in

Graz, Linz und Villach eingerichtet und haben unterschiedliche Schwerpunkte: Villach – Sensorik und Sensorsysteme, sowie Leistungselektronik, Linz – Hochfrequenztechnik und Graz – System-Integration. Silicon Austria soll in den kommenden Jahren bis zu 500 neue Top-Arbeitsplätze bringen. Insgesamt 280 Millionen € stellen das Infrastrukturministerium, die Bundesländer Steiermark, Kärnten und Oberösterreich sowie die österreichische Industrie für das Forschungszentrum zur Verfügung (Bund und Länder jeweils 70 Mio., 140 Mio. von der österreichischen Industrie).

Um den technologischen und finanziellen Bedarf der Firmen noch treffsicherer zu adressieren, werden die Förderformate und deren Schwerpunkte laufend evaluiert. Für die F&E im Bereich einer Querschnittsmaterie wie der Digitalisierung sollten entsprechende Möglichkeiten in bestehenden Förderprogrammen entwickelt werden, die eine bessere mittelfristige Planung für Firmen und Forschungseinrichtungen erlauben, weniger kompartimentiert sind und themenübergreifende Vorhaben unterstützen. Damit könnte rascher und flexibler auf neue Entwicklungen/Trends reagiert werden. Schließlich könnten die bi- und multilateralen F&E-Kooperationen in Europa und darüber hinaus vorangetrieben werden – mit Deutschland als Vorreiter insb. zum Thema Industrie 4.0.

---

## 4.2 EU-FORSCHUNGSRAHMENPROGRAMM

Das aktuell laufende 8. EU-Forschungsrahmenprogramm „Horizon 2020“ ist mit knapp 80 Mrd. € in 2014–2020 das weltweit größte, transnationale kooperative Programm für Forschung und Innovation und damit ein wesentliches Instrument zur Stärkung der europäischen, wissensbasierten Wettbewerbsfähigkeit sowie zum Ausbau europäischer Innovationsnetzwerke. In der derzeitigen Ausgestaltung sind spezielle Stärken, dass kooperative F&E-Vorhaben zwischen den teilnehmenden Staaten gefördert und die gesamte Innovationskette adressiert werden. F&E-aktive Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft, verschiedenste Branchen und Unternehmen aller Größen können im Rahmen von Horizon 2020 gefördert werden.

Österreich beteiligt sich außerordentlich erfolgreich an Horizon 2020 und ist mit einer Erfolgsquote hinsichtlich seiner Beteiligungen auf Platz 3: Bisher ist es österreichischen Akteuren aus Wissenschaft und Wirtschaft gelungen, mehr als 871 Mio. € einzuwerben. Besonders erfreulich ist das starke Abschneiden der Unternehmen, die ihre Beteiligung gegenüber dem vorigen EU-Forschungsrahmenprogramm um zehn Prozent steigern konnten und im Ländervergleich mit mehr als 37 % der zurückgeholten Mittel deutlich über dem Durchschnitt (31 %) liegen. Damit ist es gelungen, das Ziel, die Unternehmens- und Industriebeteiligung im Vergleich zum Vorgängerprogramm zu steigern, zu erreichen.

Einzelne Schwerpunkte von Horizon 2020 betreffen speziell den Bereich Industrie 4.0 und Digitalisierung, wie insbesondere die speziellen Programme zur Förderung von Schlüsseltechnologien oder Initiativen wie das FET Flagship on Quantum Technologies.

Aktuell befindet sich die Vorbereitungsphase zum neuen Forschungsprogramm Horizon Europe in einer wichtigen Phase. Um auch in Zukunft auf dem Erfolg von Horizon 2020 aufzubauen und hochaktuelle und strategisch relevante Themenbereiche zu adressieren und die europäischen Wertschöpfungsketten abzusichern, braucht es eine entsprechende Prioritätensetzung in den Verhandlungen.

### **Electronic Components and Systems for European Leadership „ECSEL“**

ECSEL ist als Joint Undertaking (JU) eine Partnerschaft zwischen privatem und öffentlichem Sektor für elektronische Komponenten als eigene Rechtspersönlichkeit, durch die ein Forschungs- und Innovationsprogramm für die Entwicklung einer starken und global wettbewerbsfähigen Industrie für elektronische Bauelemente und Systeme in der EU verwaltet wird.

2014 wurden im JU ECSEL im Rahmen von Horizon 2020 die Joint Technology Initiatives (JTIs) ARTEMIS (Embedded Systems) mit ENIAC (Nanoelektronik) und EPoSS (Smart Systems Integration) zusammengeführt.

Die Finanzierung von ECSEL und der darüber verwalteten Forschungs- und Innovationsprogramme erfolgt über Horizon 2020 und beträgt mehr als 5 Mrd. € von 2014 bis 2020. Rd. 1,17 Mrd. € über die Europäische Kommission, rd.



1,17 Mrd. € über die ECSEL-Mitgliedstaaten und rd. 2,7 Mrd. € über die Mitgliedsunternehmen der beteiligten Industrievereinigungen.

Mitglieder sind die Industrievereinigungen European Technology Platform on Smart Systems Integration (EPoSS), Association for European NanoElectronics Activities (AENEAS) und die Advanced Research & Technology for Embedded Intelligent Systems (ARTEMIS), Mitglieder dieser sind wiederum die europäische Industrie, KMUs und Forschungs- und Technologie-Organisationen, darüber hinaus die EU in Form der Europäischen Kommission und EU-Mitgliedstaaten sowie assoziierte Staaten in Horizon 2020.

Ziele von ECSEL sind:

- › Aufrechterhaltung der Fähigkeit zur Herstellung von Halbleitern und intelligenten Systemen in Europa und zum Wachstum
- › Sichern einer führenden Position in Design und Systems Engineering
- › Bereitstellung von Zugang für alle Beteiligten zu einer erstklassigen Infrastruktur für die Entwicklung und Herstellung von elektronischen Komponenten und Embedded & Intelligent Systems
- › Förderung der Entwicklung von Ökosystemen mit innovativen KMU, Stärkung (und Schaffung) von Clustern in vielversprechenden neuen Bereichen

## 4.3 ZUKUNFTSORIENTIERTE GESTALTUNG VON HORIZON EUROPE

Um die Chancen des EU-Forschungsrahmenprogramms für Österreich und Europa zu nutzen, ist eine entsprechende Prioritätensetzung und Zukunftsorientierung bei der Ausgestaltung unerlässlich. Dazu braucht es eine deutliche Erhöhung bis hin zur Verdopplung des Budgets mit frischen Mitteln für Horizon Europe. Um auch weiterhin die Unter-

nehmensbeteiligung hoch zu halten, sind attraktive Förderhöhen in Form von Zuschüssen relevant. Hinsichtlich der Ausgestaltung ist insbesondere auf eine klare Ausrichtung an den europäischen Stärkefeldern und strategisch wertvollen Themenfeldern zu achten. Speziell kooperative Formate oder Instrumente wie Contractual Public Private Partnerships und Joint Technology Initiatives, zu denen auch das im Bereich der Digitalisierung wichtige ECSEL gehört, zeichnen sich durch eine hohe Umsetzungskapazität aus, da sie die gesamte Innovationskette involvieren. Diese müssen auch weiterhin fortgeführt und gestärkt werden. Zudem braucht es auch eine Stärkung erfolgreicher Themenfelder, und es muss zusätzlich Mittel für bestehende und neue Schlüsseltechnologien, wie Künstliche Intelligenz, Digital Security and Connectivity, geben.

## 4.4 VORSCHLÄGE ZU EINER VERBESSERTEN NUTZUNG VON FÖRDERPROGRAMMEN

Im Zuge der Sitzungen der ExpertInnengruppe Forschung, Entwicklung & Innovation zeigte sich, dass österreichische Unternehmen und Forschungseinrichtungen über nationale Grenzen hinaus eng verbunden sind. Die bestehenden Förderinstrumente decken den Bedarf einer intensiven Kooperation jedoch nur teilweise ab. Insbesondere im Kontext dessen, dass internationale Kooperationen im Forschungs- und Entwicklungsbereich, gegenüber national begrenzten, einen höheren Beitrag für Wirtschaft und Gesellschaft aufweisen, ergibt sich Handlungsbedarf<sup>62</sup>.

Daher empfiehlt der Expertenkreis die Etablierung einer internationalen Ausschreibung mit korrespondierender Bedarfserhebung, im Rahmen des Programms Produktion der Zukunft. Hierfür sollte idealerweise vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation & Technologie ein zusätzliches Budget in Höhe von 1 bis 5 Mio. € allokiert werden. Durch diese Maßnahme sollen bi- und multilaterale F&E-Kooper-

<sup>62</sup> Ferguson, M. (2016)

rationen mit wichtigen Partnerländern forciert werden, wie z.B. Deutschland, aber auch außerhalb Europas, z.B. mit Südkorea.

Im Zuge der Erhebung prioritärer Forschungsfelder wurde festgestellt, dass die IKT- und Produktionswelten kontinuierlich verschmelzen und Industrie-4.0-Konzepte einer Kombination beider Welten unterliegen. Auch Mobilitäts- und Energieaspekte fließen immer mehr in diese Gleichung ein. Daher werden Industrie-4.0-Projekte oftmals in der Verbindung bzw. Kombination dieser Elemente zu finden sein. Neuartige Informations- und Kommunikationstechnologien fungieren dabei als wesentlicher Treiber im produzierenden Innovationsprozess. Der Expertenkreis empfiehlt daher, für Industrie 4.0 entscheidende themenübergreifende Vorhaben zu begünstigen. Hier gilt es, mit Instrumenten auf solche Verbindungen zu reagieren.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor wird dabei in projektbegleitenden Schulungs- und Kompetenzentwicklungsmaßnahmen gesehen. Diese erhöhen die Akzeptanz der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse und deren erfolgreicher Implementierung in neue Produkte, Prozesse und Dienstleistungen. In öffentlich geförderten Projekten wäre daher eine entsprechende Anerkennung von Kosten für Qualifizierungsmaßnahmen eine sinnvolle Ergänzung.

Ein weiterer, wichtiger Aspekt der Unterstützung von Unternehmen im Digitalisierungsprozess sind Pilotfabriken, die intelligente Produktionsformen der Zukunft erforschen und Forschungsfelder für die Industrie entwickeln. Wünschenswert ist es daher, bestehende Infrastrukturen zu stärken und komplementäres Arbeiten der bestehenden Fabriken zu forcieren. Ein essentieller Punkt dabei ist eine bedarfsorientierte Sicherstellung der Finanzierung der Pilotfabriken.

