INDUSTRIE 4.0
ÖSTERREICH

ERGEBNISPAPIER

TECHNOLOGIE & INNOVATION IN DER INDUSTRIE 4.0

PRIORITÄRE FORSCHUNGSFELDER & MASSNAHMEN ZUR FÖRDERUNG DER ÖSTERREICHISCHEN FORSCHUNGS-LANDSCHAFT

2. aktualisierte Fassung

Verein Industrie 4.0 Österreich

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT 3

1. EINLEITUNG 4

2. POSITIONIERUNG 9

3. FORSCHUNGSFELDER INDUSTRIE 4.0 11
- 3.1 Virtualisierung 15
- 3.2 Sensorsysteme 19
- 3.3 Software, Daten und KI 23
- 3.4 Physische Systeme 28
- 3.5 Cyber-Physical Systems 32
- 3.6 Arbeits- und Assistenzsysteme 37
- 3.7 Wertschöpfungsnetzwerke und Geschäftsmodelle 43
- 3.8 Domänenwissen und Schlüsseltechnologien 46

4. FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND INNOVATION IN ÖSTERREICH UND DER EU 48
- 4.1 F&E-Finanzierung im Bereich Industrie 4.0 und Digitalisierung auf nationaler Ebene 50
- 4.2 Erhöhung der Dotierungen der Programme KLWPT und DST 54
- 4.3 EU-Forschungsrahmenprogramme 56
- 4.4 Zukunftsorientierte Gestaltung von FP10 60
- 4.5 Vorschläge zu einer verbesserten Ausgestaltung des Forschungs- und Innovationsökosystems 61
- 4.6 Qualifizierung in und für Forschung und Entwicklung 65
- Zusammenfassung der Empfehlungen 67

5. ÖSTERREICHISCHE USE CASES 70
- 5.1 Flugzeugbau: Transformation des automatisierten Legeprozesses zu einem Cyber-Physical System zur Vorhersage und Fehlererkennung 71
- 5.2 Primetals: Optimierung der Sinter Produktion durch modellbasierte Prognose der kausalen Zusammenhänge von Haupt-Qualitätsindikatoren 73
- 5.3 Silicon Austria Labs: Vorausschauende Wartung von industriellen Shreddern durch Machine Learning 76
- 5.4 Magna Steyr Fahrzeugtechnik: Globale und datengetriebene Optimierung der Automobillogistik 80
- 5.5 Boc Products & Services AG: KI-basiertes Entscheidungsunterstützungssystem für Produktionsprozesse 81
- 5.6 HG Green Innovation GMBH: 30 % Einsparung der Entwicklungskosten durch digitale Produktentwicklung 84
- 5.7 Ebner Industrieofenbau und X-Net: Automatisierte Auftragsabwicklung entlang der Lieferkette 87
- 5.8 Methode zur Identifikation von Cyber Risiken entlang der Supply Chain 88
- 5.9 JOANNEUM RESEARCH Kreislaufwirtschaft: Visuelle Charakterisierung von Wertstoffen 91
- 5.10 Mechatronik-Cluster Digitale Durchgängigkeit als Erfolgsfaktor im Maschinenbau 93

6. DANK 97

ABBILDUNGSVERZEICHNIS/LITERATURVERZEICHNIS/IMPRESSUM 100

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

Industrie 4.0-Lösungen sind fester Bestandteil der innovativen Produktion und spiegeln sich in der Vernetzung von Maschinen und Systemen, dem automatisierten Datenaustausch in Echtzeit sowie in der Digitalisierung von Engineering- und Geschäftsprozessen wider. Eine immer bedeutendere Rolle spielen digitale Schlüsseltechnologien, deren Entwicklung und Anwendung die Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen und europäischen Industrie massiv beeinflusst. Denn gerade bei diesen innovativen Technologien steht Europa in einem sich zuspitzenden, globalen Wettbewerb mit Wirtschaftsmächten wie den USA oder China. Um nicht ins Hintertreffen zu geraten, muss Europa strategisch agieren und durch Investitionen in Forschung und Entwicklung seine Technologiekompetenz in Schlüsselbereichen stärken. Aus diesem Grund adressiert das Ergebnispapier „Technologie & Innovation in der Industrie 4.0“ wichtige Forschungsfelder, die von Software, Daten und KI, über Sensorsysteme, Physische Systeme, Cyber-Physische Systeme, Arbeits- und Assistenzsysteme bis hin zu Virtualisierung, Wertschöpfungsnetzwerke & neue Geschäftsmodelle sowie Domänenwissen & Schlüsseltechnologien reichen.

Sinnbildlich zeigt sich die wachsende Bedeutung von digitalen Schlüsseltechnologien anhand der rasanten Technologieentwicklungen im Bereich der (generativen) Künstlichen Intelligenz. Durch das enorme Tempo und technologische Durchbrüche entstehen neue, breitere Anwendungsmöglichkeiten von KI-Lösungen, die das Potenzial haben, die Produktivität deutlich zu erhöhen, etablierte Geschäftsmodelle zu disruptieren und Wettbewerbsverhältnisse zu verschieben. Dies stellt uns vor Herausforderungen, eröffnet aber auch Chancen, die Österreich und Europa nutzen müssen.

Die Industrie steht zudem vor der zentralen Herausforderung der doppelten Transformation. Zu der digitalen Transformation müssen wir die grüne Transformation, den Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschaft, meistern. Der Einsatz von Industrie 4.0 und Schlüsseltechnologien bietet besonders dem produzierenden Bereich wesentliche Hebel. Die Möglichkeiten reichen von Prozess- und Produktinnovationen, der Nutzung und dem Austausch von Daten mit Partnern bis hin zu neuen Wertschöpfungspotenzialen durch datengetriebene Geschäftsmodelle. Durch einen effizienteren Energie- und Ressourceneinsatz kann der Übergang zu einer nachhaltigen Produktion vorangetrieben werden.

Um die volle Wirkungskraft von Industrie 4.0-Lösungen und digitalen Technologien entfalten zu können und diese als Wettbewerbsfaktor zu unserem Vorteil zu nutzen, muss es unser Ziel sein, digitale Schlüsseltechnologien nicht nur durchgängig in Produktionsprozessen anzuwenden, sondern auch in Österreich und Europa zu entwickeln. Wesentlich dabei ist, die Beschäftigten mitzunehmen, die Akzeptanz der Technologie zu gewährleisten und die verantwortungsvolle Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine sicherzustellen.

Im Rahmen des Ergebnispapiers „Technologie & Innovation in der Industrie 4.0“ werden wichtige Forschungsfelder und erforderliche Maßnahmen aufgezeigt, um die Resilienz, Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen Industrie und damit des Wirtschaftsstandorts nachhaltig zu stärken. In Zahlen ausgedrückt: Die Industrie steht für rund 22 %[1] der Wertschöpfung in Österreich und ist damit Basis für wirtschaftlichen Erfolg, allgemeinen Wohlstand und Lebensqualität im Land. Vor diesem Hintergrund ist es entscheidend, sämtliche Unternehmen, vom Kleinstunternehmen bis zum Leitbetrieb, bei der doppelten Transformation zu unterstützen sowie die Entwicklung und Anwendung von Industrie 4.0-Lösungen und Schlüsseltechnologien konsequent voranzutreiben.

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

[1] Eurostat, OECD

EINLEITUNG

1

VEREIN INDUSTRIE 4.0 – DIE PLATTFORM FÜR INTELLIGENTE PRODUKTION

Der Verein, besser bekannt als österreichische „Plattform Industrie 4.0“, wurde 2015 als Initiative des heutigen Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie sowie von Arbeitgeber- und Arbeitnehmerverbänden gegründet. Diese erarbeiten gemeinsam mit Mitgliedern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Interessenvertretungen in vier Schwerpunkten 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. Die Plattform Industrie 4.0 nimmt dabei eine wichtige Rolle in der nationalen und internationalen Koordinierung, Strategiefindung und Informationsbereitstellung ein.

SCHWERPUNKT TECHNOLOGIE & INNOVATION

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

Im Schwerpunkt Technologie & Innovation werden Empfehlungen für den Forschungs- und Entwicklungsbereich erarbeitet und relevante Akteur:innen vernetzt. Vertreter:innen von universitären wie auch außeruniversitären Forschungseinrichtungen, 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“ fest.

VORGEHENSWEISE 2018 UND 2023

In den schwerpunktbezogenen Veranstaltungen und Projekten der Plattform Industrie 4.0 wird laufend ein breites Feld an Technologiekompetenzen und Forschungsbedarfen sondiert, die für den Wirtschaftsstandort Österreich relevant sind. In einem gemeinsamen Prozess wurden im Juli 2018 von konsultativ eingebundenen Expert:innen 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 Autor:innen zugewiesen und der gesammelte Input durch ein Redaktionsteam verdichtet.

2023 wurde das vorliegende Dokument grundlegend überarbeitet und angepasst, um den Entwicklungen und Änderungen der letzten fünf Jahre Rechnung zu tragen. Dabei wurde die inhaltliche Struktur des Ergebnispapiers beibehalten, Einschätzungen und Sichtweisen der bisher eingebundenen und neu hinzugezogener Fachexpert:innen wurden aktualisiert und ergänzt. Im Technologieumfeld sind fünf Jahre eine lange Zeit, in der zahlreiche Trends kommen und gehen, und sich auch Begrifflichkeiten verändern. Der Anspruch dieses Papiers ist es nicht, Trends und Modebegriffe aufzugreifen, sondern vielmehr die tiefgehenden transformativen Veränderungen aufzuzeigen.

Dies verdeutlicht sich schon am Begriff „Industrie 4.0“: Heute sind Begriffe wie „Digitalisierung“ oder „Industrie 5.0“ populär. Im Industriekontext beschreiben sie aus Sicht der Plattform Industrie 4.0 jedoch alle den Wandel zu einer digitalen, nachhaltigen und menschenzentrierten Produktion. Auf diese Entwicklung wird im Papier unabhängig von der Wortwahl eingegangen.

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.

Insgesamt soll das Bewusstsein um die Bedeutung von Forschung, Entwicklung und Innovation gesteigert und Forschungseinrichtungen und Unternehmen dahingehend unterstützt werden, dass sie in optimalen Rahmenbedingungen erfolgreich arbeiten können.

AUFBAU DES ERGEBNISPAPIERS

Das Ergebnispapier gliedert sich neben der Einleitung (Kapitel 1) und Danksagung (Kapitel 6) in vier inhaltliche Kapitel, die Industrie 4.0 und Digitalisierung aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchten: Kapitel 2 gibt einen Überblick über die wichtigsten Akteure im Ökosystem und deren Positionierung. Kapitel 3 beschreibt die wichtigsten Forschungsfelder und bestehende Forschungs- und Handlungsbedarfe. Kapitel 4 befasst sich mit der nationalen und europäischen Förderlandschaft und beschreibt Ansatzpunkte, um die Rahmenbedingungen für Forschung, Entwicklung und Innovation zu verbessern. Kapitel 5 zeigt durch Österreichische Use-Cases, wie Technologien & Innovationen in Unternehmen erfolgreich eingesetzt werden können.

WEITERE SCHWERPUNKTE DER PLATTFORM INDUSTRIE 4.0

Technologie & Innovation ist eines der vier Schwerpunktthemen, die von der Plattform Industrie 4.0 behandelt werden. Weitere Schwerpunkte sind die kreislauforientierte Produktion, Arbeit 5.0 und die Vernetzung des Produktionsstandorts Österreich.

Im Schwerpunkt der kreislauforientierten Produktion finden sich Projekte und Aktivitäten, die die österreichische Industrie in Richtung Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit begleiten sollen. Dazu gehören Maßnahmen zur Steigerung der betrieblichen Ressourcen- und Energieeffizienz oder die Entwicklung digitaler Produktpässe. Der Schwerpunkt Arbeit 5.0 umfasst den Einsatz und Umgang mit digitalen Technologien in der Produktion. Dabei sind Mensch-Maschine-Interaktionen und die benötigten Kompetenzen und Qualifikationen wichtige Themen. Bei der Vernetzung des Produktionsstandorts Österreich stehen der Austausch zwischen regionalen Stakeholdern oder die Interaktion mit KMU im Mittelpunkt.

Die Schwerpunkte der Plattform Industrie 4.0 sind nicht klar abgegrenzt und überschneiden sich regelmäßig. Der Einsatz von neuen Technologien und Innovationen ist ohne qualifizierte Mitarbeiter:innen beispielsweise kaum umzusetzen. Gleichzeitig ist der Effekt, der durch Technologie und Innovation erzielt werden kann, häufig ein geringerer Material- oder Energieverbrauch. In diesem Ergebnispapier wird dennoch der Versuch unternommen, den Fokus auf das Schwerpunktthema Technologie & Innovation in Österreich sowie Stärkefelder und Forderungen in diesem Zusammenhang zu legen.

EXECUTIVE SUMMARY (deutsch)

Forschung und Entwicklung sind zweifellos entscheidende Treiber im Kontext von Industrie 4.0 und Digitalisierung. Das Innovationssystem eines Landes hat folglich einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung und Wettbewerbsfähigkeit seiner Unternehmen und wirkt sich damit auf die gesamte Volkswirtschaft aus.

Die voranschreitende Digitalisierung und die beschleunigte technologische Entwicklung birgt enorme Chancen für Österreichs Unternehmen. Gleichzeitig entstehen daraus aber auch neue Herausforderungen. Der Beitrag der Digitalisierung zum Geschäftserfolg von Unternehmen ist durch eine höhere Produktivität, verbesserte Resilienz, stärkeres Umsatz-, Produktivitäts- und Beschäftigtenwachstum sowie höherer Attraktivität bei Arbeitnehmenden direkt messbar. Allerdings haben nur 2–3 % der heimischen Unternehmen den höchsten digitalen Reifegrad erreicht. Somit besteht großes Potential in Österreichs Wirtschaft. [2]

Die Plattform Industrie 4.0 hat sich mit der Frage beschäftigt, welche Forschungsfelder mehr als 10 Jahre nach Entstehung des Begriffs „Industrie 4.0“ ein besonders großes Potential für Österreich darstellen und wie man den technologischen, regulatorischen und finanziellen Bedarf der Firmen noch treffsicherer adressieren kann. In einem breit angelegten, transparenten Prozess wurde das vorliegende Ergebnispapier erarbeitet. Es gibt Antworten und Inputs, damit rechtzeitig geeignete Maßnahmen ergriffen werden können, um Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsanforderungen in Österreich bestmöglich zu erfüllen.

Hierfür wurden Technologiekompetenzen sowie Forschungs- und Entwicklungsbedarfe identifiziert und daraus abgeleitet acht Schlüssel-Forschungsfelder formuliert:

- Virtualisierung
- Sensorsysteme
- Software, Daten & KI
- Physische Systeme
- Cyber-Physical Systems
- Arbeits- und Assistenzsysteme
- Wertschöpfungsnetzwerke & Geschäftsmodelle
- Domänenwissen & Schlüsseltechnologien

Neben diesen technologischen Handlungsfeldern decken Vorschläge zu einer wirkungsvolleren Ausgestaltung von Förderprogrammen und Rahmenbedingungen für Forschung, Entwicklung und Innovation die zurzeit wichtigsten Ansatzpunkte für Technologieinnovationen im Bereich Industrie 4.0 ab. Darüber hinaus umfasst dieses Ergebnispapier ausgewählte Use-Cases aus der Industrie und einem Überblick über Organisationen im Ökosystem Industrie 4.0 und Digitalisierung.

[2] Accenture/IV (2023) – Digitale Dividende

EXECUTIVE SUMMARY (english)

Research and development are undoubtedly key drivers in the context of Industry 4.0 and digital transformation. The innovation system of a country has major impact on the development and competitiveness of its companies, and thus affects the economy as a whole.

The advancing digitalization and the accelerated technological development hold great opportunities for Austrian companies. At the same time, however, they also create new challenges.

The contribution of digitalization to the business success of companies is directly measurable by higher productivity, improved resilience, increased revenue, productivity and employee growth as well as greater attractiveness for employees. However, only 2–3 % of Austrian companies have reached the highest level of digital maturity. Austria's economy therefore has great potential. [3]

More than 10 years after the term "Industry 4.0" was introduced, the Austrian Platform Industry 4.0 has addressed the question of which research fields represent particularly high potential and how the technological, regulatory and financial needs of companies can be addressed more effectively. The present report was developed in a broad, transparent process. It aims at providing answers and input so that suitable measures can be taken in good time to best meet research, development and innovation requirements in Austria.

To this end, technology competencies as well as research and development needs were identified, and eight key research fields were derived:

- virtualization
- sensor systems
- software, data & AI
- physical systems
- cyber-physical systems
- work- and assistance-systems
- value creation networks & business models
- domain knowledge & key technologies

In addition to these technological fields of action, proposals for a more effective design of funding programs and framework conditions for research, development and innovation cover the currently most important starting points for technology innovations in the field of Industrie 4.0. This results paper also includes selected use cases from industry and an overview of organizations in the Industry 4.0 and digitalization ecosystem.

[3] Accenture/IV (2023) – Digitale Dividende

POSITIONIERUNG

2

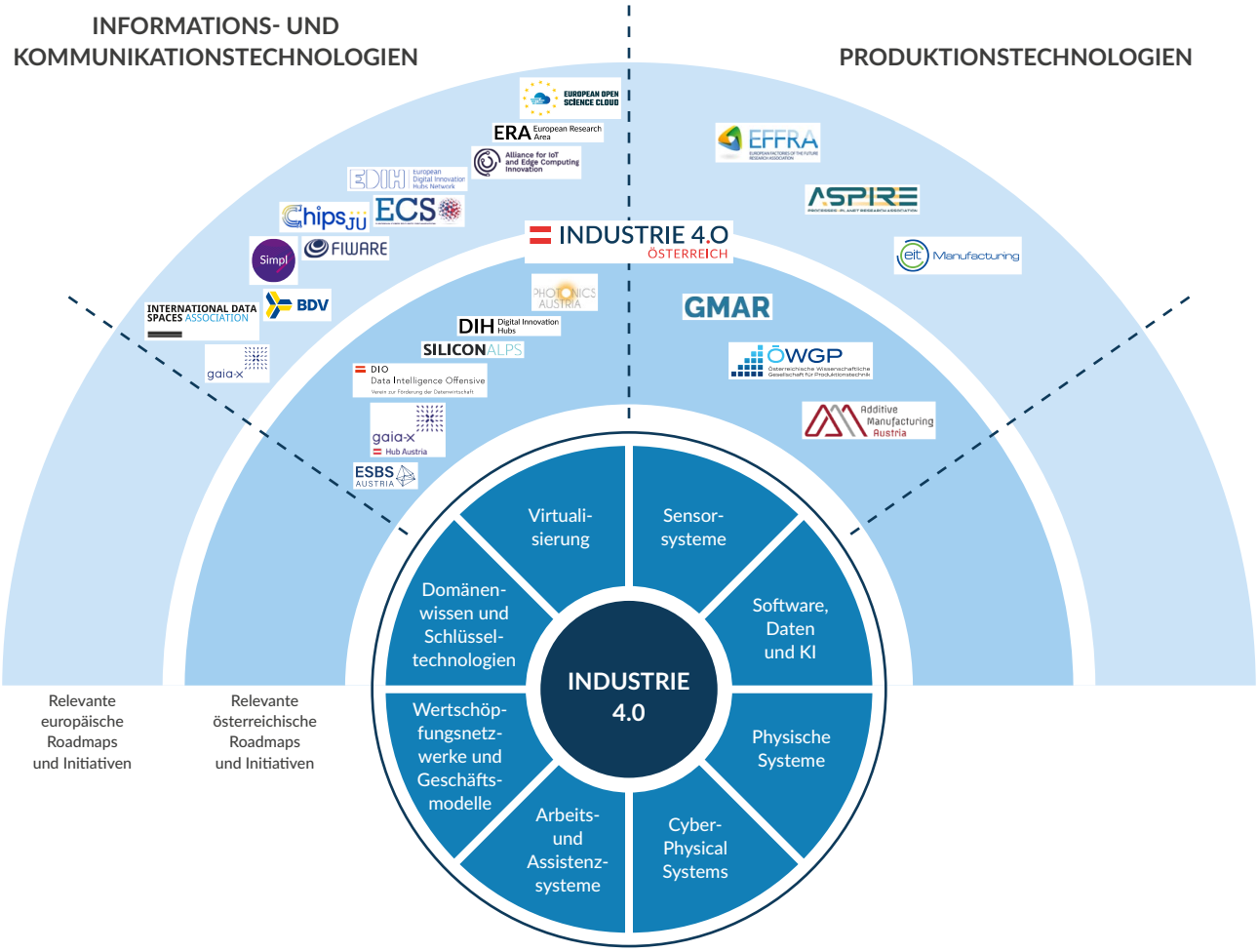


Abbildung 1: Auszug aus wichtigen Initiativen

ndustrie 4.0 steht für die Verschmelzung von Produktionstechnologien (Operational Technology, OT) mit Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Wie in Abbildung 1 dargestellt, gibt es sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene entsprechende Initiativen.

Auf europäischer Ebene wurden von verschiedenen Expert:innengruppen Roadmaps erstellt, u.a. zu den Themen Big Data (BDVA), Elektronikkomponenten und -systeme (Chips JU), Cybersicherheit (ECSO), Internet der Dinge (AIOTI), Smart Manufacturing (EFFRA) und für die Prozessindustrie (A.SPIRE).

Weitere Initiativen auf europäischer Ebene bestehen u.a. für die digitale Transformation von KMU (European Digital Innovation Hubs, EDIHs), zur Schaffung eines Binnenmarkts der Forschung und des Wissens (ERA) oder einer Wissens- und Innovationsgemeinschaft im Bereich der Produktion (EIT Manufacturing), zum Aufbau von Datenräumen (z. B. Gaia-X, IDSA, SIMPL), zum Forschungsdatenaustausch (EOSC), oder im Bereich der Open Source Technologieentwicklung (z. B. FIWARE).

Auf österreichischer Ebene existieren verschiedene Initiativen zu Technologien mit Industrie 4.0-Relevanz. Zu nennen sind u.a. ESBS Austria oder Silicon Alps im Bereich elektronischer Komponenten und Systeme, AM Austria in der additiven Fertigun , Photonics Austria in der Photonik, die GMAR in der Mess-, Automatisierungs- und Robotertechnik, die Ö-WGP im Bereich der Produktionstechnik, die DIO und der Gaia-X Hub Austria rund um die Datenökonomie, verschiedene Digital Innovation Hubs (DIH) zur digitalen Transformation von KMU, und schließlich für Industrie 4.0 (Plattform Industrie 4.0 Österreich).

Die österreichische Forschungs- und Innovationsförderung rund um Industrie 4.0 zeichnet sich dabei durch eine ausgewogene Mischung aus Bottom-up- und Top-down-Förderungen und steuerlicher Forschungsförderung aus. Eingebettet in dieses Umfeld besteht das Ziel des vorliegenden Dokuments darin, eine bedarfsgerechte Schwerpunktsetzung sowie eine damit verbundene Innovationsstrategie vorzuschlagen und Empfehlungen zu geben, um die Position Österreichs im Bereich Industrie 4.0 nachhaltig zu stärken.

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. Gleichzeitig tragen sie dazu bei Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft zu fördern. Der Sammelbegriff Industrie 4.0 bezeichnet dabei die **Verschmelzung von Produktionstechnologien (OT) mit Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)**. Die rasante Entwicklung der Kommunikations- und Webtechnologien bietet eine zunehmende Fülle neuer technischer Möglichkeiten für die Vernetzung unterschiedlichster Objekte. Diese Vernetzungstechnologien und die **sinkenden Kosten für Sensoren, Rechenleistung und Netzwerke** führen dazu, dass zahlreiche Ideen und Produkte, die noch vor ein paar Jahren nicht vorstellbar gewesen wären, nun realisierbar sind. Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Software, speziell im Bereich der (generativen) Künstlichen Intelligenz (KI), tragen dazu ebenfalls bei. Technologische Durchbrüche haben auch in der produzierenden Industrie das Potential, etablierte Geschäftsmodelle zu zerstören und die Wettbewerbsverhältnisse zu verschieben.

Physische Objekte und ihre digitalen Repräsentationen im „Cyber-Space", auch als digitale Zwillinge bezeichnet, verschmelzen zunehmend zu einer neuen Realität. Diese neue Ebene der Cyber-Physical Systems (CPS) bzw. Cyber-Physical Production Systems (CPPS) findet immer mehr Anerkennung und es gilt sie verantwortungsvoll umzusetzen.

Aufgrund der weitreichenden – bereits eingetretenen und künftig zu erwartenden – Veränderungen durch Industrie 4.0 und der daraus resultierenden **Auswirkungen auf die Gesellschaft**, wurde ein **interdisziplinärer Ansatz** bei der Erarbeitung der behandelten Themen gewählt. Dieser Ansatz spiegelt sich auch in den angeführten Forschungsfeldern wider, da nicht ausschließlich technische Aspekte adressiert werden. Es sollte daher gewährleistet sein, dass je nach Forschungstiefe und Umsetzungsgrad (z. B. ab TRL 6 – angewandte Forschung) der Einfluss auf **Menschen und Beschäftigte** mitgedacht und wissenschaftlich analysiert wird.

Die folgenden Abschnitte zeigen die Verschiebung technologischer Grenzen und die dafür vorhandenen und benötigten Kompetenzen im Bereich der Spitzentechnologien. Außerdem weisen sie auf robuste, kostengünstige und einfache Lösungen zur Stärkung der österreichischen Industrie hin.

Die gewählte Kreisgrafik illustriert die Themenkomplexe der digitalen Transformation in der Produktion, 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, um aufzuzeigen, in welchen Bereichen Forschung, Entwicklung und Innovation sinnvoll und notwendig ist, um die Position Österreichs im globalen Wettbewerb zu stärken.

VIRTUALISIERUNG

Das erste Kapitel behandelt die Thematik des Aufeinandertreffens und der zunehmenden Verschmelzung von physischen und virtuellen Welten. Digitale Transformation im Kontext von Industrie 4.0 erfordert, dass Produkte, Produktionsprozesse und -systeme einschließlich deren relevanter Umgebungen **möglichst vollständig, konsistent und durchgängig im digitalen Raum abgebildet** werden können. Dies ermöglicht, Informationen über diese Objekte und Prozesse **einer Computer-Verarbeitung zugänglich zu machen** und dadurch neue Nutzenpotentiale zu erschließen.

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

SENSORSYSTEME

Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit Sensorsystemen. Virtualisierung ist umso effektiver, je mehr Informationen zur Verfügung stehen und je besser die Qualität der Datenerhebung ist. Um diese Informationen in Form von **Daten zu generieren**, bedarf es effizienter Sensorsysteme. Sie spielen bspw. eine wesentliche Rolle bei der **Qualitätskontrolle der Produkte, vorausschauender Instandhaltung** (Predictive Maintenance) und beim **Product Lifecycle Management**.

SOFTWARE, DATEN, KI

Im dritten Kapitel liegt der Fokus auf Software, Daten und Künstliche Intelligenz (KI). Der Bereich der Softwareentwicklung ermöglicht die **Steuerung 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. Auch für KI spielen Datenverfügbarkeit und Qualität eine entscheidende Rolle. Indem große Mengen an Daten verarbeitet werden, können KI-Algorithmen lernen und Muster erkennen, um intelligentere Entscheidungen treffen zu können.

PHYSISCHE SYSTEME

Die Vernetzung durch Informationstechnologie und Sensorik schafft neue Chancen und Herausforderungen für die physische Repräsentanz „smarter“ Produktideen. Das vierte Kapitel geht auf den **physischen Teil 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 (CPS), wie sie im fünften Kapitel thematisiert werden, bezeichnen den **Verbund softwaretechnischer Komponenten mit mechanischen und elektronischen Teilen**, die über **eine Dateninfrastruktur kommunizieren**. Die Begriffsbildung folgt dem **Bedarf nach einer neuen theoretischen Grundlage** für die Erforschung und Entwicklung großer, verteilter, komplexer Systeme, wie zum Beispiel die Konstruktion neuartiger Industrieproduktionsanlagen, die sich dynamisch an die jeweiligen Produktionserfordernisse anpassen können.

ARBEITS- UND ASSISTENZSYSTEME

Das sechste Kapitel behandelt 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.

WERTSCHÖPFUNGSNETZWERKE & NEUE GESCHÄFTSMODELLE

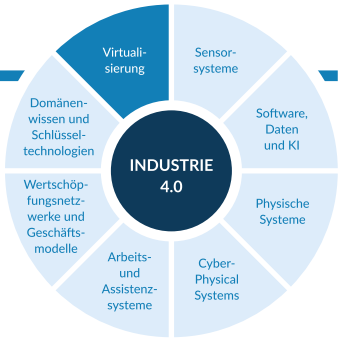
Die Entwicklung von Wertschöpfungsketten hin zur **Bildung von Wertschöpfungsnetzwerken** stellt Unternehmen vor neue Herausforderungen und bietet gleichzeitig große **Chancen im Hinblick auf ihre Geschäftsmodelle**. Dies reicht von der geringfügigen Anpassung bis hin zu neuen Geschäftsideen und Geschäftsmodell-Innovationen, die disruptive Veränderungen hervorrufen können. Kapitel sieben umreißt diese Thematik und deckt wesentliche Fragestellungen auf.

DOMÄNENWISSEN & SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN

Den Abschluss der Forschungsfelder bildet das achte Kapitel, 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 spezifischen Prozess- bzw. Domänenwissens**. Technologische Veränderungen müssen so gestaltet werden, dass das notwendige Wissen, einschließlich des aktuellen **Erfahrungswissens** der Arbeitnehmer:innen und Arbeitnehmer, verfügbar ist.

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 [4 5 6 7 8]. Die Sensor- und Prozess-Daten aus der physischen Welt müssen digital so aufbereitet werden, dass sie geeignet verarbeitet, aggregiert und interpretiert werden können, um daraus die beabsichtigten Informationen zu generieren und nutzbringend verwenden zu können [9 10 11].

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 [11 12].

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 [11 13].

4 Geisberger, E. et al. (2012)
5 Acatech (2013)
6 Anderl, R. et al. (2012)
7 Lee, E.A. (2015)
8 Bauernhansl, T. et al. (2014)
9 Zeman, K. et al. (2016)
10 Vajna, S. et al. (2018)
11 Geisberger, E. et al. (2015)
12 Zeman, K. et al. (2006)
13 Künstliche Intelligenz

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 [12 13].

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 [11 13].

In manchen Branchen wie etwa in der Stahlerzeugung, 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. Stahlerzeugung) oder Stückzahlen (z. B. Automobilindustrie) hohe Wiederholungseffekte erzielt werden. Kleine prozentuelle Verbesserungen haben einen hohen Nutzen-Multiplikator und können sich rasch amortisieren [12]. 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 essenziell. 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. [8 10 12 13]

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 [12].

Im Unterschied dazu kann in der **Produktion** und **Produktnutzung** auf eine Fülle von Messdaten zurückgegriffen werden (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 [8 10 12].

In der **Produktnutzung** können Modelle in Verbindung mit Messungen dazu genutzt werden, 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 [13] (z. B. Machine Learning) ausgewertet werden können, um als Feedbackschleife zur Produktentwicklung Verbesserungspotentiale für die nächste Produktgeneration zu erkennen und nutzbar zu machen [10 12 13].

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

Übergeordnete Vision: Eine lückenlose, modellbasierte Gestaltung, Vorhersage, Steuerung und Verfolgung von Produkteigenschaften [14].