Eine vorausschauende Planung wurde als zielgerichtetes Mittel zur Umsetzung einer erfolgreichen Forschungsstrategie identifiziert. Der kürzlich eingeführte 2-Jahresplan der Themenschwerpunkte der Ausschreibungen von Produktion der Zukunft wurde dabei sehr begrüßt. Im Sinne der Vorausplanung wird diese Vorgehensweise ebenfalls bei anderen Programmlinien gewünscht. Eine höhere Flexibilität in der Budgetallokation bei gleichzeitiger Schaffung größerer thematischer Schwerpunkte ermöglicht eine bedarfsgenauere Adressierung der Fördernehmer. Das zu den thematischen Programmen komplementäre und für marktnähere Projekte

relevante Basisprogramm führt zu einer hohen Zufriedenheit unter den Befragten.

Ein weiterer Mehrwert, der generiert werden kann, besteht in der Veröffentlichung der Ergebnisse der Ausschreibungen. Insbesondere die Bekanntgabe der Erfolgsquote sowie die Auflistung genehmigter Projekte, natürlich unter Berücksichtigung von Datenschutz- bzw. Geschäftsgeheimnisaspekten, sind hier von Interesse. Seit Anfang 2018 hat die FFG der Öffentlichkeit eine Projektdatenbank zur Verfügung gestellt. Damit können F&E-Projektinhalte und potentielle Kooperationspartner in FFG-geförderten Vorhaben leicht identifiziert werden: <https://projekte.ffg.at/>

---

## 4.5 ERHÖHUNG DER DOTIERUNG DES PROGRAMMS PRODUKTION DER ZUKUNFT

Da es für Österreichs produzierende Industrie von zentraler Bedeutung ist, konkurrenzfähige Produkte zu erzeugen sowie Produktivitätssteigerungen zu erzielen, kommt der Forschung in zukunftssträchtigen Feldern eine besondere Bedeutung zu. Das thematische Förderprogramm Produktion der Zukunft (PdZ) ist dabei eine bedeutende, zielgerichtete Maßnahme zur Unterstützung der Forschungslandschaft.

Seit der Einführung des Programms im Jahre 2011 lässt sich eine kontinuierlich steigende Zahl an Erstantragsstellern registrieren, die mittlerweile bei über 1000 Neueinreichern liegt. Die Förderung der produktionsrelevanten Themen betrug dabei im Jahr 2016 119 Mio. € bzw. 23% des Gesamtfördervolumens der FFG, wovon 24,5 Mio. € auf das thematische Programm Produktion der Zukunft entfielen. In der letzten Ausschreibung von PdZ wurden 44% der eingereichten kooperativen Projekte, die sämtliche Kriterien erfüllt haben und dadurch förderungswürdig waren, aus budgetären Gründen abgelehnt.

Gemessen an der traditionell hohen Call-Überzeichnung, der steigenden Zahl an Erstantragsstellern, der Ablehnungsquote förderwürdiger Projekte sowie der generellen Steigerung der österreichischen Forschungsquote<sup>63</sup> lässt sich ein hoher Bedarf an Forschung auf dem Gebiet der Produktionstechnologien ableiten.

Deswegen ergeht die Empfehlung der Expertengruppe nach zusätzlichen Mitteln von jährlich 15 Mio. € für das thematische Programm Produktion der Zukunft sowie additional 1 bis 5 Mio. € für transnationale Projekte in Form der oben beschriebenen Ausschreibung. Durch die Erhöhung der zur Verfügung gestellten Mittel lassen sich die restlichen Projekte fördern und somit wertvolle, aussichtsreiche Innovationen realisieren sowie die Internationalisierung der Forschung und Entwicklung ausbauen.

## 4.6 ABSICHERUNG EINES MIX AUS DIREKTER F&E-FÖRDERUNG UND STEUERLICHER BEGÜNSTIGUNG

Aus den abgehaltenen Workshops heraus ergab sich die Notwendigkeit eines klaren Commitments zur Forschungsprämie als USP für den österreichischen Forschungs- und Wirtschaftsstandort Österreich und zu direkter F&E-Förderung, insbesondere durch zukunftsorientierte Budgets für F&E durch die öffentliche Hand. Dazu ist insbesondere das im Regierungsprogramm 2017–2022 angekündigte Forschungsfinanzierungsgesetz geeignet, um die jährliche kontinuierliche Erhöhung der Forschungsausgaben des Bundes sicherzustellen und eine Forschungsquote von 3,76 % zu erreichen, und damit in die Gruppe der Innovation Leader aufzusteigen. Dadurch können Nachhaltigkeit und Planbarkeit sichergestellt werden – denn gerade risikoreiche Vorhaben, zu denen Forschung und Entwicklung gehören, brau-

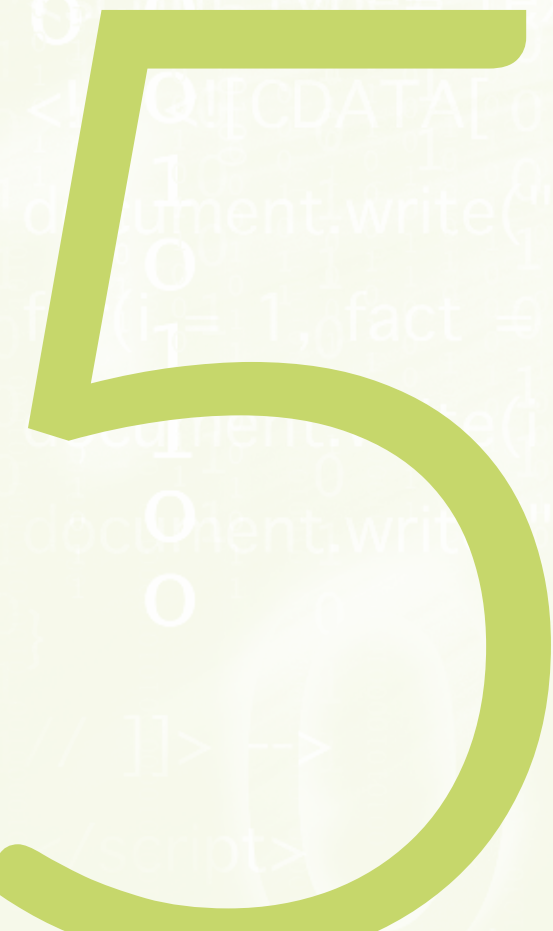
chen Kontinuität und einen langfristigen Planungshorizont. So können innovationsfreundliche Rahmenbedingungen geschaffen und zusätzliche F&E-Aktivitäten in Österreich angezogen werden.

Angewandte F&E ist von hoher Bedeutung für den Standort, da sie das notwendige Bindeglied zwischen Grundlagenforschung und Markt ist – und erst durch die Einführung und Nutzung von Innovationen können sie der Gesellschaft zur Verfügung gestellt werden. Somit können Wertschöpfung und Beschäftigung für den Standort gesichert und ausgebaut werden.

Aktuell fehlen der FFG allerdings zumindest rd. 167 Mio. €, um gut evaluierte und förderungswürdige Projekte der angewandten F&E auch tatsächlich unterstützen zu können. Erfolgreiche Programme sind unterdotiert und schaffen damit Unsicherheit für die Unternehmen, Hochschulen und wissenschaftlichen Einrichtungen, wenn sie aus Budgetmangel abgelehnt werden müssen. Dazu gehören auch die im Bereich der Industrie 4.0 wichtigen Programme Produktion der Zukunft und IKT der Zukunft, oder auch das Basisprogramm und das grundlagennahe BRIDGE-Programm. Insbesondere auch im Basisprogramm wurde zuletzt gekürzt. Daher ist es notwendig, diese Kürzung wieder auszugleichen und die Basisprogrammbudgets auf einen Wachstumspfad zu bringen, um zumindest inflationäre Effekte und das steigende Lohnniveau kompensieren zu können.

<sup>63</sup> Statistik Austria (2018)

# ÖSTERREICHISCHE USE CASES



## 5.1 SALVAGNINI: DIGITALER ZWILLING FÜR VOLLAUTOMATISIERTE PRODUKTION MIT LOSGRÖSSE 1 BEI BLECHBIEGEAUTOMATEN

Im Rahmen des Projektes „Advanced mechanical modeling of automatic panel benders with high accuracy demands“ hat die **Linz Center of Mechatronics GmbH** in Kooperation mit der **Salvagnini Maschinenbau GmbH** und dem **Institut für Technische Mechanik der Johannes Kepler Universität Linz** einen digitalen Zwilling für einen Abkantautomaten entwickelt. Mit dem digitalen Zwilling dieses Produktionssystems wurde eine vollständige virtuelle (digitale) Abbildung der Maschine und des Prozesses unter Berücksichtigung sämtlicher physikalischer Eigenschaften und Effekte geschaffen (siehe Abbildung 4).

Real production system



Digital twin

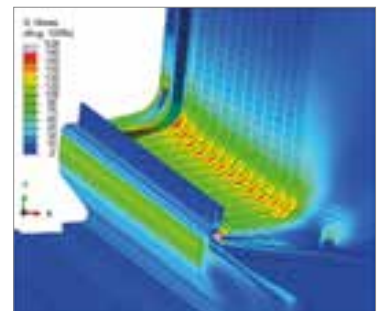


Abbildung 4: Salvagnini LEAN PANEL BENDER und digitale Abbildung

Mit Abkantautomaten der **Fa. Salvagnini** Maschinenbau GmbH können komplizierte Blechprodukte vollautomatisch hergestellt werden (siehe Abbildung 5). Die stetig steigenden Anforderungen an die Qualität der Produkte und die Effizienz des Produktionsprozesses erfordern neue Konzepte im Sinne von Industrie 4.0 und digitaler Fabrik.



Abbildung 5: Salvagnini LEAN PANEL BENDER: Von der Platine automatisch, ohne Unterbrechung, zum fertigen Produkt

Aufgabenstellung des gegenständlichen Projektes war die Realisierung einer vollautomatischen Produktion mit Losgröße 1. Mit dem bisherigen Maschinenkonzept war eine derartige Produktion nur mit Einschränkungen möglich, da aufgrund der Variationen der Materialeigenschaften des Blechs nicht gewährleistet werden konnte, dass bereits der erste Teil die Fertigungstoleranzen erfüllt.