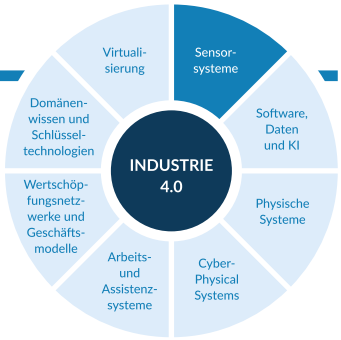
Beherrschung von Komplexität: Durch die Verschmelzung von physischer Welt und Cyber-Welt zu Cyber-physical Systems (CPS) und die zunehmenden Möglichkeiten, alles mit jedem im Sinne eines Internet of Anything (IoA) zu vernetzen, entstehen immer komplexere Produkte, die in immer komplexere Umgebungen eingebettet sind [8 13]. 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 [8 9].

[14] Geisberger, E. et al. (2015)

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)



3.2 SENSORSYSTEME

Autoren: *Dipl.-Ing. Herwig Zeiner – JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH;*
Dipl.-Ing. Stefan Rohringer – Dr. Marcus Hennecke – Infineon Technologies AG

Das Monitoring der Infrastruktur [14] und der Abläufe in der Industrie erfordern neue intelligente Sensorik [15] und intelligente, echtzeitfähige Auswertungstechniken [16]. Die Echtzeitinformationen über den Prozess werden zur Optimierung der Arbeitsabläufe (z. B. Produktion mit integrierter Sicherheitsanalyse) und zur Optimierung der Verwendung der Betriebsmittel genutzt. Betreiber von komplexen Industrieanlagen müssen ihre Anlage ständig anhand wirtschaftlicher Gesichtspunkte optimieren. Diese Optimierung ist abhängig von der aktuellen Marktsituation und muss verschiedene Kriterien miteinbeziehen (Ressourcenverbrauch, Energie, Auslastung und Durchsatz der Anlage, Qualität des Produkts etc.). Genaue und zuverlässige Sensordaten und deren intelligente Auswertung sind daher wichtiger denn je [17]. Zukünftig werden durch sogenanntes Edge Computing 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 Informationen über die Verwendung von Produkten im praktischen Einsatz zur Verfügung, die einerseits Auskunft über die Umgebung, den Zustand und die Veränderung der Lebensdauer des Produkts geben und andererseits den Einsatz optimieren und Verbesserungen ermöglichen.

Technisch bedeutet dies, dass durch die Digitalisierung Daten von Fabrikanlagen, bis zur Produktnutzung und in allen dazugehörigen Prozessen im Ist-Zustand mit moderner Sensorik erfasst werden, können. Diese Daten können auch als Basis für rasche und effiziente Planungen von Fertigungsstraßen und operativen Prozessen dieser Fertigungsanlagen herangezogen werden.

› **Neue Möglichkeiten in der Datenübertragung:** Neue Möglichkeiten für den Austausch von Sensordaten ergeben sich durch die Berücksichtigung technologischer Standards wie Bluetooth, WLAN (vor allem Wi-Fi 6) und 5G/6G, oder durch Protokolle wie LoRaWAN [18]. Diese Technologien können als Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von Sensorsystemen im Rahmen einer Entwicklungsstrategie für eine Produktion der Zukunft verwendet werden, z. B. für eine energieeffiziente Funkvernetzung [19]. Durch heterogene Sensornetzwerke können Daten unterschiedlichster, verteilter Sensoren kombiniert und auch stark divergierende Anforderungen (Bandbreite, Latenz, Synchronisation der Daten etc.) unterstützt werden.

[15] Maiwald, M. (2016)
[16] Gröger, C. (2018)
[17] Kagermann
[18] de Carvalho et al. S. (2017)
[19] Hoeller, J. et al. (2020)

- **Umgebungserkennung und Mensch-Maschine-Interaktion:** In der Produktion spielt die Umgebungserkennung einerseits bei der Erfassung der Gestik, der Blickrichtung oder potenziell auch bei der Spracherkennung eine wichtige Rolle. Andererseits betrifft sie die Darstellung von Informationen über den Maschinenzustand in einer intuitiven und leicht zu erfassenden Weise. Mobile Maschinen (Roboter) erfassen ihre Umgebung im Detail, um ihre Aufgabe zu bewältigen und Hindernisse zu vermeiden. Die Sensorik muss dabei optimal in die jeweiligen Konzepte eingebunden sein [20].

- **Intelligente Erweiterung von Sensoren im industriellen Umfeld und neue Einsatzszenarien:** Einen Ansatz dafür bieten z. B. virtuelle Sensoren. Dabei werden unterschiedlichste mathematische Modelle und Softwarefunktionen dazu verwendet, die gesuchten Werte aus einfacheren bzw. günstiger verfügbaren Sensorwerten abzuleiten. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von KI. Damit werden neue technische Herausforderungen, z. B. im Bereich der Computer Vision, adressiert. Mit der existierenden KI auf Basis von Deep Learning Algorithmen können die bestehenden Einschränkungen in der Bildverarbeitung überwunden und größere und reale Probleme mit neuen Modellen gelöst werden. Existierende Deep Learning-Frameworks und verfügbare Datensätze helfen dabei, neue Modelle für die Bildverarbeitung in bestehenden Domänen zu erschaffen [21]. Damit sich solche intelligenten Erweiterungen durchsetzen, ist besonders auf die Interoperabilität und die Verwendung von Standards zu achten.

- **Retrofitting für bestehende Maschinenparks:** Mittels Retrofitting-Ansätzen (=Nachrüsten von Sensoren auf Maschinenanlagen) wird die Kommunikation nicht-Internetprotokoll-(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 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 geeignete Qualitätsparameter bereits während einzelner Produktionsschritte schnell und selbständig zu erfassen, um regelnd und optimierend in die Produktionsabläufe eingreifen zu können [22]. 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 aufzeigen. 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** [23] 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 Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten abgeleitet und entsprechende Instandhaltungsaufträge im ERP-System angelegt werden. Die vorausschauende Instandhaltung erhöht nicht nur die Maschinenverfügbarkeit und vermeidet Stillstandzeiten, sie eröffnet auch für Anlagenbauer und Maschinenhersteller die Erschließung neuer Optimierungspotentiale wie z. B. ein effektiveres Management von Prozessen, z. B. hinsichtlich Energiemanagement bzw. Ressourcenmanagement einschließlich Reduktion von Materialen.

[20] Bonci, A. et al. (2011)

[21] Zhu, X. X. et al. (2017)

[22] Lanza, G. et al. (2015)

[23] Larose, D. T. et al. (2015)

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 Sensorsysteme gibt es zu folgenden Themenfeldern:

Entwicklung und Integration von hochperformanten, 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 (≤ 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 Sensing 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 drei-dimensionale (optische Erfassung) erforderlich, z. B. bei der hochgenauen Prüfung von Oberflächen auf feinste Risse oder Löcher oder bei der dreidimensionalen Vermessung von Formteilen.

Sensorik auf Basis neuer Materialien: Es bedarf neuer Entwicklungen z. B. für die Detektion und Quantifizierung organischer und anorganischer Stoffe, beispielsweise für den Einsatz in der Prozessindustrie.

Life Cycle: Rund um die Nachrüstbarkeit von Legacy-Anlagen sowie bei Konzepten für Sensorfusion und virtuelle Sensoren inkl. der Wahrung der Security-Anforderungen gibt es weiteren Forschungsbedarf.

Gewährleisten von Sicherheit von Sensoren und Sensorsystemen: Sensoren können von Hackern angegriffen werden und stellen somit Schwachstellen für Netzwerke dar [24]. Da solche Geräte oft sichtbar sind und somit einfach gefunden werden können, macht sie das zugänglich und angreifbar. Aus diesem Grund müssen Sensoren im industriellen Umfeld auf bewährte Angriffsmuster getestet werden, um ihre sichere Funktionalität auch im Ernstfall aufrechtzuerhalten. Somit kann aber auch geprüft werden, ob Sensorgeräte existierende Sicherheitsanforderungen erfüllen, bevor sie in den Betrieb gehen.

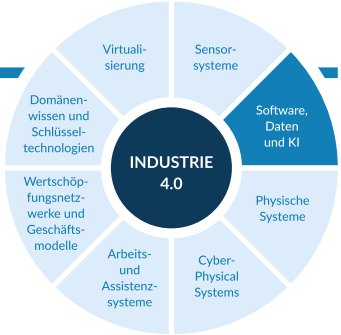
[24] Mullet, V. et al. (2021)

Sicherstellung der Kommunikation in Sensorsystemen: Im Rahmen von Industrie 4.0 werden große und teils vertrauliche Datenmengen zwischen Sensoren und anderen Systemen in Echtzeit ausgetauscht. Aus diesem Grund ist die Absicherung von Kommunikationskanälen in Sensorsystemen von äußerste hoher Bedeutung.[25] Die Datensicherheit zwischen den Schnittstellen muss somit systematisch geprüft und etwaige Abwehrmaßnahmen installiert werden.

Funktionale Resilienz: Die Funktionalität von Sensoren muss auch im Fall von physischen Ereignissen, von Ausfällen, in dynamischen Umgebungen und bei Fehlinformationen so weit wie möglich aufrechterhalten werden.[26] Dafür müssen die jeweiligen Sensorgeräte auf verschiedene unerwartete Szenarien geprüft und abgesichert werden.

[25] Corallo, A. et al. (2020)

[26] ENISA (2018)



3.3 SOFTWARE, DATEN UND KI [27]

Autoren: *Dipl.-Ing. Herwig Zeiner – JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH; Bernhard Peischl – Martin Weinzerl – AVL List GmbH*

Flexibilität und Anpassungsfähigkeit sind die entscheidenden Wettbewerbsfaktoren in modernen Produktionsstätten. Mit einer intelligenten datengetriebenen und möglichst autonomen Produktionsumgebung werden Produktionsausfälle verhindert und hoher Wartungsaufwand vermieden. Die Produktion, von der Planung über den Materialfluss bis hin zur autonomen Steuerung von Robotern, erfolgt mit intelligenten Algorithmen, die sich bis zum individuellen Produkt in Losgröße 1 entwickeln können.

Der Produktlebenszyklus beginnt mit der Produktplanung und dem ersten Entwurf, gefolgt von Entwicklung, Verifikation und Validierung bis hin zur Produktion [28]. Die Nutzung des Produktes über verschiedene Anwendungen hinweg entscheidet maßgeblich über die Entsorgungsmethoden am Ende des Lebenszyklus. In manchen Fällen muss der Hersteller in dieser Phase Unterstützung bei der Entsorgung, Demontage oder beim Recycling der Produkte leisten.

Für die Produktentwicklung bieten neue Technologien aus den Bereichen IoT sowie Cloud und Edge Computing [29] nicht nur die Chance, in immer kürzerer Zeit immer komplexere Produkte herzustellen, sondern auch die Möglichkeit, das Informationsmanagement während des Produktlebenszyklus zu verbessern. Angestrebt wird der vollständige digitale Durchlauf aller relevanten Daten entlang des Produktentstehungsprozesses. Mindestens genauso wichtig ist der Rückfluss von Informationen, um schnelle Feedbackschleifen von der Produktion in die Entwicklung zu ermöglichen und somit zukünftige Produktdesigns zu verbessern. Abbildung 1 illustriert die Aufbereitung der Daten, das Training von Modellen (z. B. zur Anomalie-Erkennung) und das Aufbringen des qualitätsgesicherten Modells auf die Produktivumgebung im Umfeld von End-of-Line (EoL) Prüfständen.

[27] Marc Anderson – Software is eating the world. Source: https://a16z.com/2011/08/20/why-software-is-eating-the-world/.

[28] Dalle Carbonare, D., et al. (2020)

[29] Bierzynski, Kay, et al. (2021)

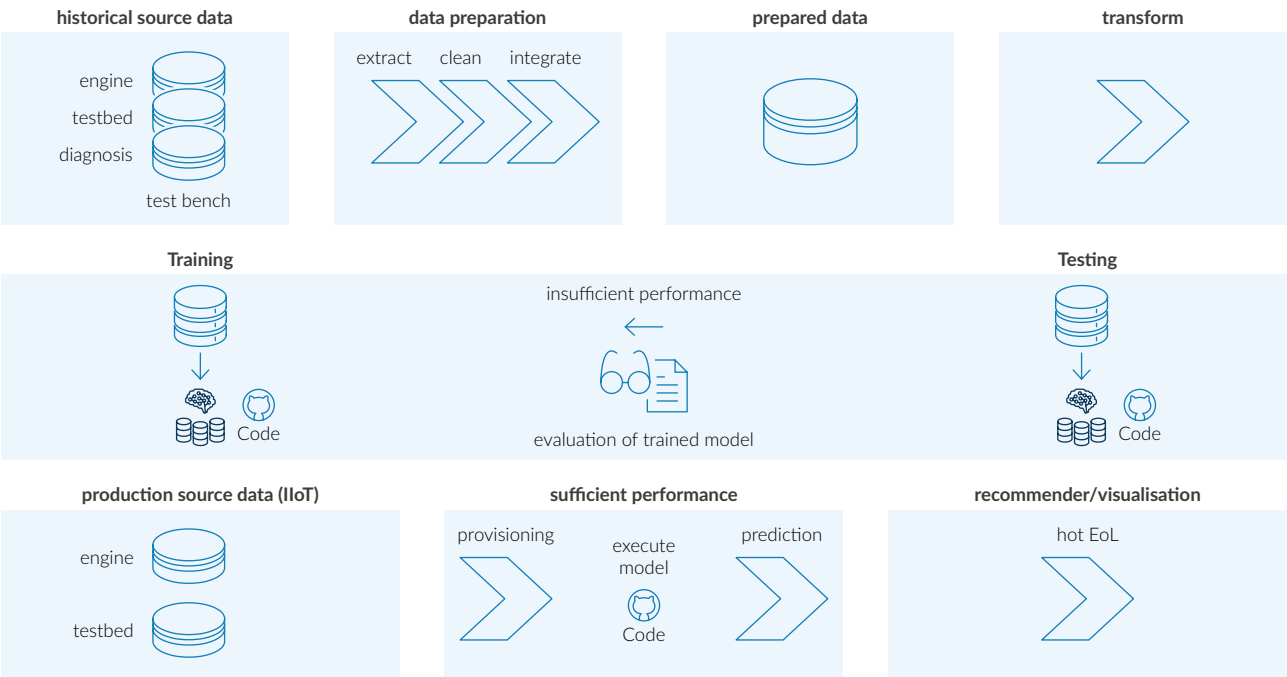


Abbildung 2: Machine Learning im Umfeld von End-Of-Line Prüfständen [30]

Diese hochdynamischen Prozesse resultieren in einer erhöhten Nachfrage nach Software, Daten und KI [31] in wesentlichen industriellen Anwendungsdiensten wie z. B. der Prozessoptimierung, der Produktnachverfolgbarkeit, der Qualitätssicherung und der Wartung. Die Visualisierung und Auswertung von großen Datenmengen erfordern zunehmend die Fähigkeit, die dazu erforderlichen intelligenten Aufgaben automatisiert durchzuführen. Viele Produkte werden in Zukunft mit einem digitalen, lebenszyklusübergreifenden digitalen Pass ausgestattet sein (Digitaler Produktpass). Darin werden relevante Informationen der Stakeholder in der Wertschöpfungskette (z. B. verwendete Rohmaterialien, Ort und Zeit der Herstellung, verarbeitendes Unternehmen, CO_2-Fußabdruck) vermerkt und für bestimmte Personenkreise verfügbar sein.

Moderne Produktionsprozesse fokussieren auf die Erhöhung des Automatisierungsgrades und des autonomen Verhaltens – im Wesentlichen ein Zusammenspiel von Software, Daten und KI. Dies wird durch drei Haupttrends getrieben.

Erstens sind die Kosten für Sensoren und Aktoren in den letzten Jahren drastisch gesunken, was deren großflächigen Einsatz ermöglicht. Dies hat dazu geführt, dass heutige Produktionssysteme, um Größenordnungen der Daten über ihre Umgebung zu erhalten, mehr Möglichkeiten haben, mit ihrer Umgebung zu interagieren. Zweitens sind die Kosten für die Datenspeicherung gesunken, sodass es für Produktionssysteme möglich wird, Daten für die Analyse und Entscheidungsfindung in einem noch nie dagewesenen Umfang zu speichern. Und schließlich – dem Mooreschen Gesetz [32] folgend – hat sich die für Produktionssysteme verfügbare Rechenleistung weiter erhöht, sodass heute so viel Rechenleistung zur Verfügung steht, dass die Systeme große Datenmengen analysieren und somit viel dynamischere, kontextbezogenere Entscheidungen im Vergleich zu früheren Generationen treffen können.

[30] Metrology Advances for Digitized Electronic Components and Systems Industry 4.0 – MadeIn4, AVL List GmbH

[31] Huang, Z. et al. (2021)

[32] Das Mooresche Gesetz besagt, dass sich die Komplexität integrierter Schaltkreise mit minimalen Komponentenkosten regelmäßig (d. h. im Mittel 20 Monate) verdoppelt.

Daten: Das kontinuierliche und beträchtliche Wachstum der Daten, der verbesserte Zugang aus dem Betrieb von Industrieanlagen, aus Industrieprodukten und durch den Produktnutzer erfordern einen neuen sicheren Umgang. Neben den technischen Werkzeugen für das Sammeln, Speichern, Analysieren, Verarbeiten und Visualisieren riesiger Datenmengen braucht es auch neue Konzepte für das Teilen der Daten über Unternehmensgrenzen hinweg. Dabei geht es um einen sicheren Austausch von Daten unter Berücksichtigung entsprechender standardisierter Metadaten und Datenräume (eine Gruppe von Unternehmen, die zusammenarbeiten, um kontrolliert Daten und Dienste aus diesen Daten zu nutzen). Es werden auch sicherere Experimentier- und Arbeitsumgebungen benötigt, um die Integration von Technologien für einen vertrauenswürdigen Umgang mit Daten, einen sicheren Datenzugang und Interoperabilität zwischen den Unternehmen zu gewährleisten.

KI: Die intelligente Nutzung der Daten erfolgt mithilfe Künstlicher Intelligenz[33]. Dank immer ausgereifterer, vielschichtiger datengetriebener Techniken wie Deep Learning und Machine Learning[34] wird es möglich, maschinell erlerntes Wissen in automatisierte Entscheidungsprozesse einzubinden. Neben den datengetriebenen Techniken werden hier wissensbasierte Verfahren wie z. B. Ablaufplanung, heuristische Suchverfahren und mathematische Optimierung eingesetzt. Relevant sind auch Knowledge Graphs, um strukturiertes Wissen dynamisch zu erfassen und mit Hilfe dieser Strukturen den Menschen in der Industrieumgebung und Produktnutzung zu unterstützen.

KI wird im industriellen Umfeld bereits in vielen Anwendungsfällen verwendet.

Beispiele für KI und intelligente Services:

1.) Optimierter Ressourceneinsatz: Für die Optimierung von Industrieprozessen, beispielsweise um die Produktion bestmöglich auszulasten oder um den Ressourceneinsatz zu minimieren, müssen oft verschiedene, teilweise im Widerspruch zueinanderstehende Ziele berücksichtigt werden (Effizienz, Energieverbrauch, Wartbarkeit, etc.). Es geht im Speziellen um Minimierung bzw. die optimale Nutzung von Ressourcen und um die Erhaltung einer guten Produktqualität.

2.) Predictive Maintenance: Die vorausschauende Wartung beschreibt die Praxis, Wartungen nicht bei akutem Bedarf oder in festen Intervallen auszuführen, sondern zu einem Zeitpunkt, der sich aus der Analyse von Daten erschließt – basierend auf Erfahrungswerten und datenbasierten Berechnungen. Zunehmend werden ML und KI bei der vorausschauenden Wartung von Anlagen, Maschinen und Produkten eingesetzt. Dabei soll die Wartung nicht zu früh oder zu spät erfolgen.

3.) Anomalieerkennung: Das Erkennen von Anomalien im Produktionsprozess erfolgt auf der Basis historischer Daten. Dabei wird das Normalverhalten in regelmäßigen Zeitabständen anhand der Messwerte aus der laufenden Produktion angepasst. Durch eine domänenspezifische Visualisierung kann der Qualitätsingenieur dabei mit den aus der industriellen Qualitätssicherung wohlbekannten Metriken und Konzepten arbeiten.

Software[35]: Die Querschnittstechnologie Software ist ein entscheidender Faktor im laufenden Transformationsprozess der Digitalisierung. Im industriellen Umfeld spielt vor allem die enge Integration zwischen der physischen Welt und deren virtuelle Repräsentation (digitaler Zwilling) eine entscheidende Rolle. So wird mit Hilfe von Software das intelligente Kombinieren von KI-basierten Algorithmen[36], Sensoren (z. B. IoT Devices) sowie deren gemessener Daten, physikalischer Objekte und cyber-physischer Systeme in unterschiedlichen Plattformen ermöglicht.

[33] Woitsch, R. et al. (2024)

[34] Kusiak, A. (2020)..

[35] Spinellis, D. (2017)

[36] Kim, M. et al. (2017)

Eine weitere Herausforderung ist die Integration unterschiedlicher Softwaresysteme (z. B. Individual- und Standardsoftware), die sowohl vertikal (Produktion) als auch horizontal (entlang der Wertschöpfungskette) integriert werden, um eine durchgängige Digitalisierung bzw. die Datendurchgängigkeit der Wertschöpfungskette zu erreichen. Hierzu bedarf es des Einsatzes moderner Schnittstellen, Web-Services, Streaming-Schnittstellen sowie der verstärkten Integration externer Systeme und Datenquellen entlang des Computing-Kontinuums [37] (Cloud, Fog, Far-Edge, Near-Edge).

Eine Herausforderung für das sichere Softwareengineering im industriellen Umfeld sind die unterschiedlichen Updatezyklen der Softwaresysteme und der physischen Produkte. Herausfordernd dabei sind auch die unterschiedlichen IT-Sicherheitsanforderungen, die bei jedem Schritt eingehalten und auch überprüft werden müssen. 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 könnte. Es gilt, die heutigen Herausforderungen an Software im Industrieumfeld zu meistern:

Einerseits brauchen wir Entwicklungsmethoden und Validierungsstrategien für unterschiedliche Produktvarianten der Softwaresysteme; andererseits gilt es, die Zuverlässigkeit und Robustheit der immer komplexer werdenden Systeme sicherzustellen. In der Industrie spielt in manchen Bereichen der Einsatz von Open Source Software eine immer größere Rolle. Damit wird einerseits der Entwicklungsaufwand zwischen Unternehmen aufgeteilt, andererseits ist Transparenz ein probates Mittel, um Vertrauen zu schaffen (z. B. Blockchain und Distributed Ledger).

Um den Mangel an Softwarefachkräften auszugleichen, werden Low-Code Plattformen relevanter. Es gilt, Plattformen immer an die Unternehmen und deren sehr individuelle Arbeitsumgebungen anzupassen, sodass die jeweiligen Branchenfachleute Daten und KI bestmöglich nutzen können. Solche Plattformen unterstützen Industrieunternehmen dabei diese Lücke zu schließen.

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

Forschungs- und Handlungsbedarf im Bereich von Software, Daten, und KI gibt es in folgenden Themenfeldern:

1.) **Sicherer Datenaustausch:** Ein offenes und kollaboratives Daten-Ökosystem [38] entlang der Wertschöpfungskette soll es Unternehmen – vom Automobilhersteller oder dem klein- und mittelständischen Zulieferer bis hin zum Recyclingunternehmen – ermöglichen, die Vorteile des datenbasierten Wirtschaftens voll auszuschöpfen. Dazu werden standardisierte Daten- und Informationsflüsse entlang der gesamten Wertschöpfungskette geschaffen. Im Vordergrund stehen hierbei der Nutzen und die Wertschöpfung für jeden Teilnehmer im Netzwerk unter der Wahrung der Datensouveränität entsprechend den Standards der europäischen Union (vgl. GAIA-X [39], Catena-X [40], Manufacturing-X [41], SIMPL [42]).

[37] Dietrich, M. et.al. (2022)

[38] Otto, B., & Jarke, M. (2019)

[39] GAIA-X. URL: https://gaia-x.eu/.

[40] Catena-X. URL: https://catena-x.net/

[41] Manufacturing-X. URL: ttps://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/DE/Manufacturing-X/Initiative/initiative-manufacturing-x.html

[42] SIMPL. URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/simpl-streamlining-cloud-edge-federations-major-eu-data-spaces-updated-october-2023

2.) **Vertrauenswürdige KI Systeme:** Eine vertrauenswürdige KI zeichnet sich durch drei Komponenten aus, die während des gesamten Lebenszyklus des Systems erfüllt sein sollten: a) Sie sollte rechtmäßig sein und somit alle anwendbaren Gesetze und Bestimmungen einhalten, b) sie sollte transparent und nachvollziehbar sein und somit die Einhaltung ethischer Grundsätze und auf Basis europäischer Werte garantieren, und c) sie sollte robust sein, und zwar sowohl in technischer als auch sozialer Hinsicht, da KI-Systeme selbst bei guten Absichten unbeabsichtigten Schaden anrichten können[43] (vgl. Ethik-Leitlinien für eine vertrauenswürdige KI (Unabhängige Hochrangige Expertengruppe für Künstliche Intelligenz, Juni 2018) sowie die Regelungen des EU AI Acts).

3.) **Systems & Software Engineering für adaptive und zuverlässige Systeme[44]:** Beherrschung der Systemkomplexität neuartiger, verteilter Softwarearchitekturen und Entwicklung einer neuen Generation von zuverlässigen, verteilten Softwaretechnologien zur Realisierung von Smart-Applikationen und -Services, die sich während ihrer Laufzeit an die sich ändernden Anforderungen anpassen.

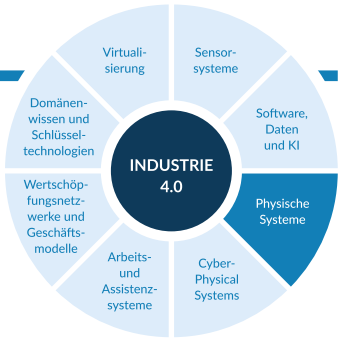
4.) **Software Life Cycle[45]:** Handlungsbedarf besteht auch in neuen Verfahren für den industriellen Software-Lebenszyklus: Automatisierte Analyse vorhandener Programmstrukturen, Reengineering, Reverse Engineering, der Umsetzungsstrategien bei Updatezyklen bzw. das kontinuierliche Ausrollen neuer Features. Das umfasst u.a. die Umstellung von existierenden Steuerungsstrategien in Richtung kognitiver Produktionssysteme.

5.) **Technische Infrastruktur:** Um der Forschung die Arbeit mit KI zu ermöglichen, sind Investitionen in die technische Infrastruktur notwendig. Dies kann die Bereitstellung von Ressourcen wie von GPU-Clustern umfassen. Vergleichbare Länder wie zum Beispiel die Niederlande sollten als Referenz herangezogen werden. Ohne eine adäquate Infrastruktur ist Experimentieren im Bereich der KI erschwert, was wiederum zu einem Mangel an qualifizierten Fachkräften führen kann und letztendlich Auswirkungen auf die Gründerszene und unternehmerische Innovationen hat.

[43] Europäische Kommission (2019)

[44] Hatcliff, J. et al. (2014)

[45] Sharma, T. et al. (2017)



3.4 PHYSISCHE SYSTEME

Autoren: *Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Franz Haas –Technische Universität Graz*
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Schledjewski † – Montanuniversität Leoben
Univ.-Prof. Dr. Klaus Zeman – Johannes Kepler Universität Linz

Im Maschinenbau lautet das Gebot der Stunde, die Komplexität von Fertigungssystemen nicht nur informations- und automatisierungstechnisch, sondern auch maschinenbaulich und damit physisch zu beherrschen. Gleichzeitig muss der Zielkonflikt zwischen technisch Machbarem und wirtschaftlich Leistbarem aufgelöst werden. Die aktuelle Situation an kritischen Rohstoffmärkten (Werkstoffe, Energie, Elektronikkomponenten), die durch stark steigende und schwankende Preise und ungewisse Lieferzeiten gekennzeichnet ist, aber auch die große Nachfrage nach Fachkräften mit technisch-naturwissenschaftlicher Ausbildung erschweren faktenbasiertes Entscheiden und nachhaltiges Wirtschaften. Die Pandemie und die dramatische geopolitische Gesamtsituation haben deutlich werden lassen, dass ein nachhaltiger Strukturwandel mit einhergehender Modernisierung in allen Sektoren der Produktion zwingend erforderlich ist. Dabei müssen die in den Sustainable Development Goals (SDG) definierten Entwicklungsziele zu fundamentalen Leitlinien des Handelns werden, damit Österreich auch weiterhin ein erfolgreiches Industrieland mit hoher Kompetenz in der Elektronik, im Maschinenbau und im verfahrenstechnischen Anlagenbau bleibt.

Die Vernetzung mit neuer Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Sensorik schafft für die physische Basis der „smarten“ Maschinenkonzepte ständig neue Chancen und Herausforderungen. In diesem Kontext werden 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 nachstehenden Themen definiert:

- Basissysteme (Werkstoffe, funktionale Oberflächen)
- Intelligente Teilsysteme (Komponenten, Module, Plattformen, Werkzeuge)
- Komplexe Gesamtsysteme (Geräte, Maschinen Anlagen „Smart Factory“)
- Verteilte Systeme (Autonome Systeme, Produktionslogistik)

Basissysteme
(Werkstoffe, funktionale Oberflächen)

Im Zuge des Paradigmenwechsels zu einer um Menschzentriertheit, Nachhaltigkeit und Resilienz erweiterten Industrie wird es zur Umstellung bzw. Weiterentwicklung aller Produktionsfaktoren kommen müssen. Die Kernelemente von Industrie 4.0, integrierte, virtuelle Produkt- und Produktionssystementwicklung sowie umfassende Vernetzung aller Systemobjekte, erfordern 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, Halb-

leitern und Leitern auch funktionale Materialien (z. B. für optimierte Sensoren, Aktuatoren) und nicht zuletzt die klassischen Strukturwerkstoffe, vor allem für den Leichtbau. Es sind dies Metalle, Keramiken, Polymere 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 damit die Produktionskosten. Ein wichtiges Forschungsgebiet repräsentiert das funktionale Oberflächendesign durch Oberflächenbehandlungen, Beschichtungen sowie durch verschiedenste Feinbearbeitungsverfahren. Eine zentrale Herausforderung stellt aus heutiger Sicht die Pulverentwicklung für die Metall-Additive-Serienfertigung der Zukunft dar. Über allem steht aber aktuell die Lösung offener Probleme zur Realisierung einer effizienten Kreislaufwirtschaft zur Schonung der Umwelt bei gleichzeitiger Reduktion bestehender Abhängigkeiten von kritischen Rohstoffen.

Intelligente Teilsysteme

(Komponenten, Module, Plattformen, 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. Die Komplexität und Testbarkeit von modernen, mechatronischen Systemen kann nur durch Modularisierung 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[46]. Das Wirkungsfeld eines Teilsystems im Gesamtkontext kann sehr treffend mit den Kürzeln „Internet of Things (IoT)“ und noch offener „Internet of Everything (IoX)“ charakterisiert werden. Die Intelligenz von Teilsystemen muss in Zukunft weiter erhöht und um Dimensionen (Fähigkeiten) wie etwa Entscheiden oder Verhandeln erweitert werden. Die Intelligenz immer komplexer werdender Gesamtsysteme kann damit auf Teilsysteme oder Plattformen (inklusive Edge Computing oder auch Cloud Computing) verteilt und „dezentralisiert“ werden. Den Teilsystemen mit erweiterter Intelligenz kann in der Folge ein höherer „Handlungsspielraum“ (level of autonomy) gewährt werden. Eine sinnvolle Gestaltung der dadurch ermöglichten Autonomie bzw. Teilautonomie der Teilsysteme soll dazu genutzt werden, die zunehmende Komplexität großer, verteilter Systeme besser zu beherrschen. Auf diesem Weg „von der Automatisierung zur Autonomisierung“ werden KI-Methoden eine wesentliche Rolle spielen.