Die Lösung bestand in der Entwicklung eines adaptiven Prozesses. Zu Beginn des Biegevorgangs werden die relevanten Parameter gemessen, daraus das Materialverhalten identifiziert, und anschließend werden die Werkzeug-Trajektorien entsprechend angepasst, sodass man die gewünschte Profilform exakt erreicht. Dazu wurde zunächst ein Simulationsmodell der gesamten Maschine erstellt, das sämtliche physikalischen Effekte abbildet, wie z.B. die große plastische Deformation im Blech, komplexe Kontaktpaarungen, die elastische Deformation der Maschine sowie das Verhalten der Antriebe, Gelenke und Lager. Ein derartiges 3D-Modell kann das Verhalten der gesamten Maschine und den Biegeprozess realistisch abbilden, allerdings mit dem Nachteil hoher Rechenzeiten. Für die aktuelle Aufgabenstellung war eine drastische Reduktion der Rechenzeit erforderlich. Mit dem Einsatz moderner Substrukturtechniken und Modellreduktionsmethoden sowie Methoden der Ähnlichkeitsmechanik entstand ein besonders effizientes Simulationsmodell, mit dem ein adaptiver Biegeprozess mit nur unwesentlicher Verlängerung der Zykluszeiten realisiert wurde.

Die Gesamtheit aller zugrunde liegenden Simulationsmodelle und deren softwaretechnische Implementierung bilden den digitalen Zwilling, welcher den Produktionsprozess zentral definiert. Der Nutzen ist vielschichtig: Einerseits wurde Produktion mit Losgröße 1 realisiert, Ausschuss wird vermieden, und der Einstellaufwand wird auf ein Minimum reduziert. Andererseits kann damit auch bei der Herstellung großer Serien die Produktqualität bei Variation der Materialqualität eingehalten werden. Mit dem digitalen Zwilling steht ein realistisches digitales Modell zur Verfügung, das einen tiefen Einblick in das Verhalten der Maschine und den Biegeprozess ermöglicht. Dies bietet besondere Vorteile auch bei der Entwicklung neuer Maschinengenerationen: Der Entwicklungsprozess kann vollständig virtuell durchgeführt werden, anhand von virtuellen Prototypen können neue Maschinentypen optimiert werden. Somit können reale Prototypen eingespart und der Entwicklungsprozess deutlich verkürzt werden. Der digitale Zwilling ermöglicht somit eine variantenorientierte Produktgestaltung für höchst präzise Fertigungssysteme.

Eine unabhängige Jury unter dem Vorsitz von Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang Wahlster, Vorsitzender der Geschäftsführung des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI), hat die **Linz Center of Mechatronics GmbH** für diese Lösung für einen digitalen Zwilling zum HERMES AWARD 2017 nominiert. Neben vier weiteren Nominierungen wurde diese Innovation im Rahmen der Er-

öffnungsfeier der HANNOVER MESSE am 23. April 2017 im Beisein von Bundeskanzlerin Angela Merkel öffentlichkeitswirksam einem großen Publikum präsentiert<sup>64</sup>.

## 5.2 RHI MAGNESITA: PROZESSOPTIMIERUNG DURCH VISUELLE ANALYSE VON MASSENDATEN

Feuerfest-Produkte von **RHI Magnesita** müssen höchsten Qualitätsanforderungen genügen. Daher sind regelmäßige Qualitätskontrollen seit jeher wichtiger Teil des Produktionsprozesses. Standardmäßig basieren diese auf Stichprobenverfahren. Im Zuge der Digitalisierung wurde für die Qualitätskontrolle eine Anlage entwickelt und in einem Produktionswerk installiert, die vollautomatisch für jeden produzierten Stein eine Vielzahl an Qualitätsparametern ermittelt. Diese Informationen werden mit Attributen des Produktes – beispielsweise Sorte und Format des Steins – ebenso verknüpft wie mit Prozessparametern, etwa mit der verwendeten Brenntemperatur und der Sitzplatzposition am Wagen durch die Brennöfen. Die resultierenden Daten bieten nicht nur ein vollständigeres Bild über den aktuellen Zustand und Verlauf der Produktqualität, sondern machen vor allem den Zusammenhang zwischen Prozessparametern und Produktqualität sichtbar. Allerdings führt die vollautomatisierte Datenakquise zu einem exponentiellen Anstieg von Umfang und Komplexität der Daten. Klassische Analyserwerkzeuge, wie etwa Statistikprogramme, erwiesen sich deshalb schon bald als unzureichend, um den Anwendern das volle Potential der Daten zu erschließen.

Diese Herausforderung war ein Ausgangspunkt der Partnerschaft zwischen **RHI Magnesita** und **VRVis**, Österreichs führendem Zentrum für angewandte Forschung im Bereich interaktiver Datenvisualisierung ([www.vrvis.at](http://www.vrvis.at)). Ziel war es, auf Basis aktueller Methoden auf dem Gebiet der Daten-

analyse intuitive Oberflächen zu schaffen, die verschiedenen Nutzergruppen einen leicht verständlichen Zugang zu den in den Produktionsdaten verborgenen Erkenntnissen ermöglichen. Auf Basis der Softwaretechnologie „Visplora“ konnten für **RHI Magnesita** maßgeschneiderte Analyselösungen rasch umgesetzt werden. Flexibel kombinierbare Visualisierungen erlauben dem Qualitätsmanagement seitdem einen völlig neuen Dialog mit ihren Daten – tiefergehend als herkömmliche Business-Intelligence-Lösungen und zugänglicher als allgemeine Statistiksoftware. Vordefinierte Dashboards bieten einen sofortigen Nutzen, während dynamisch konfigurierbare Ansichten, Abfragen und Berechnungen höchste Flexibilität ermöglichen. Weltweit einzigartige, international ausgezeichnete Visualisierungstechniken liefern etwa Übersichten über dutzende Produkt- und Prozessparameter im Zeitverlauf, wodurch Auffälligkeiten nicht nur rasch erkannt, sondern auch effektiv kommuniziert werden können. Als wesentlicher Mehrwert erwies sich zusätzlich, in Sekundenbruchteilen auf nicht aggregierte Darstellungen der Daten zugreifen zu können. Auf diese Weise können Anomalien wie etwa Sensorfehler rasch identifiziert, erklärt und gegebenenfalls von weiteren Berechnungen ausgeschlossen werden. Das führt zu einer wesentlichen Zeiterparnis bei der Analyse und dem Erstellen von Berichten.

Durch diese umfassende Analysemöglichkeit bieten sich dem Qualitätsmanagement neue Chancen, negative Faktoren im Produktionsprozess rascher zu erkennen und den Prozess entsprechend zu optimieren. Ziel ist es, den Ausschuss bei gleichzeitig weiterer Steigerung der Produktqualität wesentlich zu reduzieren. Die Partnerschaft zwischen **RHI Magnesita** und **VRVis** zielt zukünftig darauf ab, für weitere Fachbereiche und Datenquellen ebenso effektive visuelle Analysemöglichkeiten zu schaffen.

<sup>64</sup> Hannover Messe (2017)

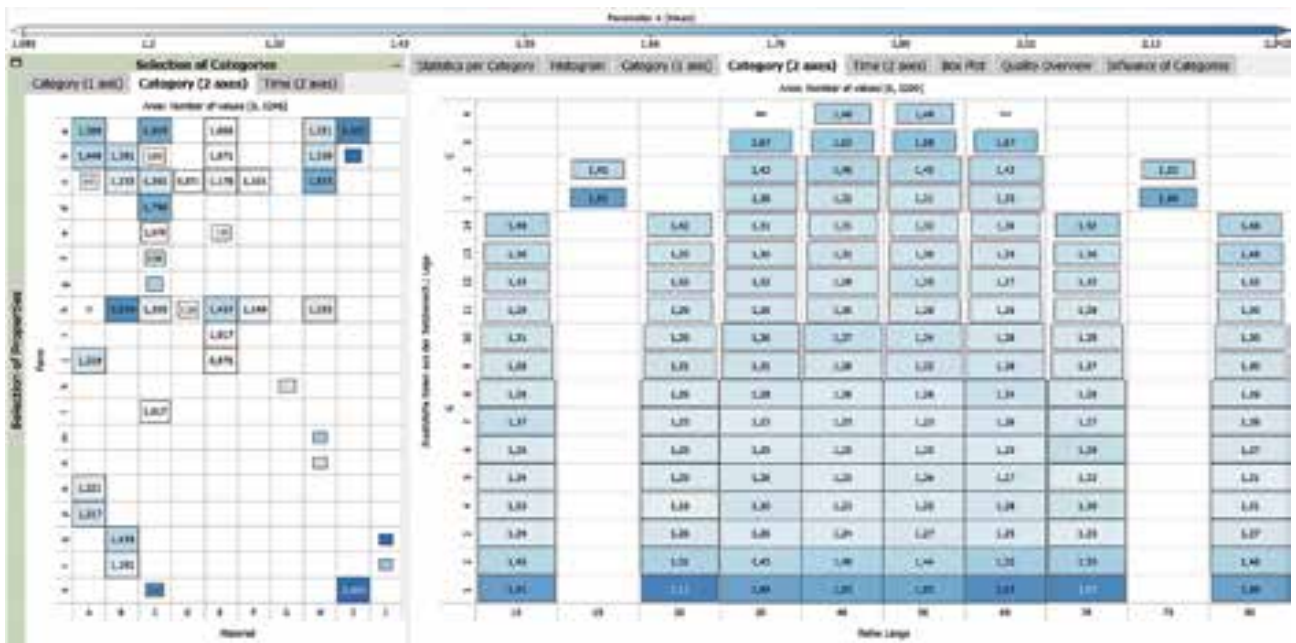


Abbildung 6: Überblicksgrafiken zeigen den Einfluss von Sorte und Format (links) bzw. Setzplatzposition (rechts) auf einen ausgewählten Qualitätsindikator.