Komplexe Gesamtsysteme

(Geräte, Maschinen, Anlagen, „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 mit Sicherheit in 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 (diverse computerunterstützte Anwendungen, CAx) als auch im Betrieb essenziell, da die Modellbeschreibung Voraussetzung für die Anwendung von „Machine Learning“ ist. In diesem Zusammenhang ist auch auf die Bedeutung der Robotik zu verweisen. Die Roboterzahlen und die Robotereinsatzgebiete in Industrie, Service und immer öfter auch zu Hause nehmen kontinuierlich zu. Wertschöpfung und Standortsicherung erfordern aber eine weitere Autonomisierung. Es besteht Aufholbedarf im Einsatz von Industrierobotern, da Österreich in den Statistiken derzeit nur am Ende

[46] Reinhart, G. (2017), S. 695

des Mittelfeldes mit einem Drittel der Roboterdichte von Deutschland oder Südkorea liegt[47]. Roboter und autonome Transportsysteme werden uns helfen, den Weg zu noch kleineren Losgrößen und rascher Rekonfigurierbarkeit der individualisierten Produktion erfolgreich zu gehen.

Verteilte Systeme
(Autonome Systeme, Produktionslogistik)

Die „Smart Factory" als zentraler Baustein von Industrie 4.0 muss in der Lage sein, die Komplexität in der Fertigung effizient und wenig störanfällig zu beherrschen. Wesentlicher Bestandteil einer Smart Factory ist Smart Logistics mit Themen wie Internet der Dinge, Physical Internet, Augmented Reality und autonome, zellulare, selbststeuernde Transportsysteme. Diese neuartigen Transportsysteme ermöglichen die flexible Verkettung der Maschinen in automatisierten Fertigungssystemen. Damit die zunehmende Anzahl an Teilsystemen in einem großen verteilten System bestmöglich zusammenwirken kann, müssen die Teilsysteme mit hoher Interoperabilität (Vernetzbarkeit) ausgestattet werden. Kompatibilität und Standardisierung spielen hier eine wesentliche Rolle. Die Skalierbarkeit und Resilienz solcher Systeme sind dabei Voraussetzungen, um den sich ändernden Rahmenbedingungen gerecht zu werden.

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

Werkstoffe: Es gilt, maßgeschneiderte Werkstoffe (Keramiken, Polymere, Metalle und Verbundwerkstoffe) für Industrie 4.0 mit optimierten Eigenschaften für Produkt und Produktion zu entwickeln[48]. 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, Verschleißfestigkeit, 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 Metalle, Polymere, Keramiken und Verbundwerkstoffe muss schneller, prozesssicherer, kostengünstiger 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, Polymere und Verbundwerkstoffe) ist hierbei zu erzielen.

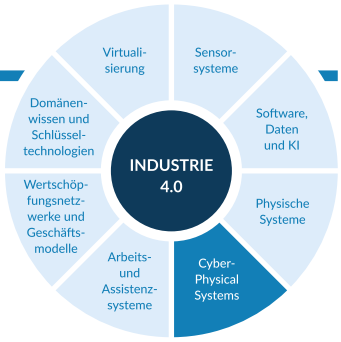
[47] IFR-Study (2017)

[48] Mayrhofer, P. et al. (2015)

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[49]. 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 und Autonomisierung der nächsten Generation muss sich der Herausforderung stellen, mit dem Menschen bei einem Höchstmaß an Sicherheit zusammenzuarbeiten. Assistenzsysteme helfen wiederum bei der Bedienung, Schulung und Instandhaltung von Produktionssystemen. Alle konstruktiven Maßnahmen müssen dem Ziel nach höchstmöglicher Energie- und Ressourceneffizienz der Anlagen, insbesondere durch Nutzung aller Leichtbaupotentiale, entsprechen. Zudem sind die Forderungen nach hoher Anlagenverfügbarkeit sowie nach Versorgungssicherheit für Ersatz- und Verschleißteile über den Lebenszyklus hinweg zu erfüllen.

Logistik: Um Smarte Logistik zu verwirklichen, bedarf es der Entwicklung autonomer, zellularer, selbststeuernder Transportsysteme, die idealerweise mit standardisierten Schnittstellen zu den Produktionsanlagen und Lagereinrichtungen der „Smart Factory“ ausgestattet sind. Die Rechenleistung und das Datenmanagement dieser Systeme sollte nicht redundant, sondern über Rechenserver durchgängig und konsistent verfügbar sein („single source of truth“), und die Transport- und Steuerungsbefehle müssen über schnelle Datenverbindungen (z. B. 5G-Campusnetz) erfolgen. Die Lagerlogistik ist nach gesamtwirtschaftlichen Gesichtspunkten und Ökobilanzen zu planen. Verteilzentren von vor Ort produzierten Gütern (z. B. 3D-Druck) sind ebenso ins Kalkül zu ziehen wie die Rückführung gebrauchter Waren, deren automatisiertes Demontieren und Rückführen in Produktionskreisläufe, wozu deren „Kreislauffähigkeit“ im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft kontinuierlich zu erhöhen ist.

[49] Haas, F. et al. (2015)



3.5 CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Autor: *Dr.-Ing. Fazel Ansari – Dipl.-Ing. Steffen Nixdorf – Technische Universität Wien*
Forschungsgruppe Produktions- und Instandhaltungsmanagement

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“ [50]. CPS sind 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“ [51], aufweisen (vgl. Abbildung 3). 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 [52].

Hierbei handelt es sich um eine Erweiterung durch die menschliche Komponente über den social space (vgl. Abbildung 3).

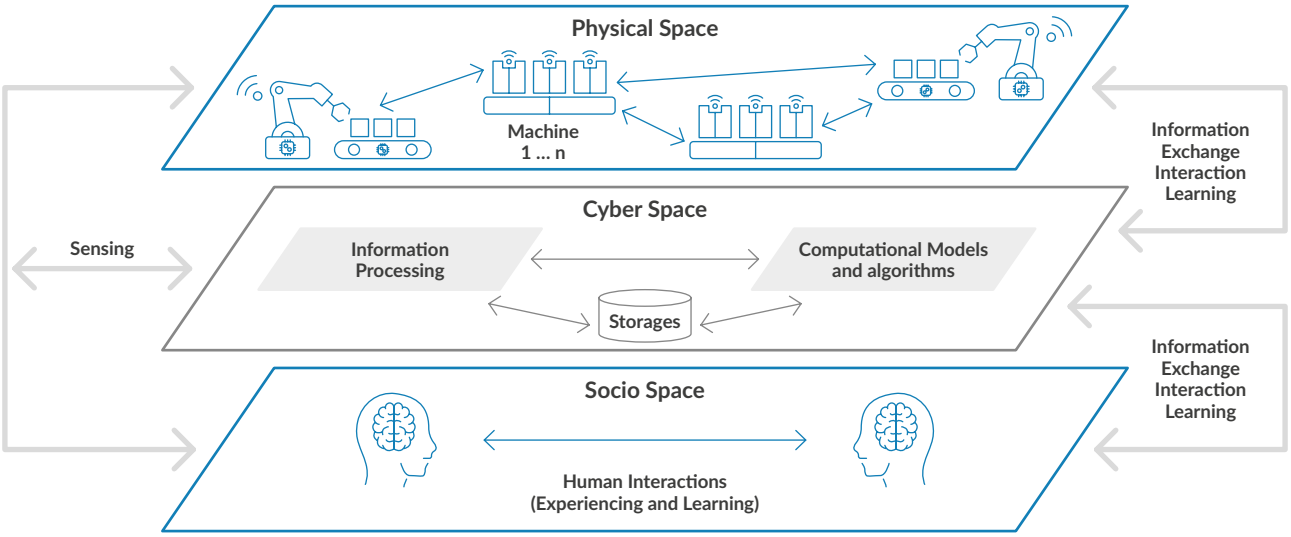


Abbildung 3: Integration des Cyber-phyiscal-social-Raum (adaptiert nach 53)

[50] Lee, E.A. et al. (2015)

[51] Wang, F. Y. (2010)

[52] Zhuge, H. (2011)

[53] Ansari, F. (2018), pp. 91-106

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“ [54]. Aus Sicht der Systemgestaltung zielt das Human-Centered CPS, als eine Klasse der Open Socio-technical Systems [55], darauf ab, eng mit dem Menschen zu interagieren und zusammenzuarbeiten. Damit soll ein gemeinsames Ziel erreicht werden (z. B. Verringerung 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 [56] [57]. CPPS bereichern die Kommunikation innerhalb des Cyber-physical-social-Raums in der Produktionsumgebung und ermöglichen eine gewisse Entscheidungsautonomie des Systems durch Integration von (menschlicher) Kognition – z. B. mittels Modellierungstechniken aus der Künstlichen Intelligenz (KI). 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“ [58]. 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. Speziell die Robotik gewinnt für die Steigerung von Produktivität und Ergonomie im Produktionsalltag an Bedeutung, nicht zuletzt wegen neuer Entwicklungen in Richtung kollaborativer Roboter, deren Einsatzgebiet in unmittelbar menschlicher Umgebung verortet ist.

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/sozialen (nichttechnologischen) Aspekten betrachten.

[54] Wang, F. Y. (2010)

[55] Geisberger, E. et al. (2012)

[56] Acatech (2013)

[57] Monostorie, L. et al. (2016), pp. 621-641.

[58] Lee, E.A. et al. (2015)

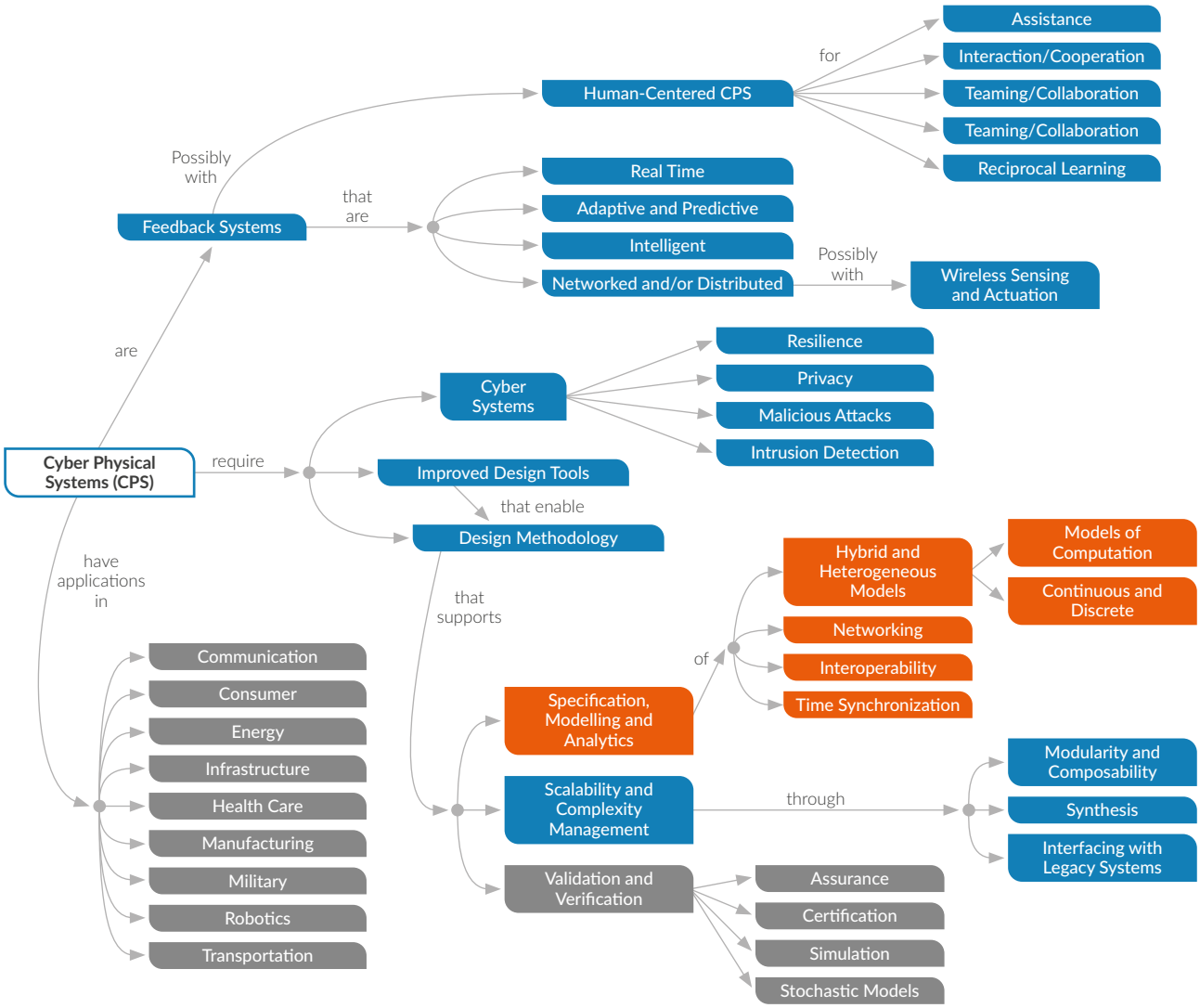


Abbildung 4: Eine Konzeptkarte von CPS (adaptiert nach 61)

Forschungs- und Handlungsbedarf im Bereich der Cyber-physical Systems gibt es zu folgenden Themenfeldern: (adaptiert nach 59 60 61)

Kompositionalität: Kompatibilitätsprobleme können aufgrund der Integration von heterogenen Cyber- und physikalischen Aspekten von CPS, d. h. bei der Systemintegration beider Systemwelten und cyberphysikalischen Systemsystemen (CPSoS), auftreten. Die erforderliche Konvergenz zwischen Informations- und Betriebstechnologie (IT/OT) stößt hier auf Widerstände, die sich mittels Vernetzung (Internet of Things – IoT) zwischen Aktuatoren, Sensoren und IT bewältigen lassen. Schlussendlich bietet dies jedoch große Potentiale für effizientes Asset Management entlang der Wertschöpfungskette, über Hersteller, Betreiber und Service-Provider.

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

[59] Ansari, F. et al. (2016)

[60] CPS Summit (2008)

[61] Ansari, F. et al. (2020)

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 von CPS ist die (kognitive) Fähigkeit, effektiv mit verschiedenen Arten von Endbenutzern auf verschiedenen Qualifikations- und Kompetenzlevels durch den Einsatz von Mensch-Maschine-Schnittstellen zu kommunizieren.

Extrahieren von Wissen aus heterogenen Datenquellen: Die Verarbeitung von Rohdaten, die in strukturiertem, halbstrukturiertem und nichtstrukturiertem Format sowie verschiedenen Qualitäts- und Wahrnehmungs-Leveln 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 (generative) KI, insbesondere Predictive/Prescriptive Data Analytics und Deep Learning (siehe Kapitel 3.8).[62]

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. Besonders die Integration von daten-basierten und physikalischen Modellierungsansätzen (hybrid) hinsichtlich der Sicherstellung von semantischer Interoperabilität der CPPS, d. h. gegenseitige Verständlichkeit der kommunizierenden Systeme, bedarf weiterer Forschung.

Kognitiver/Digitaler Zwilling: Während CPS bzw. CPPS bereits einen Teil der cyber-physischen Interaktion und Integration aufweisen, benötigt die Umsetzung eines digitalen Zwillings weitere Anstrengungen um den gegenseitigen Informationsfluss (Feedback Loops) zu optimieren[63]. Digitale Zwillinge sind virtuelle Modelle physischer Systeme, die nicht nur zur Repräsentation, sondern auch für Analysen und Steuerungszwecke in Echtzeit verwendet werden können.

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.

(Open Access) 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 großer Datenmengen (Echtzeit) zwischen Subsystemen, Systemsystemen und Umgebungen. Eine große Chance bieten Open Source Lösungen, deren Zugänglichkeit zur Demokratisierung von CPS-Technologie beiträgt.