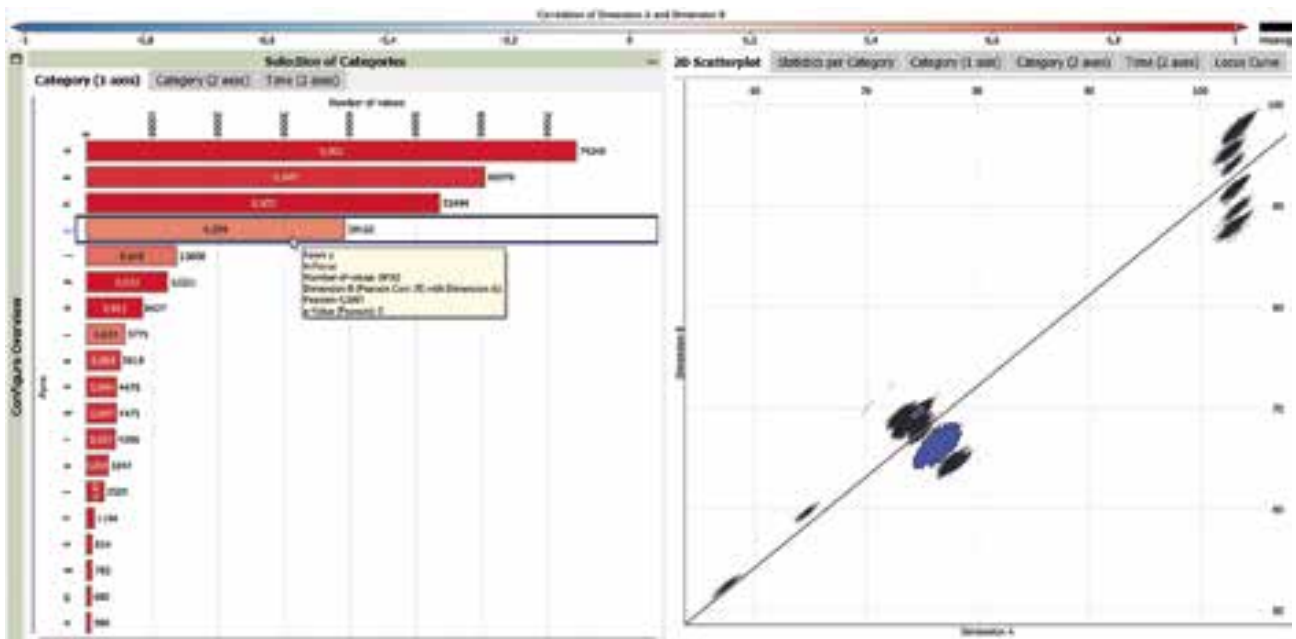


Abbildung 7: Die Analyse der Korrelation zweier Qualitätsindikatoren pro Format zeigt Formate mit abweichendem Verhalten (links) und erlaubt eine Plausibilisierung durch sofortigen Zugriff auf die einzelnen Messwerte (rechts).



## 5.3 HAAS FERTIGBAU: MONITORING VON PRODUKTEN IM UMFELD INDUSTRIE 4.0

**Haas Fertigbau** ist ein Familienunternehmen in der Holzbaubranche, das seit über 40 Jahren im gehobenen Segment Einfamilienhäuser, Gewerbe- und Industriebauten sowie landwirtschaftliche Bauten in Holz- und Hybridbauweise als Teil- oder Komplettanbieter plant, produziert und errichtet. Das Unternehmen ist mit Gesellschaften in Deutschland, Österreich und Tschechien regional verwurzelt. **Motivation:** Als Holzbauunternehmen war und ist ein witterungsgeschützter Baufortschritt von jeher oberste Prämisse. Daher wird der industrialisierten Vorfertigung in konditionierten Produktionshallen unter gleichbleibenden Qualitätsbedingungen große Aufmerksamkeit gewidmet. Ihr Anspruch liegt darin, dem Kunden das Leben während der gesamten Projektlaufzeit so einfach wie möglich zu machen, Entscheidungen sowohl zeitlich als auch inhaltlich aufzubereiten und damit den Nutzen zu maximieren. Bauwerke stellen eine enorme Ressource dar und verbrauchen ebensolche während der Gebrauchsdauer. Im Sinne einer ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit kommt der Integration von Wartung, Instandhaltung und Leitung von adäquatem Benutzerverhalten in die Lifecycle-Betrachtung immer größere Bedeutung zu. **Haas Fertigbau** sieht sich hier als idealer Partner, den Gebäudenutzer hierbei zu unterstützen und künftig als lebenslanger Baupartner zu begleiten. Der Boom der Digitalisierung zieht ein und ist auch im Baubereich deutlich zu vernehmen. Zahlreiche Insellösungen im Bereich Smart Home mit den unterschiedlichsten Standards prägen derzeit das Bild in der Branche. Die sich daraus ergebenden Chancen werden durch die sich damit ergebende Unsicherheit noch kaum genutzt. Das Building Information Modelling (BIM) sieht die fachübergreifende Planung an einem Gesamtmodell vor. Die Schnittstellen zu externen Fachplanern stellen aber nach wie vor eine Hürde dar. Eine umfassende Datengenerierung und -nutzung sammelt auch eine Vielzahl persönlicher Daten. Für eine globale Nutzung

der Daten muss, je nach Anwendungsfall, eine Anonymisierung und Pseudonymisierung umgesetzt werden.

**Die Ziele innerhalb der Digitalisierung** bieten gerade jetzt für den Bausektor im Allgemeinen und den Holzbau im Speziellen ein großes Potential, den Einklang von Nachhaltigkeit und persönlichem Wohlbefinden auf eine neue Stufe zu heben. **Im Forschungsprojekt DeSSnet<sup>65</sup> werden die Erhebung und Auswertung von Sensordaten im Bauwerk mit Hilfe sicherer, kabelloser und energiesparender Sensorknoten implementiert.** Diese Technologie soll dazu genutzt werden, dass **Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten** nicht nach einem festgelegten Terminplan ausgeführt werden, sondern dann, wenn sie notwendig werden – das spart nicht nur Arbeitsleistung und Verbrauchsmaterialien, sondern auch aufwändigere Reparaturen bei lange einwirkenden Fehlstellen. Ein weiterer Vorteil kann in einem **digitalen Benutzerhandbuch** liegen: Der Bauwerksnutzer liest nicht dicke Bücher, in denen er schlussendlich schwer den richtigen Umgang oder, später, Schäden und deren Behebung findet, sondern wird durch aktive Zustandsbilder und Nutzervorschläge mit hinterlegtem Backgroundwissen wieder selbst kompetent, um eigene Entscheidungen zu treffen. Selbstlernende offene Systeme sind in aller Munde und würden BIM eine neue Möglichkeit des Datenaustausches bieten. Damit kann der wesentliche Vorteil des BIM mit zusätzlichen Daten, von Produktspezifikationen bis hin zu QM-Zertifikaten, erweitert werden. Das erleichtert einerseits das Facilitymanagement im einzelnen Gebäude, könnte aber andererseits durch die globale Erfassung der Lebensdauer einzelner Produkte aus Wartungen auch eine frühzeitige Instandsetzungsplanung erlauben. Auch können damit systematische Fehler deutlich schneller erkannt werden und die Lernkurve entsprechend gesteigert werden. Damit werden sich Reklamationskosten bei Zulieferern sowie Kunden reduzieren, Qualitätskennzahlen von Planung, Einkauf, Produktion und Betrieb verbessern und klar definierte Wartungs- und Instandsetzungsservices ergeben.

Die Umsetzung erfolgt mit den Partnern **Haas Fertigbau** (Anwender), **Infineon** (Sensorik) und den Forschungspartnern **JOANNEUM RESEARCH und TU Graz** im Rahmen des Forschungsprojektes DeSSnet (<http://dessnet.at/>) von 06/2017–05/2021.

<sup>65</sup> <http://dessnet.at/>

---

## 5.4 ABB: SOFTWARE ENGINEERING FÜR ROBOTEREINSATZ IN HOLZINDUSTRIE

Die österreichische Holzindustrie macht mit 10 Milliarden Euro umgerechnet 3,9% des Bruttoinlandsproduktes aus. Unter den jährlich rund 18.000 erteilten Baugenehmigungen entfallen bereits heute 30–35% auf die Fertigteilhaushausindustrie. Diese Tendenz ist steigend. Immer höhere Ansprüche hinsichtlich Qualitätsstandards und Individualität stellen viele Betriebe in der Holzverarbeitenden Industrie jedoch vor große Herausforderungen.

Ziel des vorliegenden Projektes RobWood<sup>66</sup> ist es, durch neue technische Ansätze eine verstärkte Individualisierung von Produkten bei gleichbleibender bzw. höherer Effizienz in der Produktion zu ermöglichen. Die Integration von Know-how aus den Bereichen Informatik & Robotik in Kombination mit geeigneten Mensch-Maschine-Schnittstellen, angewandt in der Produktion, trägt dazu bei, Betriebsabläufe in der Holzindustrie zu optimieren.

Durch die Erforschung von Möglichkeiten zur modellbasierten Roboterprogrammierung wird an vorderster Stelle die natürliche Bedienung und Programmierung von Industrierobotern und deren Bearbeitungszellen durch Personal ohne spezifische IT-Ausbildung möglich sein, und zwar in holzverarbeitenden Betrieben jeglicher Größe, die selbst kein tiefgehendes Wissen über die Feinheiten der traditionellen Roboterprogrammierung besitzen.

Eine konventionelle, für den Massenbetrieb ausgelegte Programmierung eines Roboters für die Fertigteilhaushausfertigung ist aufgrund der Losgröße-1-Fertigung sowie der Komplexität nicht möglich. Im Rahmen des Projekts wurde daher eine Methode umgesetzt, um vorhandene CAD-Daten zu übernehmen und noch fehlende Informationen für die Arbeitsschritte und deren Reihenfolge über einen möglichst einfachen Weg sowie automatisiert zu ergänzen. Das dafür entworfene Systemdesign, die Schnittstellen sowie die Pro-

grammiermethoden sind entsprechend flexibel und robust entworfen worden, um sie auch für ähnliche, künftige Industrie-4.0-Aufgaben einsetzen zu können. Die Ziele wurden hiermit vollständig erreicht und konnten auch erfolgreich in industrieller Umgebung getestet werden.

Die Anwendung ist entsprechend ausgereift, um real eingesetzt zu werden, natürlich gibt es noch Optimierungspotential in den Bereichen Performance, Verarbeitung komplexerer Eingangsdaten und User Interface.

Die im Projekt angestrebte Produktionsoptimierung für Roboterproduktionsanlagen hat enormes Potential hinsichtlich der Schaffung neuer Arbeitsplätze, auch im ruralen Raum, in der Ressourcenoptimierung und in der Übertragung von Erkenntnissen auf weitere Branchen.



**Abbildung 8:** Umgesetzte Roboterprogrammierung für die Verlegung der Grobspanplatten eines Wandelementes

Die Umsetzung erfolgte mit den Partnern **RIB-SAA** (Software Engineering), **ABB AG** (Robotertechnologie), **JOAN-NEUM RESEARCH** (Forschungspartner) sowie **Holzcluster Steiermark GmbH, ASC Performance e.U.** und den Anwendungspartnern **Haas Fertigung Holzbauwerk GesmbH & Co KG** und **Zarnhofer**.

---

<sup>66</sup> <http://robwood.at/>

## 5.5 METADYNEA AUSTRIA/ SANDOZ: PROZESSOPTIMIERUNG DURCH PROZESS- INTEGRIERTE MESSTECHNIK

Im Kontext von „Digital Twins“ wird oft auf Anlagen (und Maintenance) bzw. Produkte (und PLM) fokussiert. Ein verwandter und hochgradig relevanter Aspekt liegt bei den Prozessen und Produkten in Produktion: eine detaillierte Modellierung, eine Echtzeit-Datenerfassung und eine intelligente Verarbeitung dieser vielfältigen Daten bietet hier riesiges Potential.

Prozessintegrierte Analytik (Process Analytical Technologies – PAT) bzw. im allgemeineren Begriff für alle Branchen „Prozessintegrierte Messtechnik“ ist ein mächtiges Tool zur Optimierung von Produktionsprozessen. Durch die in Echtzeit generierten detaillierten Informationen über Prozesse (z.B. chemische Herstellprozesse oder auch Fertigungsprozesse in der Stückgutproduktion) stehen den Prozessverantwortlichen (bzw. im Idealfall auch automatisierten Tools, u.a. unter Zuhilfenahme von Big Data und Machine Learning ...) eine Menge Daten zur Verfügung, die sie nutzen können, um die Prozesse immer im Idealzustand zu halten und mit möglichst wenig Reserven zu regeln. Das ist der Hebel zu Einsparungen in Prozesszeit, Rohstoffeinsatz und Energieeinsatz.

Anhand von zwei industriellen Praxisbeispielen, die im Rahmen des Österreichischen Forschungsprojektes „imPACTs“ (COMET K-Project Industrial Methods for Process Analytical Chemistry – From Measurement Technologies to Information Systems) erarbeitet wurden, sollen Anforderungen, Zugänge, Lösungsansätze und Nutzen illustriert werden:

### PRAXISBEISPIEL 1

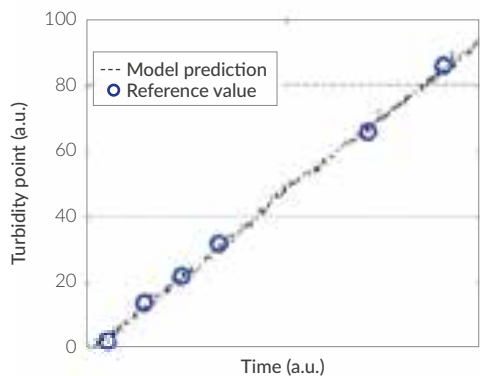
**Unternehmenspartner Metadynea Austria GmbH,  
Krems/Forschungspartner RECENDT GmbH und  
SCCH GmbH**

Der Kondensationsprozess von Melamin-Formaldehyd-Harzen für dekorative Oberflächen und Phenol-Formaldehyd-Harzen für Mineralwolle (Bild 1) erfolgt üblicherweise

bei hoher Temperatur. In der Abkühlphase läuft die Kondensation bis zu einer gewissen Grenztemperatur weiter. Dies muss bei der Abstellpunktbestimmung berücksichtigt werden, um die gewünschte Qualität des fertigen Harzes zu erreichen. Zusätzlich muss die Kondensation regelmäßig kontrolliert werden, was zuvor mittels manueller Messungen durch einen Operator erfolgte. Diese zeitaufwändige, aber notwendige Tätigkeit kann automatisch mit spektroskopischen Messungen und mathematischen Auswertungen durchgeführt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes imPACTs zum Themenbereich Prozessanalytik wurde eine vollautomatisierte Methode entwickelt, die eine Reaktionsüberwachung und Bestimmung des gewünschten Reaktionsendpunktes ermöglicht. Vor Beginn der Forschungsarbeiten musste beim Unternehmenspartner **Metadynea Austria GmbH** bei diesen Herstellungsprozessen eine Vielzahl an Proben pro Charge genommen und manuell analysiert werden. Der Analyseaufwand konnte nun durch Inline-Monitoring mittels Nahinfrarot-Spektroskopie gänzlich ersetzt werden. Der Abstellpunkt wird automatisch durch die chemometrische Analyse der Infrarotspektren gefunden. Damit werden die Mitarbeiter für andere Tätigkeiten freigespielt.

In der Produktionsanlage wurde ein NIR-Spektrometer mittels Faseroptik mit drei Reaktoren verbunden, in welche Messsonden eingebaut wurden. Die Spektren werden während der Kondensation der Melamin-Formaldehyd-Harze (MF) und Phenol-Formaldehyd-Harze (PF) kontinuierlich alle paar Sekunden aufgezeichnet, ohne dafür eine Probe aus dem Reaktor entnehmen zu müssen. Parallel zu den spektralen Daten werden zusätzlich über andere Sensoren relevante Parameter wie Prozesstemperatur und -druck erfasst. Die chemometrischen Modelle, die mit zuvor aufgenommenen Daten kalibriert wurden, analysieren die Spektren und liefern als Ergebnis die gewünschten Prozessparameter (z.B. Trübungspunkt, Bild 2) an das Prozessleitsystem. Auf diese Weise kann der Kondensationsgrad in Echtzeit verfolgt und für die Steuerung der Reaktion, inklusive der Bestimmung des Abstellpunktes für die Reaktion, verwendet werden.



**Abbildung 9:** Verlauf der vom chemometrischen Modell kontinuierlich errechneten Trübungspunktwerte (schwarze Linie) bis zum Abstellpunkt und manuell erstellte Referenzmessungen (blaue Ringe). © RECENTD GmbH

Von den chemometrischen Modellen werden genaue, vertrauenswürdige und stabile Ergebnisse gefordert. Im K-Projekt imPACts wurde dies für mehrere Produktvarianten erreicht – trotz Schwankungen in der Qualität der Rohstoffe sowie veränderlicher Messbedingungen an der Sensoroberfläche. Mehrere Testläufe haben die Funktionalität und Robustheit des entwickelten Messsystems bestätigt.

Durch die Implementierung der vollautomatisierten Prozesskontrolle können die hochqualifizierten Fachkräfte für andere Tätigkeiten eingesetzt werden. Früher war ein Mitarbeiter während der Produktion laufend damit beschäftigt, Proben zu nehmen und zu analysieren. Zwischen zwei Proben blieb zu wenig Zeit, um diese produktiv zu nutzen. Zusätzlich wird die Steuerung des Produktionsprozesses durch die Automatisierung nun noch effizienter durchgeführt, was zu einer noch höheren Produktqualität und somit höchster Kundenzufriedenheit führt.

## PRAXISBEISPIEL 2

**Unternehmenspartner Sandoz GmbH, Kundl/  
Forschungspartner Technische Universität Wien,  
Institut für Verfahrenstechnik**

Bei der Herstellung komplexer Produkte des täglichen Lebens laufen oft umfangreiche und langwierige chemische oder biochemische Reaktionen ab. Um diese zu überwachen und optimal zu steuern, muss immer genau bekannt sein, in welcher Phase sich der Prozess gerade befindet. Daneben benötigen die ChemikerInnen und TechnikerInnen laufend

eine Menge von Messwerten, um Prozesseinstellungen anzupassen oder z.B. Rohstoffe oder Nährlösungen korrekt zu dosieren.

In der Branche der Arzneimittelherstellung kommen zu diesen alltäglichen Notwendigkeiten noch extrem hohe Sicherheits- und Qualitätsanforderungen dazu. Bei Pharmaprodukten gibt es absolut keine Kompromisse bezüglich Qualität und Sicherheit!

Daher werden weltweit an allen chemischen und biochemischen Produktionsstandorten viel Geld und Intelligenz in hochentwickelte Messtechnik investiert. Und trotzdem sind noch lange nicht alle Prozessparameter wie gewünscht messbar und dadurch kontrollierbar.

Im Rahmen des COMET K-Projektes imPACts konnten ForscherInnen der **TU Wien** gemeinsam mit dem Pharmaunternehmen **Sandoz GmbH** aus Tirol ein neues Werkzeug für die Branche entwickeln: den All-in-One-Monitor für biochemische Prozesse!

Warum nennen wir das System „All-in-One“-Monitor?

Die WissenschaftlerInnen kombinieren in diesem Tool die Sichtweisen von Biochemie, Verfahrenstechnik und Mathematik sowie die zur Verfügung stehenden Messtechniken.

Der Prozess wird einerseits mathematisch simuliert und andererseits messtechnisch überwacht, woraus sich auch der Begriff Soft-Sensor (eine Mischung aus Software und Sensor) ergibt. Durch die Kombination dieser Informationen kann der wahrscheinlichste Prozesszustand in jedem Moment abgeschätzt werden.

Dadurch bekommen die Technologen bisher nicht gekannte Einblicke in und Möglichkeiten der Einflussnahme auf ihre Produktionsprozesse. Erstmals sind in Echtzeit alle gewünschten Prozessparameter bekannt, auch jene, die sich bisher nicht messen ließen. Dies ist möglich, da sie aus der mathematischen Prozessbeschreibung abgeleitet werden.

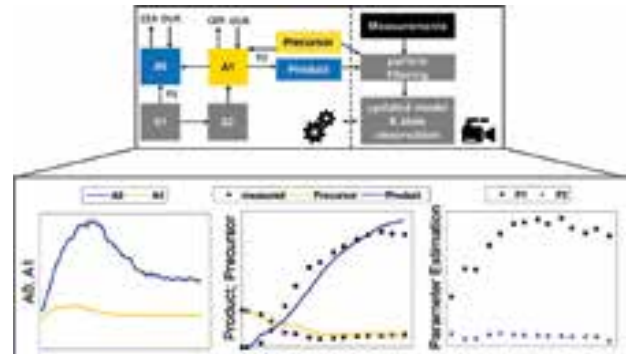


**Abbildung 10:** Derartige Mikroorganismen (hier in etwa 200-facher Vergrößerung) erzeugen in ihrem Stoffwechsel Antibiotika. Allerdings nur, wenn sie auch optimal versorgt werden. (© TU Wien)

Der große Nutzen dieses Ansatzes zur messtechnischen Beobachtung von Bioprozessen ist dessen Effizienz und Anpassungsfähigkeit.