[62] Ansari, F. (2020)

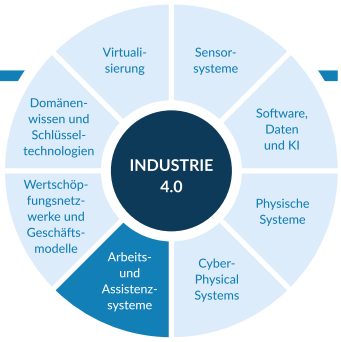
[63] Zheng, X., Lu, J., & Kiritsis, D. (2021)

Verifizierung, Tests, (Sicherheit)Zertifizierung und Richtlinien: CPS erfordern neue Ansätze zur Verifizierung und für Tests, um potenzielle 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. Hier spielt auch die Identifikation und gegebenenfalls auch das Tracking der Produkte und Komponenten eine Rolle, wofür, bspw. Security Labels mittels Barcode oder RFID-Technologie vermehrt schon in der Konzeptionierung eingesetzt werden können.

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. In dieser Hinsicht zielt die Strategieentwicklung der Europäischen Kommission auf die Etablierung menschzentrierter, nachhaltiger und resilienter Transformation zur Konzeption der Industrie 5.0 ab [64].
Nachhaltigkeit: CPS können einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Produktion leisten, besonders im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit, z. B. Netto-Null-Emissionen. Dies ist nicht nur auf Basis der Material- und Produktebene, sondern auch der Prozessebene möglich. CPS können auf diese Weise den Ressourceneinsatz, besonders hinsichtlich Energieeffizienz, kontrollieren und optimieren. CPS werden im Zuge der Twin Transformation, der gemeinsamen Entwicklung digitaler und nachhaltiger Geschäftsmodelle [65], eine zentrale Rolle einnehmen.

[64] European Commission (2021)

[65] Accenture (2021)



3.6 ARBEITS- UND ASSISTENZSYSTEME

Autor: *MMag. Dr. Sabrina R. Sorko – FH JOANNEUM Institut Industrial Management;*
Mag. Sabine Varetza-Pekarz – incorporate future KG

Seit über 10 Jahren prägt die Einführung intelligenter Produktionssysteme unter dem Schlagwort Industrie 4.0 die Industrie [66]. Das zunehmende Ineinandergreifen von Mensch und Maschine führt zu einer signifikanten Veränderung der Aufgaben- und Tätigkeitsprofile der Arbeitnehmer:innen sowie der gesamten Arbeitsorganisation. [67] Die Fülle an technologischen Möglichkeiten und deren rasante Entwicklung lösen in Unternehmen immer wieder Sondierungsphasen im Bereich technologischer und sozialer Innovation aus.

Drei Szenarien der Digitalisierungsausprägung

Zu den daraus folgenden Aussichten und der Zukunft der Arbeit existieren nach wie vor heterogene, teils widersprüchliche Perspektiven, welche in der Expert:innengruppe „Arbeit 5.0" der Plattform Industrie 4.0 und der korrespondierenden Publikation „Arbeitsorganisation im Zeitalter der Digitalisierung" [68] thematisiert werden: [69]

- Das Automatisierungsszenario beschreibt die Entwertung menschlicher Arbeit, während die Technologie sämtliche Kontroll- und Steuerungsaufgaben übernimmt.
- Im Werkzeugszenario 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.

Welche Ausprägung sich durchsetzen wird, hängt von vielen Faktoren ab, wobei davon auszugehen ist, dass das Automatisierungsszenario zumindest aktuell unwahrscheinlich ist. Die technologischen Entwicklungen bergen zwar ein hohes Digitalisierungspotential der Arbeit, jedoch ist nur ein Teil davon sinnvoll zu schöpfen. Insbesondere wurde in den vergangenen Jahren die wesentliche Rolle des Menschen als Entscheider:in in ungeplanten bzw. unvorhersehbaren Situationen deutlich. Die große Bedeutung menschlicher Arbeitskraft veranlasste die Erarbeitung humanzentrierter Erweiterungen von Cyber-Physischen Systemen (CPS), die neben der Verbindung des physischen und digitalen Raums menschliches Wissen integrieren. [70] Dies unter der Voraussetzung, dass entsprechende Daten in hoher Qualität digital verfügbar sind. 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 arbeitserleichternd unterstützt.

[66] Kagerman, H., Lukas, W.-D. & Wahlster, W. (2011)
[67] Lindner, D.(2020)
[68] Verein Industrie 4.0 – die Plattform für intelligente Produktion (2017a)
[69] Buhr, D. (2015)
[70] Dombrowski, U., Riechel, C. & Evers, M. (2014); Hadorn, Courant, Hirsbrunner (2016); Hirsch-Kreinsen (2015)

Beobachtungen aus der betrieblichen Praxis verdeutlichen dies und 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. Dies impliziert jedoch, dass es auch Tätigkeiten geben wird, welche hinkünftig nicht mehr oder nicht mehr allein von Mitarbeiter:innen sondern im Sinne der Automatisierung von oder unterstützt durch Maschinen abgewickelt werden. Die optimale Umsetzung neuer Technologien hängt dabei stark von der Bereitschaft, Qualifikation und Kompetenz der Belegschaft ab.[71] Aus heutiger Perspektive sprechen also viele Gründe für das Werkzeugszenario als sinnvolle Gesamtstrategie für die Zukunft, dies wird auch von der Europäischen Kommission unter dem Titel Industrie 5.0 – Humanzentrierter Einsatz von Technologie postuliert.[72] Die Menschen werden zur Schlüsselfigur im Spiel um die Nutzung neuer Technologie.

Triple-Bottom-Denkhaltung als essentieller Faktor

Die erfolgreiche Einführung von umfassenden Industrie-Technologien führt somit nicht zu einem Konkurrenzkampf Mensch gegen Maschine, sondern thematisiert die bestmögliche Gestaltung und Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine. Dies wirft zugleich eine zweite wichtige Frage auf, nämlich die nach dem Einsatzziel neuer Technologien bzw. dem Nutzen, der daraus gezogen werden soll. Die jüngsten volkswirtschaftlichen Entwicklungen stellen Unternehmen vor neue Herausforderungen. Covid-19, demografischer Wandel, die Klima-, Energie- und Gaskrise sowie der Russland-Ukraine Krieg erfordern ein Umdenken, um nachhaltig erfolgreich bestehen zu können. Globale Organisationen wie die United Nations (17 SDGs)[73] oder die Europäische Kommission[74] treiben diesen Mindset-Shift aktiv voran. Thematisiert werden, neben Aspekten der ökologischen Nachhaltigkeit, der humanzentrierte Einsatz neuer Technologie sowie die Nutzung der technologischen Potentiale zur Stärkung der organisationalen Resilienz. Der Einsatz von I4.0 Technologie zu diesen drei Zwecken wird als „Industrie 5.0“ beschrieben.[75] Damit wird die Brücke geschlagen zum Konzept der „Triple Bottom Line“ bzw. dem Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit. Demnach ist davon auszugehen, dass die drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales für eine zukunftsfähige und nachhaltige Entwicklung in Ausgleich zu bringen sind. Diese bereits in den 1990er Jahren geführte Diskussion, basierend auf dem Brundtland-Bericht[76] der Vereinten Nationen, hält nun auch Einzug in die Industrie. Daraus abgeleitet kann also proklamiert werden, dass eine primär (oder gar ausschließlich) ökonomische Zielsetzung den aktuellen Gegebenheiten nicht entspricht und nicht ausreichend ist, sondern dass – im Sinne einer nachhaltigen unternehmerischen Denkhaltung – auf die drei Säulen bei der Nutzenbetrachtung Bezug zu nehmen ist. Daraus folgt: **Die jeweilige Denkhaltung ist ein essenzieller Faktor in der Einführung von Technologien im Sinne von Industrie 5.0; denn diese prägt das normative, strategische und operative Management von Unternehmen und damit in weiterer Folge die Arbeit bzw. das Arbeitssystem.**

Potenziale von Industrie 4.0 bzw. 5.0 – „Werkzeugszenario“

Wird nun die Einführung neuer Technologien vertiefend betrachtet, so beeinflusst dies natürlich in ihrer jeweiligen Ausprägung die Arbeit von Mitarbeiter:innen und Führungskräften in unterschiedlicher Weise und bringt für die Organisationen ein Bündel an Chancen und Risiken, die es jeweils zu beleuchten gilt. Die folgenden Ausführungen geben einen kurzen Abriss einer SWOT-Betrachtung der Einführung von Technologien im Sinne des Werkzeugszenarios.

[71] Deuse, J. et al. (2015); Dombrowski, U., Riechel, C. & Evers, M. (2014); Hirsch-Kreinsen, H. (2015)

[72] European Commission (2021)

[73] United Nations (2022)

[74] European Commission (2021)

[75] European Commission (2021

[76] Hauff, V. (1987), S. 46

Intelligente, multimodale Assistenzsysteme entsprechen ganz dem Grundgedanken des Werkzeugszenarios. Diese werden mit dem Ziel eingeführt, aktive Arbeitserleichterung in Echtzeit zu erreichen und dadurch die individuellen Arbeitssituationen zu verbessern. Neben **Steigerung der Ergonomie** am Arbeitsplatz bieten insbesondere Extended Reality Technologien (hier Augmented und Mixed Reality) vielfach Potentiale. Durch das Anreichern der Realität mit virtuellen Informationen[77] können beispielsweise durch Remote Assistance Weg- und Reisezeiten reduziert, oder durch den ortsunabhängigen Zugriff auf Daten und Systeme Prozesszeiten optimiert werden. Derartige Assistenzsysteme sind in der Lage, individuelle Nutzer:innenprofile zu erstellen und on demand Unterstützungsleistungen an die konkreten Bedürfnisse des Nutzers bzw. der Nutzerin anzupassen. Daraus ergibt sich neben Prozessoptimierungspotenzialen die Möglichkeit, Lernsequenzen unterschiedlicher Ausprägung und Komplexität einzubetten, was ein breiteres Spektrum der betrieblichen Weiterbildung eröffnet.[78] Dies trägt dazu bei, dass die **Grenze zwischen Arbeit und Lernen zunehmend fluider** werden kann (z. B. On-Demand-Learning am Arbeitsplatz). Um optimale Arbeitsbedingungen und Lerneffekte zu erzielen, müssen multimodale Assistenzsysteme so gestaltet werden, dass sie das vorhandene Prozesswissen und die individuellen Anforderungen der Mitarbeiter:innen berücksichtigen. Im Sinne von Human-Centered Computing liegt das Hauptaugenmerkt dabei auf der Wechselwirkung bzw. Interaktion zwischen menschlichem Arbeitsverhalten, Organisation und Prozessen bzw. Prozesstechnologien. Nachhaltig betrachtet, ermöglichen Assistenzsysteme auch eine **inklusive Personalpolitik**. Personen mit körperlichen Nachteilen, Sprachbarrieren oder Qualifikationsdefiziten können in der Industrie eingesetzt werden. Ortsunabhängige, digitale Maschinensteuerungen machen sogar Formen der Telearbeit in der Produktion möglich. Zudem kann durch eine adäquate Datenaufbereitung industrielle Entscheidungsfindung auch am Shopfloor forciert werden (Empowerment am Shopfloor). Dadurch werden Unternehmen wendiger und es kommt zu einer Aufwertung und Attraktivierung von Produktionsarbeit. Neue Technologie kann also **dem Fachkräftemangel entgegenwirken, sofern die Wandlungsbereitschaft dahingehend gegeben ist**.[79]

Neben den erwähnten positiven Effekten in Bezug auf die innerbetrieblichen Abläufe, ermöglichen es Assistenzsysteme darüber hinaus auch durch neue, digital gestützte Services oder Geschäftsmodelle die betriebliche Wertschöpfungskette zu verlängern. Daraus ergibt sich ein großes Potential für den Standort Österreich in nahezu allen Branchen.

Zusammengefasst ergeben sich also aus dem Werkzeugszenario folgende Potenziale für die Organisationen sowie auch individuell für die Mitarbeiter:innen:

- Kosten- und Zeitersparnis durch Optimierung von Wegzeiten sowie Prozessoptimierungen
- Steigerung der Ergonomie am Arbeitsplatz und Arbeitserleichterung für die Mitarbeiter:innen
- Individualisiertes On-Demand-Learning am Arbeitsplatz
- Inklusive Personalpolitik in Zeiten des Fachkräftemangels
- Erweiterte Potenziale für Telearbeit
- Attraktivierung von Produktionsarbeit
- Neue Services und Geschäftsmodelle

Als neuer Technologiestrang können beispielsweise kollaborative Roboter genannt werden; also Roboter, die durch sensitive Sensorik in der Lage sind, gemeinsam mit dem Menschen in direkter Kollaboration Aufgaben zu erfüllen. 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.[80]

[77] Chuah, S. H. (2020), S. 205

[78] Peddie, J. (2017), S. 89

[79] Sorko, S. (2022)

[80] Wallhoff, F., Vox, J. P., Theuerkauff, T. (2018), S. 102f.

Grenzen und Risiken der Technologien

Im Sinne des SWOT-Gedankens ist es auch wesentlich, sich mit den Grenzen und Risiken der Technologien auseinander zu setzen. Die betriebliche Praxis zeigt z. B. im Bereich der kollaborativen Robotik unterschiedliche Herausforderungen, die aktuell noch nicht vollends gelöst sind. Die Arbeit mit kollaborativen Robotern verlangt **erhöhte Sicherheitsvorkehrungen** sowie wiederkehrende Unterweisungen und Schulungen der Mitarbeiter:innen. Die dadurch entstehenden Kosten liegen aktuell noch über dem direkt messbaren Einsparungspotential, weshalb die industriellen Einsatzfelder derzeit noch beschränkt sind. Weiters löst der technologische Eingriff in bisherige **Bewegungs- und Arbeitsabläufe Folgeerscheinungen** aus. Dazu zählen beispielsweise die Änderung der Hebemuster bei der Nutzung von Exoskeletten, oder die Langfristauswirkung auf Konzentration, Gleichgewichtssinn und Sehvermögen von Extended Reality Technologien. Diese sind bislang jedoch nur bedingt erforscht und es kann keine valide Aussage zum heutigen Stand getroffen werden. Einig ist sich die Forschung jedenfalls darin, dass die erhöhte Bildschirmarbeit zu einem Abfall des Sehvermögens führt, und die erhöhte Flexibilität des Arbeitens aufgrund mobiler Technologien das Stressniveau hebt. Dazu kommt eine Reihe an individuellen **physischen und psychischen Auswirkungen**, welche im Einzelfall zu beurteilen sind. Beispielsweise betrifft dies die jeweils individuelle Fähigkeit virtuell zu arbeiten oder mit der steigenden Arbeitsgeschwindigkeit umzugehen. Demnach ist die Beiziehung von Arbeitsmedizinern beim Einsatz von humanzentrierten Technologien jedenfalls zu empfehlen. Auch in Bezug auf die digitale Datenverarbeitung bestehen Herausforderungen. So können die Potentiale der Technologie nur dann genutzt werden, wenn die Daten in einer hohen Qualität verfügbar sind. Dazu kommen **rechtliche und ethische Aspekte** bei der Verwendung der Daten insbesondere dann, wenn personenbezogene Daten und individuelle Nutzerprofile beispielsweise durch Kamerasysteme betroffen sind bzw. sein könnten. Die Zusammenarbeit und Abstimmung mit Arbeitnehmer:innen-Vertreter:innen ist an dieser Stelle als besonders wertvoll zu betonen.

Industrie-5.0 als Organisationsentwicklungsfrage

Wie aus den bisherigen Ausführungen ersichtlich ist, steckt im Einsatz von Industrie-4.0-Technologien im Sinne von Industrie-5.0 jedenfalls ein großes Potenzial. Um diese jedoch tatsächlich heben zu können, ist neben der Beachtung der erwähnten Grenzen und Risiken vor allem **der Einführungs- und Umstellungsprozess sorgsam zu planen, professionell aufzusetzen und zu begleiten**. Maßgebend für eine erfolgreiche Veränderung werden, neben Technik- und Softwarearchitekturen vor allem **neue Organisationsmodelle von Arbeit sowie umfassende und adäquate Weiterbildungs- und Qualifikationsaktivitäten** sein.[81] Bezogen auf den letzten Punkt veröffentlichte die Expert:innengruppe Arbeit 5.0 der Plattform Industrie 4.0 ein Ergebnispapier, das Antworten und Inputs zu Qualifikations- und Kompetenzanforderungen gibt.[82]

Eine digitale Produktion bedeutet nicht nur, von einer Technologie auf eine andere zu wechseln oder „Technologie einzuführen". In Anlehnung an *McKinsey*[83] und die bisherigen Ausführungen kann festgehalten werden, dass es bei Industrie 4.0 respektive Industrie 5.0 vor allem darum geht, die Kultur, sowie die Art des Arbeitens zu transformieren. Dieser Aspekt ist in Fragen der Agilität als eindeutig größter Enabler- oder Disabler- bezeichnet worden und der Einfluss in Hinblick auf Industrie-5.0 wird wohl noch größer sein. Die Organisationskultur umfasst nach Schein „die Summe aller gemeinsamen, selbstverständlichen Annahmen, die eine Gruppe in ihrer Geschichte erlernt hat. Sie ist der Niederschlag des Erfolgs."[84] Dies macht eine Kulturveränderung herausfordernd und eine Organisationsveränderung in einer solchen Tragweite kommt daher auch einem transformativen Wandel gleich. In diesem Zusammenhang müssen „die Erfolgsstrategien der Vergangenheit und die tief verwurzelten,

[81] Mühlbradt, T., Kuhlang P. & Finsterbusch, T. (2018)

[82] Verein Industrie 4.0 – die Plattform für intelligente Produktion, (2017b).

[83] De Smet, A., Lurie, M. & St George, A. (2018), S. 7.

[84] Schein, E. H. (2003), S. 44

selbstverständlichen, nicht mehr bewussten Annahmen [auf ihre Gültigkeit überprüft und gegebenenfalls] durch neue ersetzt werden.“ [85] Es ist essenziell, diese Tragweite des Wandels zu erkennen und die Frage nach der Veränderungsfähigkeit und Veränderungsbereitschaft der Organisation zu stellen. Neben der Souveränität, in Bezug auf die aktuelle (technologische) Basis, und der Offenheit gegenüber Veränderung braucht es dazu vor allem zweierlei: Eine tatsächlich erlebte Dissonanz, also echtes Unbehagen mit der aktuellen Situation, und die Einsicht, dass die avisierte Lösung eine vielversprechende ist. [86] Und dies nicht nur auf Ebene der Führungskräfte, sondern auch der Mitarbeitenden, die diese Veränderung und den Change-Prozess mittragen müssen, damit er zu einem Erfolgsmodell werden kann.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass nachhaltiger Erfolg keine rein technologische Frage mehr ist, sondern eine Frage der Menschen und der Organisationslogik. Es braucht einen ganzheitlichen Ansatz, wenn die Potentiale von Technologie und Daten im Sinne von Industrie 5.0 genutzt werden wollen. In diesem Zusammenhang zeigt sich aktuell folgender konkreter Forschungs- und Handlungsbedarf, wobei erste Initiativen national und europaweit bereits initiiert wurden. [87] So liegt z. B. im multinationalen, von der EU geförderten, Projekt BRIDGES 5.0 der Fokus auf der Frage, welche Kompetenzen Personen und Organisationen in Zukunft benötigen, um fit für die Industrie 5.0 zu sein.

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

Industrie 5.0: Das hohe Wohlstandsniveau, verbunden mit den technologischen Möglichkeiten, und die vorherrschenden Krisensituationen haben ein Umdenken initiiert. Vorrangige Gewinnorientierung von Unternehmen wird vermehrt kritisiert und der Wunsch nach einem sozial und ökologisch nachhaltigen Einsatz von Technologie wird lauter. Zudem haben Unternehmen die Bedeutung von Resilienz erkannt. Forschungs- und Handlungsbedarf besteht auf mehreren Ebenen. Zunächst im Bereich der Bewusstseinsbildung für die Notwendigkeit des Umdenkens insbesondere bei Unternehmen. Weiters in der Frage, wie österreichische Unternehmen diese Anforderungen im globalen Wettbewerb erfüllen sollen. Dies vor dem Hintergrund von drohenden Wettbewerbsnachteilen, da nicht alle Staaten Industrie 5.0 vorantreiben. Letztendlich kommt die Frage der ganzheitlichen Betrachtung im Sinne von Industrie 5.0 auf die österreichischen Unternehmen jedoch unweigerlich zu. Der sich daraus ergebende Handlungsbedarf ist, wie oben skizziert, vor allem aus dem Punkt abzuleiten, dass eine Umstellung auf Industrie 4.0 bzw. 5.0 letztendlich einer Kulturveränderung und damit eines transformativen Wandels in den Organisationen bedarf. Forschungsbedarf zeigt sich hier in vielfältiger Hinsicht vor allem mit der Zielsetzung, Guidelines für die Praxis zur Verfügung zu stellen. Konkret wäre es sinnvoll, Enabling- und Disabling-Faktoren für den transformativen Kulturwandel zu erheben bzw. auch eine fundiert aufbereitete Best-Practice-Sammlung zur Verfügung zu stellen.

Arbeitsorganisation: Um zweckmäßige und nachhaltige Produktionsprozesse im Kontext Industrie 4.0 und Industrie 5.0 zu gewährleisten, bedarf es der weiteren Untersuchung des Wirkverhältnisses zwischen den Bereichen Organisation, Technik und Mensch in der Industrie. Hierunter fallen auch die Entwicklung der Kategorisierung und Systematisierung von Modelltypen, der Aufbau von Klassifizierungskonzepten, die Rekonfigurierbarkeit von Produktionssystemen und die Arbeits- und Organisationspsychologie:

[85] Varetza-Pekarz, S. (2016), S. 204

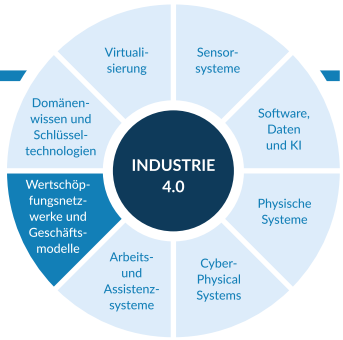
[86] Varetza-Pekarz, S. (2016), S. 194ff.

[87] European Commission (2021)

Kompetenzen: Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht in der Detektion und im Aufbau von Industrie 4.0 sowie Industrie 5.0 Kompetenzen auf Mitarbeitenden- sowie Führungskräftelevel. Dies sowohl auf Anbieter- als auch Nutzer:innenseite, also in der Entwicklung als auch im Umgang mit neuen Technologien. Insbesondere die Fragen 1. wie finden Organisationen ihren digitalen Weg und 2. welche Implikationen hat Industrie 5.0 auf die Fähigkeiten und Fertigkeiten von Mitarbeitenden und Führungskräften, gilt es zu untersuchen. Zudem erzeugt die aktuelle Situation Handlungsbedarf bei Organisationen im Bereich der organisationalen Veränderungsfähigkeit. Hier ist insbesondere auf Multi-Change Management hinzuweisen.

Assistenztechnologien und deren Folgeerscheinungen: 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. Untersuchungsbedarf besteht in den Folgeerscheinungen beim Einsatz neuer Technologien. Dazu sind Langzeitstudien zur Erhebung der psychischen- und physischen Be- und Entlastungsfaktoren nötig. In Verbindung mit dem Fachkräftemangel gilt es auch das Potential von Assistenztechnologien als Enabler für neue Gruppen von Beschäftigten im Sinne der Inklusion zu untersuchen.

Aktualität rechtlicher Rahmenbedingungen: Auf nationaler Ebene ist es wesentlich, die Entwicklungen der aufgezeigten Handlungsfelder auch entsprechend rechtlich zu verankern. Dies bedarf intensiver Untersuchungen, inwieweit die herrschenden rechtlichen Rahmenbedingungen zu adaptieren sind, um die Potenziale nutzen zu können und inwieweit der rechtliche Rahmen als Sicherungsmechanismus zum Schutz der Menschen dienen muss (z. B. Datenschutz). Reallabore, („Regulatory Sandboxes“) könnten mit entsprechender wissenschaftlicher Begleitung handlungsweisend sein.



3.7 WERTSCHÖPFUNGSNETZWERKE UND GESCHÄFTSMODELLE

Autor: *Dr. Gert Breitfuss – Know-Center GmbH*
Assoc.-Prof. Dr. Viktoria Pammer-Schindler – Know-Center GmbH & TU Graz
Univ.-Prof. Dr. Stefanie Lindstaedt – I:TU

WERTSCHÖPFUNGSNETZWERKE UND GESCHÄFTSMODELLE

Zentrale Charakteristika von Industrie 4.0 sind die Verfügbarkeit von Daten und Informationen zu bestehenden Geschäftsprozessen, gepaart mit einem hohen Grad an Autonomie und Automatisierung. Damit ist eine Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen realisierbar. Durch diese Vernetzung, in der Daten die Schlüsselressource sind, entstehen dynamische, sich selbst organisierende und unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke. Dies ermöglicht die Verbesserung der Wertschöpfungsprozesse bzw. die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. Angebot und Nachfrage von Produkten und Services („Service Engineering"), so die Vision, werden zukünftig automatisch über Unternehmensgrenzen hinweg angeglichen und zu wertschöpfenden Prozessen verbunden.

In den nun möglichen datenbasierten Geschäftsmodellen werden aus Daten (z. B. Prozess-, Produkt-, oder Supply Chain Daten) mit modernen Datenanalysemethoden Erkenntnisse gewonnen, die relevante Problemstellungen des Kunden lösen.[88] Dazu sind für Unternehmen – neben anderen Faktoren – zwei Voraussetzungen notwendig: (i) Kundennähe, um ein Verständnis über die Probleme und Aktivitäten der Kunden zu bekommen und (ii) Data Analytics Kompetenzen, um aus Daten Erkenntnisse zu generieren[89]. Die dabei entstehenden Datenservices oder Datenprodukte können zur Wertsteigerung in verschiedenen Bereichen des Geschäftsmodells beitragen, wie etwa zur Optimierung von Produktionsprozessen oder Supply Chain Prozessen hinsichtlich Kosten und/oder Qualität. Bestehende Produkte und Services können mit Daten kombiniert bzw. aufgewertet werden und somit einen Zusatznutzen für den Kunden stiften. Bestenfalls trägt ein solches Datenservice zur Problemlösung beim Kunden bei oder verbessert das Nutzungserlebnis des Produkts. Daten oder neue Datenservices können auch zur Erschließung neuer Erlösmöglichkeiten genutzt werden. Ein Beispiel ist die Individualisierung des Werteversprechens auf Basis des Nutzungsverhaltens, durch die Entwicklung von komplett neuartigen Services oder durch den Verkauf von Rohdaten über spezifische Datenmarktplätze[90].

Die Transformation der Industrie durch Digitalisierung und Datennutzung wird zukünftig auch Nachhaltigkeitsziele, wie das Streben nach Energieeffizienz und eine bestmögliche Vermeidung von Abfällen und Verschwendungen, in Produktionsprozessen mit einbeziehen („Twin Transition"). Datenanalysen können dabei helfen, etwaige Ineffizienzen systematisch und laufend

[88] Fruhwirth, M. et al. (2021).
[89] Wixom, B. H. & Ross, J. W. (2017)
[90] Breitfuß, G. et al. (2019)

aufzuzeigen. Dieser Weg in Richtung Kreislaufwirtschaft wird aufgrund von regulatorischen Anforderungen der EU (Green Deal), sowie aufgrund steigender Rohstoffpreise, auch die Anpassung bestehender Geschäftsmodelle nach sich ziehen.[91]

Auch die Erhöhung der Resilienz von Lieferketten ist durch aktuelle Krisen relevant für Unternehmen und deren Geschäftsmodelle. Der Einsatz digitaler Technologien kann dabei helfen, Lieferketten im Fall von Disruptionen (Naturkatastrophen, wirtschaftliche Sanktionen etc.) durch erhöhte Transparenz und damit ermöglichtes rechtzeitiges Reagieren zu stabilisieren. Dies gelingt zum Beispiel mittels sicherem unternehmensübergreifenden Datenaustausch entlang globaler Lieferketten durch Nutzung von sogenannten Datenräumen. Hier gibt es bereits zahlreiche Initiativen wie Gaia-X[92] oder IDSA[93] bzw. standardisierte Plattformen und Konnektoren. Zentrale Aspekte bei der Nutzung von Datenräumen sind die Themen Datenschutz und sichere Datenübertragung. Dabei ist es notwendig, den Schutz der Privatsphäre und den Datenschutz in allen Phasen des Lebenszyklus eines Systems zu gewährleisten.

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. Insbesondere der Bullwhip Effect[94] und seine Auswirkungen sind für die Kundenorientierung als Ausgangspunkt im Supply Chain Management von hohem Interesse. Hier wurden bereits erste prototypische Lösungen entwickelt, die eine anonymisierte Datenübertragung von mehreren Kunden und deren Kundenbedarfe durch Nutzung von MPC (Multi-Party Computing) ermöglichen. Dazu bedarf es gezielter anwendungsnaher Forschung im Anwendungsbereich der sogenannten „Privacy Enhancing Technologies“ (Arbeiten bzw. Rechnen mit verschlüsselten Daten).

Datengetriebene Geschäftsmodelle: Die Etablierung datengetriebener und -basierender Geschäftsmodelle beinhaltet hohes Potential für produzierende Unternehmen. Für die Nutzung dieser Chancen bedarf es neuer Herangehensweisen bzw. neuer Fähigkeiten und Kompetenzen. Für den gesamten Geschäftsmodell-Innovationsprozess müssen Tools und Methoden entwickelt bzw. bereitgestellt werden, die in gleichem Maße technische Expert:innen (Datenanalyst:innen, IT-Spezialist:innen), Domänenexpert:innen und Fachkräfte aus den Bereichen Vertrieb, Marketing und Serviceentwicklung, unterstützen. Diese Werkzeuge müssen den gesamten Entwicklungsprozess von der Idee, über die Entwicklung bis hin zum Testen der Geschäftsmodelle unterstützen.

Gemeinsames Verständnis: Best-Practice-Beispiele sowie Geschäftsmodellmuster sollen verfügbar gemacht werden, um ein gemeinsames Bild der Möglichkeiten und Risken von Daten zur Unterstützung von Wertschöpfungsnetzwerken und Zielen verschiedenster Akteure zu verstehen.

[91] Bendig, D. et al. (2021)

[92] https://gaia-x.eu/

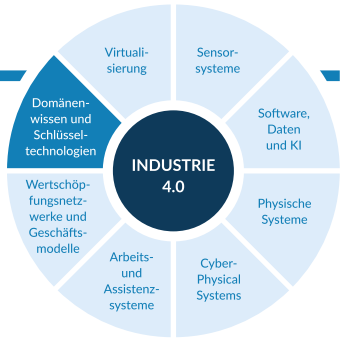
[93] https://internationaldataspaces.org/use/ids-components/

[94] Der Bullwhip-Effekt/Peitscheneffekt zeigt einen Trend von immer größer werdenden Schwankungen im Bestand als Reaktion auf eine veränderte Nachfrage, je weiter man in der Lieferkette eines Produktes zurückblickt.

Rechtliche Aspekte: Durch die Bildung von Wertschöpfungsnetzwerken und im Zusammenhang mit neuen Geschäftsmodellen ergeben sich neue rechtliche Fragen, z. B. bezüglich der Haftung für und des Eigentums an Daten und datenbasierten Wertobjekten.

Aufbau und Modellierung neuer Wertschöpfungsnetzwerke: Für den Zusammenschluss vieler eigenständiger Beteiligter eines Wertschöpfungsprozesses ist eine offene Architektur bei gleichzeitig minimalem Betriebsaufwand notwendig. Der Umgang mit der dadurch entstehenden Komplexität sowie die Entwicklung von Methoden und praxisrelevanter Use Case zur Bewältigung des konstanten Wandels innerhalb eines Netzwerks bedürfen dabei angewandter Forschung insbesondere im Bereich des unternehmensübergreifenden Datenaustausch mittels z. B. Datenräumen.