Mathematische Beschreibungen können an verschiedenste Prozesse angepasst und mit Messungen jeglicher Art verknüpft werden.

Durch die gemeinsame Nutzung verschiedenster Informationsquellen sinken die Anforderungen an jede einzelne Quelle. Dadurch können in Summe genauere und stabilere Ergebnisse erreicht werden. Prozessparameter, die messtechnisch nicht oder nur sehr aufwändig zugänglich sind, können nun auf Basis bekannter Größen (die kostengünstig gemessen werden) abgeschätzt werden. Auch reichen Messwertaufnahmen in größeren Messabständen aus, um trotzdem eine kontinuierliche Information über den Prozesszustand generieren zu können. All das hilft, den Aufwand für die messtechnische Prozessüberwachung zu reduzieren, ohne Kompromisse bei der Datenqualität und Prozesskontrolle eingehen zu müssen.



**Abbildung 11:** Der All-in-One-Monitor verknüpft mathematische Vorhersagen und vorhandene Messtechnik, um jederzeit den aktuellen Prozesszustand zu bestimmen. (© TU Wien)

Die Forscherinnen und Forscher von **TU Wien** und **Sandoz** haben in diesem gemeinsamen Projekt ein intelligentes und effizientes System geschaffen, das dem Unternehmen zukünftig hilft, seine Prozesse noch besser zu steuern und dadurch immer effizienter und sicherer zu produzieren.

### Kontakt und Informationen

K-Projekt imPACTs

[www.k-pac.at](http://www.k-pac.at)

Projektkoordination:

**RECENDT – Research Center for Non-Destructive Testing**

Dipl.-Ing. Robert Holzer

Altenberger Straße 69, 4040 Linz

0732 / 2468 – 4602

[robert.holzer@recendt.at](mailto:robert.holzer@recendt.at)

„imPACTs“ ist ein K-Projekt (# 843546) im Rahmen der Forschungsinitiative PAC im Kompetenzzentren-Programm COMET der FFG und wird aus Mitteln der Bundesministerien BMVIT und BMWFW und aus Mitteln vom Land Oberösterreich und vom Land Niederösterreich gefördert.

## 5.6 JELD-WEN: UMFASSENDE QUALITÄTSSICHERUNG IN DER LOSGRÖSSE 1 TÜRPRODUKTION

**JELD-WEN** ist ein global tätiger Konzern mit dem Produktspektrum Türen und Fenster. Bei Türen (Handelsname DANA Türen in Österreich) ist **JELD-WEN** Weltmarktführer. Mit Qualität, Design und Innovationskraft gelang es DANA, sich innerhalb des Konzerns als Sonderschmiede und Premiemarken zu etablieren. Um sich im Wettbewerb auf diesen Märkten einen Vorsprung zu erarbeiten, werden laufend innovative Lösungen entwickelt. Der Standort Spital am Pyhrn nimmt innerhalb des Konzerns die Rolle des Technologieführers im Hinblick auf Automatisierungsgrad und Qualitätssicherung ein. Durch die sehr hohen Qualitätserwartungen, speziell bei österreichischen, deutschen und Schweizer Kunden (98 % der Produktion gehen in diesen Absatzmarkt), sind hier weit über das übliche Maß hinausgehende Qualitätssicherungsmaßnahmen erforderlich.



Abbildung 12: 3D-Kantenvermessung (Lichtschnittverfahren)

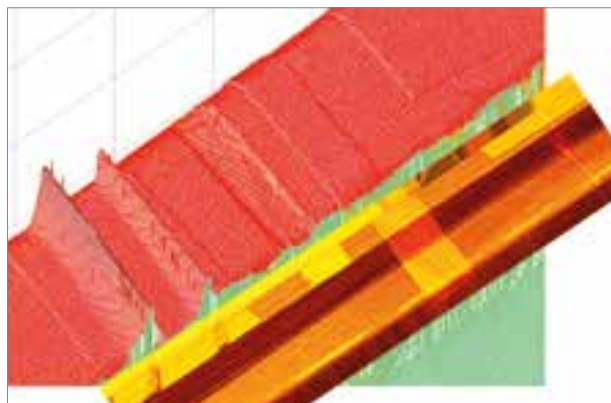


Abbildung 13: 3D-Ansicht von künstlich aufgetragenen Fehlern

Während bei den Losgröße-1-Produktionsbetrieben die automatische Anpassung und Steuerung der produzierenden Maschinen schon weit fortgeschritten ist, wird die Qualitätssicherung durch die extrem hohe Komplexität der Aufgabenstellung (unterschiedliche Abmessungen und Formen, unterschiedliche Materialien, Holzarten, Lacke, Oberflächenqualitäten von matt bis hochgradig spiegelnd ...) immer noch weitestgehend manuell durchgeführt. Diese meist visuelle, manuelle Kontrolle ist oft damit verbunden, dass für eine umfassende Analyse von Fehlerursachen wesentliche Parameter nicht lückenlos erfasst und ausgewertet werden. Gelingt es, durch geeignete Sensorsysteme und die dahinterliegende Software, diesen Task einer umfassenden Kontrolle des Produktionsablaufs mit einzubeziehen, eröffnen sich neue Möglichkeiten der Analyse von Fehlergenerierungsmechanismen. Damit lassen sich auch zielgerichtet früh Gegenmaßnahmen initiieren, die einerseits schon bei sich anbahnenden Fehlern so gegensteuern können, dass es gar nicht zu fehlerhaften (Zwischen-)Produkten kommt, oder zumindest jeden weiteren Aufwand für folgende Bearbeitungsschritte vermeiden. Dies ist nicht nur wesentlich für einen energie- und ressourcenschonenden Umgang mit eingesetzten Produktionsmitteln, sondern gewährleistet auch die Realisierung kürzester Lieferzeiten, wenn durch frühzeitig einsetzende Reparaturmaßnahmen das ursprünglich geplante Rohmaterial noch verwendet werden kann und nicht auf eine Ersatzlieferung gewartet werden muss. Kürzestmögliche Lieferzeiten trotz enorm vieler Varianten sind ein wesentlicher Vorteil am Markt – die zuverlässige Einhaltung von Lieferterminen ein wesentliches Kriterium, das Qualität und damit auch erzielbare hohe Verkaufspreise definiert.

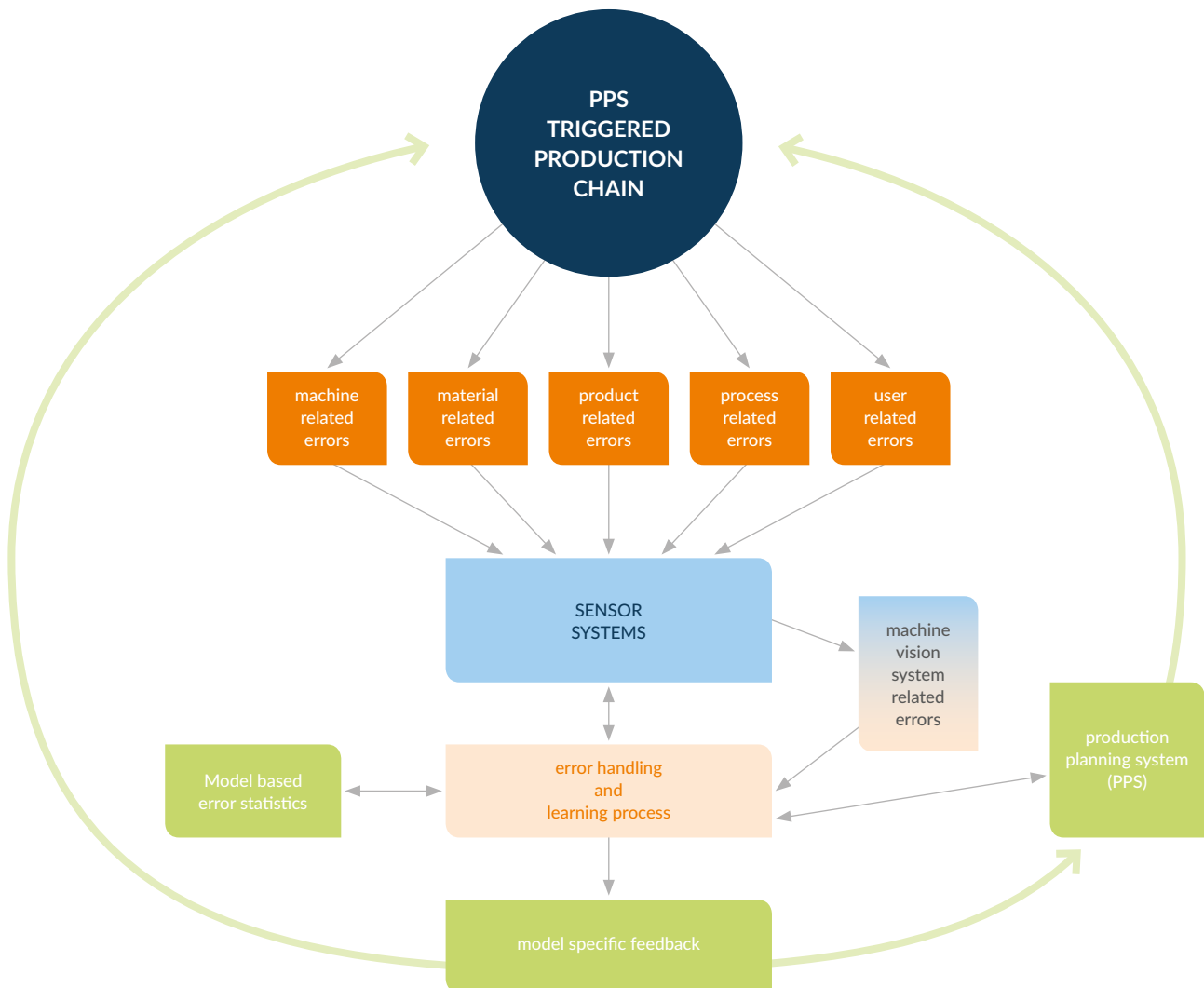


Abbildung 14: Schematische Darstellung eines Produktionsprozesses mit Fehlergenerierung und gezielter Rückkopplung

Die weitere Vernetzung von Produktionsmaschinen mit intelligenten, teilweise teilautonomen Sensorsystemen und den dahinterliegenden softwaretechnischen Abbildungen von Produktionsprozessen sowie Fehlergenerierungspfaden im Rahmen von Industrie-4.0-Technologien wird die im Projekt IKT4QS1 begonnenen Maßnahmen stark vorantreiben und die Implementierung in einem viel weiter gefassten Umfeld erlauben. Während im Moment noch sehr viel Expertenwissen und Arbeit für die Implementierung bis hin zum operativen Betrieb notwendig ist, können mit zunehmender Standardisierung und der Verfügbarkeit von Funktionsmo-

dulen die Eintrittsschwellen deutlich reduziert werden. Speziell im Bereich komplexer Sensorsysteme unter wesentlicher Einbeziehung von bildgebender Sensorik und der damit verbundenen Software sind jedoch hier noch einige Schritte in diese Richtung umzusetzen.

Das Projekt IKT4QS1 wurde mit der Firma **JELD-WEN** in Spital am Pyhrn als Industriebetrieb und Pilotanwender sowie den Wissenschaftspartnern **Technische Universität Graz** und **JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH** als Projektleiter umgesetzt.

---

## 5.7 LITHOZ: ADDITIVE FERTIGUNG VON HOCHLEISTUNGSKERAMIK

**Lithoz** ist spezialisiert auf die Entwicklung und Herstellung von Materialien und generativen Fertigungssystemen für den 3D-Druck von Hochleistungskeramiken. Durch interdisziplinäre Zusammenarbeit von Spezialisten aus den Bereichen Maschinenbau, Verfahrenstechnik Chemie und Software Engineering ist es **Lithoz** gelungen, ein additives Fertigungssystem zu entwickeln, mit dem Keramiken für industrielle und medizinische Anwendungen generativ hergestellt werden können.

Der Begriff additive Fertigung bezeichnet Prozesse, bei denen dreidimensionale Objekte durch das Aneinanderfügen von Schichten erstellt werden. Additive Fertigung, häufig auch als generative Fertigung oder als 3D-Druck bezeichnet, hat sich in den letzten Jahren als effektive Methode zur werkzeuglosen Herstellung beliebig komplexer Objekte direkt aus CAD-Daten entwickelt.

Generative Fertigungstechniken haben sich bereits in der kunststoff- und metallverarbeitenden Industrie als leistungsfähige Ergänzung zu den konventionellen Herstellungsmethoden etabliert. Bei den keramischen Werkstoffen hat diese Technologie jedoch kaum Fuß gefasst, da vor der Innovation von **Lithoz** kein Hersteller den hohen Ansprüchen der Industrie und Forschung gerecht werden konnte.

**Lithoz** hat es als erstes Unternehmen weltweit geschafft, diese technischen Hürden zu überwinden und ein System zu entwickeln, das sich für die Herstellung von hochpräzisen und komplexen Applikationen eignet und das besonders hinsichtlich der Dichte, der Festigkeit und der Präzision die hohen Anforderungen der Keramikindustrie und -forschung erfüllt.

**Lithoz** ist heute Weltmarktführer und Innovationsleader im Bereich der additiven Fertigung von Hochleistungskeramik und bietet seinen Kunden ein Komplettsystem für die additive Fertigung von Hochleistungskeramik. Mittels Lithography-based Ceramic Manufacturing (LCM) Technologie von **Lithoz** können die Vorteile eines generativen Fertigungsverfahrens mit den hervorragenden Materialeigenschaften von Keramiken erstmals voll ausgeschöpft werden.

Durch die Technologie eröffnen sich für die Industrie ungeahnte Möglichkeiten im Bereich der limitationsfreien Fertigung von Hochleistungskeramik. Erstmals können so voll funktionstüchtige und hochkomplexe Bauteile aus Hochleistungskeramik hergestellt werden. Durch die werkzeuglose Parallelfertigung können erstmals auch kostengünstige Prototypen und Kleinserien realisiert werden, die auch in der Serienproduktion eingesetzt werden können. Dies verschafft Unternehmen bei kürzer werdenden Produktlebenszyklen und dem ansteigenden Individualisierungstrend entscheidende Wettbewerbsvorteile, da die Einführungszeit von neuen Produkten verkürzt wird und voll einsatzfähige Bauteile mit der Losgröße 1 kostengünstig und schnell realisiert werden können.

Keramik wird häufig auch als der Werkstoff der Zukunft bezeichnet, da er in vielen Aspekten leistungsstärker und robuster als andere Werkstoffe ist und sich daher deutlich von anderen Materialien abgrenzt. Mit ihren herausragenden Eigenschaften beweisen Keramiken in vielen Industriezweigen täglich ihre Einsatzmöglichkeiten und besonderen Vorzüge. Die Anwendungen reichen von Maschinenbau und Elektrotechnik bis hin zu Luft- und Raumfahrt. Aber auch in der Medizintechnik werden Hochleistungskeramiken immer häufiger eingesetzt.

Zusammenfassend kann gesagt werden dass der 3D-Druck von Keramik hohe Kosten- und Materialeinsparungen ermöglicht, die rasche Realisierung von verbessertem Design unterstützt und eine flexiblere Reaktion auf die Bedürfnisse des Marktes ermöglicht. Die werkzeuglose Fertigungsmethode ermöglicht zudem die Realisierung von verbesserten Produkten durch funktionsorientiertes Design und trägt somit zur Schaffung von Innovationen im Keramiksektor bei. Mit dem LCM-Prozess kann durch die kostengünstige Produktion von Einzelstücken vor allem auch einer Individualisierung von Produkten Rechnung getragen werden, da immer häufiger hochspezifische Einzelstücke benötigt werden (z.B. individuelle Implantate in der Medizin). Mit der LCM-Technologie von **Lithoz** werden nicht nur Arbeitsplätze in Österreich geschaffen, sondern auch die Wettbewerbsfähigkeit und die Innovationskraft von heimischen Unternehmen gestärkt.





Abbildung 15: Von der Idee zum Produkt

Die LCM-Technologie basiert auf der selektiven Maskenbelichtung eines photosensitiven Harzes, in dem keramische Partikel homogen dispergiert sind. Während der Strukturierung wird ein Grünkörper – ein Komposit aus keramischem Pulver und der organischen Polymermatrix – aufgebaut. Die Photopolymere bilden dabei das Grundgerüst des Bauteils und dienen als Binder zwischen den keramischen Partikeln. Die Photopolymere werden anschließend beim Entbinden durch Pyrolyse entfernt und die keramischen Partikel werden im abschließenden Sinterprozess dicht gesintert. Diese beiden Prozessschritte werden typischerweise auch in der konventionellen keramischen Formgebung angewendet.



Abbildung 16: Die CeraFab-Systeme von Lithoz sind zuverlässige und benutzerfreundliche 3D-Drucker, welche die Fertigung von Hochleistungskeramik mit Materialeigenschaften wie in der konventionellen Fertigung ermöglichen.

DANK

6

**An diesem Ergebnispapier haben die Mitglieder der ExpertInnengruppe „Forschung, Entwicklung & Innovation“ der Plattform Industrie 4.0 Österreich mitgearbeitet.**

**Besonderer Dank gebührt dabei dem Redaktionsteam (in alphabetischer Reihenfolge):**

Stefan Rohringer,  
Infineon Technologies AG, Vorsitzender der ExpertInnengruppe  
Fazel Ansari,  
Technische Universität Wien  
Eric Armengaud, AVL List GmbH  
Franz Haas,  
Technische Universität Graz  
Ralf Schledjewski,  
Montanuniversität Leoben  
Herwig Zeiner,  
JOANNEUM RESEARCH  
Forschungsgesellschaft mbH  
Klaus Zeman,  
Johannes Kepler Universität Linz

**Folgende ExpertInnen wurden konsultativ eingebunden (in alphabetischer Reihenfolge):**

Peter Affenzeller, FH Kufstein  
Gerald Aigner, Fronius  
Christian Altmann,  
Business Upper Austria  
Fazel Ansari, TU Wien  
Eric Armengaud, AVL  
Klaus Bernhardt, FEEI  
Ronald Bieber, ÖCG  
Horst Bischof, TU Graz  
Rafael Boog, Verein Industrie 4.0  
Jakob Brandstätter, ÖBB  
Markus Brummayer, voestalpine  
Manuel Brunner, FH OÖ  
Wolfgang Eickhoff, Manufuture  
Corinna Engelhardt-Nowitzki,  
FH Technikum Wien  
Alois Ferscha, JKU  
Detlef Gerhard, TU Wien  
Emmanuel Glenck, FFG  
Franz Haas, TU Graz  
Michael Hauser, REGRO  
Ingo Hegny, BMVIT  
Fridolin Herkommer, AK Wien  
Gerd Hesina, VRVis  
Hans Höllwart, SFL technologies  
Robert Holzer, RECENDT  
Christian Hofmann, Tieto Austria  
Petra Huber, aws  
Herbert Jodlbauer, FH OÖ  
Julia Karall, FV Bergbau Stahl  
Johann Kastner, FH OÖ  
Thomas Kern, FH OÖ  
Roman Kern, Know Center  
Renald Kern, Magna  
Markus Kommenda, AIT  
Peter Kuen, Wirtschaftsagentur Wien  
Maximilian Lackner,  
FH Technikum Wien  
Markus Lassnig, Salzburg Research  
Michaela Lechner, FH OÖ  
Manfred Lechner, GE Power  
Helmut Leopold, AIT  
Harald Loos, Siemens

Isabella Meran-Waldstein,  
Industriellenvereinigung  
Werner Müller, Eaton  
Michael Müller, T-Systems  
Stefan Nußbaumüller, Microsoft  
Klaus Oberreiter,  
Business Upper Austria  
Miron Passweg, AK Wien  
Paul Pavetich, Siemens  
Harald Piringner, VrVis  
Harald Rankl, FMTI  
Thomas Reiterer, RHI Magnesita  
Michael Renelt,  
Wirtschaftskammer Österreich  
Kerstin Repolusk, PRO-GE  
Stefan Rohringer, Infineon  
Petra Schefzig,  
Industriellenvereinigung  
Ralf Schledjewski,  
Montanuniversität Leoben  
Jasmina Schnobrich-Cakelja,  
Verein Industrie 4.0  
Christian Schrack, BMBWF  
Nina Simon, KNOW Center  
Uwe Simon, T-Systems  
Roland Sommer, Verein Industrie 4.0  
Arko Steinwender, TU Wien  
Martin Stierle, AIT  
Georg Stonawski, VRVis  
Franz Stürmer, PRO-GE  
Paul Trompisch, Verein Industrie 4.0  
Martin Tschandl, FH Joanneum  
David Weber, T-Systems  
Franz Weghofer, Magna  
Ida Wickenhauser, FEEI  
Roland Wiesmüller, T-Systems  
Günther Wolfsberger, Magna  
Herwig Zeiner, Joanneum Research  
Klaus Zeman, JKU

## LITERATURVERZEICHNIS

- Acatech (2013). Final report of the INDUSTRIE 4.0 Working Group: Recommendations for implementing the strategic Initiative INDUSTRIE 4.0. acatech – National Academy of Science and Engineering, Sponsored by BMBF, Germany.
- Anderl, R., Eigner, M., Sendler, U., Stark, R. (2012). Smart Engineering – Interdisziplinäre Produktentstehung. acatech DISKUSSION. Springer.
- Ansari, F., & Seidenberg, U. (2016). A Portfolio for Optimal Collaboration of Human and Cyber Physical Production Systems in Problem-Solving. International Association for Development of the Information Society.
- Avgeriou, P., Kruchten, P., Nord, R. L., Ozkaya, I., & Seaman, C. (2016). Reducing friction in software development. *IEEE Software*, 33(1), 66–73.
- Bauernhansl, T., ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (2014). Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendungen, Technologien, Migration. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Buhr, D. (2015). Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0. Expertise im Auftrag der Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung. Bonn.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2016). Forschungsagenda Industrie 4.0 – Aktualisierung des Forschungsbedarfs. Berlin. Retrieved from: <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/forschungsagenda-i40.pdf>
- Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (2016). Wirtschaftsbericht Österreich. Wien.
- CPS Summit (2008). Report: Cyber-Physical Systems Summit. St. Louis, Missouri. Retrieved from [http://iccps2012.cse.wustl.edu/\\_doc/CPS\\_Summit\\_Report.pdf](http://iccps2012.cse.wustl.edu/_doc/CPS_Summit_Report.pdf)
- Dachs, B., & Schult, L. (2017). Rückverlagerungen und Industrie 4.0. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Deuse, J., Weisner, K., Hengstebeck, A., & Busch, F. (2015). Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In: *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (pp. 99–109). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Dombrowski, U., Riechel, C., & Evers, M. (2014). Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. *Industrie*, 4, 129–153.
- Ferguson, M. (2016). Science and Innovation everywhere for everyone. Science Europe Symposium.
- Geisberger, E., & Broy, M. (Hrsg.) (2012). „Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems, acatech STUDIE. Springer.
- Geisberger, E., & Broy, M. (Eds.) (2015). Living in a networked world: Integrated research agenda Cyber-Physical Systems (agendaCPS). acatech STUDY. Herbert Utz Verlag.
- Gröger, C. (2018). Building an Industry 4.0 Analytics Platform. *Datenbank-Spektrum*, 1–10.
- Hannover Messe (2017). Retrieved from: <http://www.hannovermesse.de/de/teilnahme-planung/fuer-journalisten/presseinformationen/pressemitteilungen/pressemitteilungen-deutsche-messe/hermes-award-2017-die-fuenf-nominierten-stehen-fest.xhtml>
- Haas, F. et al. (2015). Ö-WGP Positionspapier (p.19).
- Hadorn, B., Courant, M., & Hirsbrunner, B. (2016). Towards human-centered cyber-physical systems. Université de Fribourg.
- Hatcliff, J., Wassyng, A., Kelly, T., Comar, C., & Jones, P. (2014, May). Certifiably safe software-dependent systems: challenges and directions. In: *Proceedings of the on Future of Software Engineering* (pp. 182–200). ACM.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (pp. 89–98). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- IFR-Study (2017). International Federation of Robotics. Retrieved from: [https://ifr.org/img/office/IFR\\_The\\_Impact\\_of\\_Robots\\_on\\_Employment.pdf](https://ifr.org/img/office/IFR_The_Impact_of_Robots_on_Employment.pdf)
- IWI/Pöchhacker Innovation Consulting (2015). Bericht zur Initiative des BMWFW zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU und Leitbetriebe in Kooperation mit den Bundesländern. Wien.
- Kagermann, H. (2017). Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4* (pp. 237–248). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern; Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Forschungsunion.
- Kersten, W., von See, B., & Indorf, M. (2018). Digitalisierung als Wegbereiter für effizientere Wertschöpfungsnetzwerke. In: *Marktorientiertes Produkt- und Produktionsmanagement in digitalen Umwelten* (pp. 101–117). Springer Gabler, Wiesbaden.
- Keuschnigg, C., Ecker, B., Reiner, C., Sardadvar, S. (2017). Innovationsland Österreich: F&E, Unternehmensentwicklung und Standortattraktivität, Studie in Kooperation mit dem WPZ im Auftrag des Rates für Forschung und Technologieentwicklung, St. Gallen – Wien.

- Kim, M., Zimmermann, T., DeLine, R., & Begel, A. (2016, May). The emerging role of data scientists on software development teams. In: Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering (pp. 96–107). ACM.
- Kim, M., Zimmermann, T., DeLine, R., & Begel, A. (2017). Data Scientists in Software Teams: State of the Art and Challenges. IEEE Transactions on Software Engineering.
- Larose, D. T., & Larose, C. D. (2015). Data mining and predictive analytics. John Wiley & Sons.
- Lassnig, M., Stabauer, P., Selhofer, H. (2017). Geschäftsmodellinnovationen durch Industrie 4.0 – Wie sich Geschäftsmodelle im Industrial Internet verändern. Arbeitsberichte (4). Salzburg Research – InnovationLab.
- Lee, E. A. (2015). The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems – A Focus on Models. Sensors, 15, 4837 – 4869.
- Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2016). Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach. MIT Press.
- Maiwald, M. (2016). Die Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 4.0“ – Chancen für neue Automatisierungskonzepte und neue Geschäftsmodelle.
- Mayrhofer, P. et al. (2015). Ö-WGP Positionspapier (p.11).
- Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S., Reinhart, G., & Ueda, K. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. CIRP Annals, 65(2), 621–641.
- Mühlbradt, T., Kuhlmann, P., & Finsterbusch, T. (2018). Lernförderliche Arbeitsorganisation in der Industrie 4.0. In: Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung (pp. 195–205). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Reinhart, G. (Hrsg.) (Ed.) (2017). Handbuch Industrie 4.0: Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Saiger, H. (2018). Success in Industry. Präsentation. Wien.
- Seidenberg, U., & Ansari F. (2017). Qualitätsmanagement in der additiven Fertigung – Herausforderungen und Handlungsempfehlungen. In: 3D-Printing: Recht, Wirtschaft und Technik des industriellen 3D-Drucks (pp.159–214). Verlag C.H.Beck.
- Sharma, T., & Spinellis, D. (2018). A Survey on Software Smells. Journal of Systems and Software; 137, 158–173.
- Spinellis, D. (2017). Research priorities in the area of software technologies. A report prepared for the EU DG Communications Networks, Content and Technology – E2 PO 30-CE-0751856/00-91. Retrieved from <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/future-trends-and-research-priorities-area-software-technologies>
- Statistik Austria (2018). Retrieved from: [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/forschung\\_und\\_innovation/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/forschung_und_innovation/index.html)
- Vajna, S., Weber, H., Zeman, K., Hehenberger, P., Gerhard, D., Wartzack, S. (2018). CAX für Ingenieure – Eine praxisbezogene Einführung. 3., vollständig neu bearbeitete Auflage. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Verein Industrie 4.0 Österreich – die Plattform für intelligente Produktion. (2017). Ergebnisrapport „Qualifikation und Kompetenzen in der Industrie 4.0“. Wien. Retrieved from: [http://plattformindustrie40.at/wp-content/uploads/2018/05/WEB\\_Industrie4.0\\_Ergebnispapier\\_2018.pdf](http://plattformindustrie40.at/wp-content/uploads/2018/05/WEB_Industrie4.0_Ergebnispapier_2018.pdf)
- Verein Industrie 4.0 Österreich – die Plattform für intelligente Produktion. (2017). Thesenpapier Arbeitsorganisation im Zeitalter der Digitalisierung. Wien. Retrieved from: [http://plattformindustrie40.at/wp-content/uploads/2017/05/Industrie4.0\\_Arbeitsorganisation-Thesenpapier\\_1705.pdf](http://plattformindustrie40.at/wp-content/uploads/2017/05/Industrie4.0_Arbeitsorganisation-Thesenpapier_1705.pdf)
- Wang, F. Y. (2010). The emergence of intelligent enterprises: From CPS to CPSS. IEEE Intelligent Systems, 25(4), 85–88.
- Xie, F., Yang, G., & Song, X. (2007). Component-based hardware/software co-verification for building trustworthy embedded systems. Journal of Systems and Software, 80(5), 643–654.
- Zeman, K., Hehenberger, P., Scheidl, R. (2006). Perfekte Produkte durch Mechatronisierung von Prozessen. Internationales Forum Mechatronik (pp. 311–331). Linz, Österreich.
- Zeman, K., Pumhössel, Th., Reisinger, J., Winter, G., Kainz, A. (2016). Modellbildung und Simulation – eine permanente Herausforderung auf dem Weg zur cyber-physischen Produktion. BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 161(11), 532–538. Springer.
- Zhuge, H. (2011). Semantic linking through spaces for cyber-physical-socio intelligence: A methodology. Artificial Intelligence, 175(5-6), 988–1019.
- Zolnowski, A., & Böhm, T. (2013). Veränderungstreiber service-orientierter Geschäftsmodelle. In: Service-orientierte Geschäftsmodelle (pp. 31–52). Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.

## IMPRESSUM

### **Medieninhaber, Herausgeber und Hersteller:**

Verein Industrie 4.0 Österreich – die Plattform für intelligente Produktion  
Mariahilfer Straße 37–39, 1060 Wien  
www.plattformindustrie40.at / office@plattformindustrie40.at

### **Projektleitung:**

Rafael Boog, BSc; Verein Industrie 4.0 Österreich

**Design:** veni vidi confici® | Atelier für visuelle Kommunikation

**Druck:** Druckwerkstatt

**Fotoquellen:** Industriellenvereinigung (5); salvagnini (45, 46); RHI Magnesita & VRVIs (48); JOANNEUM RESEARCH (50, 54); RECENDT (52); TU Wien (53); Lithoz (57); Shutterstock

Stand Juli 2018

**Haftungsausschluss:** Alle Angaben wurden sorgfältig recherchiert. Für die Vollständigkeit und Richtigkeit des Inhaltes sowie für zwischenzeitliche Änderungen übernimmt der Herausgeber keine Gewähr.