Ressourcenknappheit als Geschäftsmodelltreiber: Die Ressourcenknappheit kann zur proaktiven Geschäftsmodellveränderung bzw. -anpassung genutzt werden. Beispielsweise könnten im Sinne der Kreislaufwirtschaft Abfälle als Rohstoffe wiederverwendet oder recycelt werden, es könnten Ressourcen im Sinne der „Sharing-Economy“ mit Partnerunternehmen gemeinsam genutzt werden, digitale Technologien können genutzt werden, um die Abfallproduktion zu reduzieren oder den Energieverbrauch zu optimieren, etc. Unternehmen, die auf diese Veränderungen schnell reagieren und ihr Geschäftsmodell dementsprechend adaptieren, werden in Zukunft wettbewerbsfähiger sein.



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 und 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 einen 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.

Ein Beispiel beim österreichischen Stahlhersteller voestalpine[95] gibt den beschriebenen Sachverhalt sehr gut wieder: 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. An dieser Stelle 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 Abtastraten 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[96].

[95] Saiger, H. (2018)

[96] 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 z. B. im Bereich 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 UND DER EU

4

Forschung, Entwicklung und Innovation sind Grundpfeiler zur effektiven Nutzung der Chancen, die sich durch Digitalisierung bieten. Mit seiner zentralen Lage als Ost-West-Drehscheibe reüssiert das Forschungsland Österreich im internationalen Vergleich und bietet Unternehmen und Forschungseinrichtungen gute Rahmenbedingungen, eine moderne Infrastruktur und qualifizierte Fachleute. Gemessen am Anteil von 21,9 % an der Bruttowertschöpfung liegt Österreichs Industrie über dem EU-Durchschnitt von 20,6 % und leistet mit seinen vor- und nachgelagerten Teilen der Wertschöpfung einen hohen Beitrag zum Wohlstand.[97] Um diesem guten Nährboden Rechnung zu tragen, wurden im Zuge der **Bedarfserhebung der Schwerpunktgruppe** auch **Maßnahmen zur Förderung der österreichischen Forschungslandschaft** behandelt.

Universitäten, Fachhochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen spielen aufgrund ihrer Forschungskompetenzen und Ausbildungsstrukturen eine zentrale Rolle im Innovationssystem und interagieren in vielfältiger Weise mit Unternehmen. Durch die Bereitstellung öffentlicher Mittel wird die Zusammenarbeit zwischen wissenschaftlichen Einrichtungen und Unternehmen intensiviert, die Forschungsbasis verbreitert und etliche Spill-Over-Effekte erzeugt.

Das Innovationssystem eines Landes hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung und Wettbewerbsfähigkeit seiner Unternehmen, und damit auf die gesamte Volkswirtschaft. Der Staat erbringt durch **Investitionen in Grundlagen- und Anwendungsforschung** sowie in **Ausbildung und Infrastruktur wesentliche Vorleistungen für den privaten Forschungs- und Entwicklungsbereich**[98]. 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. Österreich konnte sich so von einer Volkswirtschaft, in der Innovations- und Wachstumsprozesse nur zu geringen Teilen von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten vorangetrieben wurden, hin zu einem forschungsintensiven Land entwickeln und hat sich zum Ziel gesetzt, in die Gruppe der „Innovation Leader" (EIS) aufzuschließen.[99]

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 den Wert von 3,22 Prozent des BIP[100] erreicht hat, hinter Schweden und Belgien an dritter Stelle (2022) innerhalb der EU[101]. Der größte Anteil, nämlich mehr als zwei Drittel der gesamten F&E-Investitionen in Österreich, wird von Unternehmen geleistet (inländische Unternehmen, sowie österreichische Niederlassungen internationaler Unternehmensgruppen[102]). Darüber hinaus leisten die Forschungsfinanzierung und Förderung durch den öffentlichen Sektor mit rund 32,9 %[103] einen wesentlichen Beitrag dazu. Daher ist es wichtig, diese staatliche Unterstützung in Form von Investitionen in Forschung, Entwicklung und Innovation weiter zu intensivieren, um so günstige Rahmenbedingungen für die österreichische Industrielandschaft zu schaffen und in Folge Wertschöpfung und Beschäftigung zu stärken.

[97] WKÖ (2022a)

[98] Keuschnigg, C. et al. (2017)

[99] European Innovation Scoreboard (2023)

[100] Statistik Austria (2024)

[101] WKÖ (2022b)

[102] Statistik Austria (2024)

[103] BMBWF, BMK &BMAW (2023)

4.1 F&E-FINANZIERUNG IM BEREICH INDUSTRIE 4.0 UND DIGITALISIERUNG AUF NATIONALER EBENE [104]

In Österreich besteht ein wirksamer Mix aus direkter F&E-Förderung und steuerlicher Begünstigung von F&E-Aktivitäten. Dadurch können alle Innovationsphasen adressiert und gefördert werden und unterschiedliche, F&E betreibende Akteur:innen in ihren Tätigkeiten unterstützt werden. Für ein starkes FTI-System braucht es sowohl exzellente Grundlagenforschung an Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen (z. B. ISTA, AIT, ÖAW) als auch hochwertige angewandte F&E durch Wissenschaft und Wirtschaft sowie den Wissens- und Technologietransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft.

F&E-politische Maßnahmen zur Unterstützung von Forschung, Entwicklung und Innovation umfassen zunächst rechtliche und administrative Rahmenbedingungen. Dazu gehören Maßnahmen zur Unterstützung des Wissenstransfers von der Grundlagenforschung in die angewandte F&E, z. B. Beratung, Mentoring, Kooperationen, gemeinsam genutzte Infrastruktur, Ausgründungen von Spin-offs, F&E-Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft oder der Abbau von Bürokratie. Ein weiteres wesentliches Element ist die F&E-Finanzierung. Es gilt, einen **wirksamen Policy Mix zwischen direkter und indirekter** sowie **offener und fokussierter Förderung entlang der Innovationskette** sicherzustellen, wobei die einzelnen Instrumentarien und ihre Abwicklung durch Förderagenturen wie beispielsweise FWF, FFG, aws, CDG, LBG, Klimafonds und KPC sinnvoll aufeinander abgestimmt sein müssen.

Mit der **Forschungsprämie von 14 %** verfügt Österreich über ein **Alleinstellungsmerkmal**, das einen wesentlichen Beitrag zur Attraktivität des F&E- und Innovationsstandortes leistet. Die Forschungsprämie bietet zum einen eine optimale Unterstützung für risikoreiche F&E-Vorhaben, vor allem in frühen Innovationsphasen, zum anderen trug sie bislang zur Verlagerung von F&E Aktivitäten nach Österreich bei. Die Forschungsprämie bildet damit auch im Bereich Industrie 4.0 und Digitalisierung, ein wichtiges Element, da auch neue Themen in frühen F&E-Phasen begünstigt werden. Auch in Zukunft soll daher die Forschungsprämie abgesichert werden, um weiterhin einen wesentlichen Mehrwert für ein innovatives Ökosystem zu schaffen. Eine Ausweitung der innovationsfreundlichen Rahmenbedingungen durch eine **Anhebung der Obergrenze für Auftragsforschung** würde die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie zusätzlich unterstützen.

Auf nationaler Ebene gestalten im Bereich der **direkten F&E-Förderung BMK, BMAW und BMBWF** die österreichische Förderpolitik. Darüber hinaus sind das BMAW und insbesondere das BMK an der Koordination von Industrie-4.0-Themen aktiv beteiligt und unterstützen thematische Prioritäten in verschiedenen, von der **Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)** und der **Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH (aws) betreuten F&E-Programmen**.

Forschungsförderungsgesellschaft (FFG):

Die FFG konzentriert sich auf die Förderung der anwendungsorientierten, industrienahen Forschung, Entwicklung & Innovation und die Förderung der Breitbandinfrastruktur. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf Maßnahmen für Qualifikation und Weiterbildung. Adressiert wird eine vielfältige Bandbreite an Zielgruppen: Von Forschungseinrichtungen über die Industrie bis hin zu Startups und KMU. Hauptziel ist es, den Anteil der in Österreich entwickelten und umgesetzten Innovationen zu erhöhen.

[104] 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 Ergebnispapiers stehen. Das soll jedoch keinesfalls suggerieren, dass eine starke Unterstützung der reinen Grundlagenforschung nicht als ebenso wichtig erachtet wird.

Die FFG setzt dabei auf eine Mischung aus Bottom-up- und Top-down-Förderungen. Sie wickelt zahlreiche Programme für verschiedene Geldgeber auf Bundesebene (BMK, BMAW, BMBWF, KLIEN, ÖBB, ASFINAG usw.) und Landesebene (Kooperationen mit einigen Bundesländern) ab, entweder treuhänderisch oder mit Eigenmitteln.

Die gezielte Förderung von Schlüsseltechnologien für die Twin Transition, eine der zentralen, transformativen Industrie 4.0-Herausforderungen, ist in FFG-Formaten seit 2022 der Pfad zu einer grünen und digitalen Transformation mit dem Ziel, Klimaneutralität und Nachhaltigkeit in industrierelevanten Themenfeldern bei gleichzeitiger Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit voranzutreiben. [105]

Die **Basisprogramme** [106] bilden das budgetär größte F&E-Förderprogramm der FFG. Für Unternehmen ist diese Förderung besonders wertvoll, da durch das **themen-offene Bottom-up-Prinzip** und die laufende Ausschreibung ein hohes Maß an Flexibilität und rasche Time-to-Contracts geboten werden. In diesem Programm sind **sowohl Einzelprojektförderungen als auch Forschungskooperationen möglich**. Damit können im Rahmen der Basisprogramm-Förderung insbesondere auch hochsensible, stark im Wettbewerb stehende Themenbereiche beforscht und weiterentwickelt werden. Um gerade in Zeiten kürzer werdender Innovationszyklen und zunehmenden Wettbewerbsdrucks **technologieoffene, flexible und niederschwellige** Förderinstrumente anbieten zu können, ist es notwendig, dieses **Förderformat zu festigen und auszubauen**.

Ebenfalls ist das **COMET (Competence Centers for Excellent Technologies)** Programm ein wichtiges Förderformat, das den Transfer von Wissenschaft in die Anwendung unterstützt. Das Programm fokussiert auf **Schlüsseltechnologiefelder**, welche aus wirtschaftlicher Sicht von strategischer Bedeutung für Österreichs Wettbewerbsfähigkeit sind. Innerhalb der drei bestehenden Programmlinien – **Zentren, Projekte und Module** – wird die Bildung von spezialisierten Forschungszentren (COMET-Zentren) sowie Kooperationsprojekten zwischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen und die Erschließung besonders risikoreicher Forschungsbereiche gefördert. [107] Im Vergleich zu anderen thematischen Programmen gestaltet sich die Einreichung für Unternehmen weniger komplex. Angesichts der 2018 letztmalig ausgeschriebenen Programmlinie COMET Zentren (K2) und des **steigenden Wettbewerbs**, wäre es umso wichtiger, die **Mittel der bestehenden Linien anzuheben (+30 – 50 %)**.

Das BRIDGE-Programm fördert gundlagennahe Projekte mit Verwertungsperspektive von Konsortien bestehend aus wissenschaftlichen Institutionen und Industrieunternehmen.

Neben den 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:

- **Kreislaufwirtschaft und Produktionstechnologien (KWPT)**
- **Digitale und Schlüsseltechnologien (DST)**

In den letzten Ausschreibungen (bis 2023) des Programms „Produktion der Zukunft“ bzw. **„Produktion & Material“** des BMK zählten effiziente Ressourcen- und Rohstoffnutzung sowie effiziente Produktionstechnologien, flexible Produktion und die Herstellung hochwertiger Produkte zu den operativen Zielen, somit war Industrie 4.0 ein zentraler Schwerpunkt. Ab 2024 wurde das Thema Kreislaufwirtschaft in den Fokus gerückt. Die traditionell hohe Call-Überzeichnung [108] deutet auf einen **hohen Forschungsbedarf auf dem Gebiet der Produktionstechnologien** seitens der Firmen und deren wissenschaftlichen Kooperationspartner (Universitäten, Fachhochschulen, außeruniversitäre Einrichtungen) hin.

[105] FFG (2023)

[106] https://www.ffg.at/programm/basisprogramm

[107] https://www.ffg.at/comet

[108] FFG (2024)

Im Kontext dieser Ausschreibungen beauftragte die FFG im Auftrag des BMK darüber hinaus **Studien** zum Thema Industrie 4.0, die zur Datengrundlage im Bereich Digitalisierung/Industrie 4.0 beitragen. Durch den Rückgang aktueller Studien und Erhebungen sind jedoch **Wissenslücken entstanden** – insbesondere hinsichtlich der Ausgaben der Wirtschaft für die Implementierung digitaler Technologien, bei denen auch Personalkosten eine gewichtige Rolle spielen. Die Verfügbarkeit solcher Informationen ist entscheidend, um ein umfassendes Verständnis für die Entwicklungen in unterschiedlichen Industrien zu erlangen. Bedauerlicherweise werden diese Daten aktuell nicht mehr durch die Statistik Austria erhoben. Diese wären besonders relevant, um den **Anteil der F&E-Ausgaben**, der **für Digitalisierung und Industrie 4.0** aufgewendet wird, besser einzuordnen.

Austria Wirtschaftsservice (aws):

Neben Forschung und Entwicklung ist Innovation im Sinne einer unternehmerischen Umsetzung und als Schritt in Richtung Markt für den Wirtschaftsstandort entscheidend. Im Bereich Digitalisierung, Industrie 4.0 und KI unterstützt die Förderagentur **aws** Innovations-Projekte von **kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) und Start-ups**. So können beispielsweise über das **Programm aws Digitalisierung bzw. AI Mission Austria** Unternehmen bei der Digitalisierung ihrer Prozesse und Geschäftsmodelle unterstützt werden bzw. Projekte im Bereich vertrauenswürdiger KI umgesetzt werden. Erste Programme für Umsetzungsvorhaben und Großunternehmen existieren in Form von aws AI-Adoption und ws Start: Green. Das Ausrollen aller aws KI-Programme für Großunternehmen und eine nachhaltige Finanzierung erscheinen als sinnvoll. Im Umsetzungsbereich sind angemessene Investitionshöhen und geeignete Förderhöhen von entscheidender Bedeutung.

Die Finanzierung der unternehmerischen Umsetzung von Industrie 4.0 und Digitalisierungsprojekten erfolgt durch die aws als Förderungsbank der Republik sowohl im Rahmen von laufenden Förderungsprogrammen als auch mittels Schwerpunktinitiativen, welche nachfolgend näher erläutert werden.

Das Programm **aws Digitalisierung Industrie 4.0** richtete sich insbesondere an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) des produzierenden Sektors sowie an produktionsnahe Dienstleistungsunternehmen. Zentrale Zielsetzung ist es, die umfassende Umsetzung von Industrie 4.0 in der Produktion zu forcieren. Das Förderprogramm folgt dabei seit 2017 einem modularen Aufbau und fördert folgende drei Projektphasen: Analyse- und Konzeptphase (Modul 1 „Plan 4_4“), Industrie 4.0-relevante Investitionen (Modul 2 „Invest in I4.0“) sowie Schulungs- und Qualifizierungsmaßnahmen (Modul 3 „Fit 4_4“). Die per Ende 2022 durchgeführte Evaluierung bestätigt, dass das Förderprogramm eine hohe Additionalität aufweist. So hätten fast 90% der geförderten Betriebe ihre Digitalisierungsvorhaben ohne die Förderung nicht oder nur in geringerem Umfang durchgeführt

Die Ökologisierung der österreichischen Wirtschaft stellt eine dringende und zukunftskritische Herausforderung dar. Industrie 4.0-Technologien sind dabei wichtige Enabler der Green Transition: So können digitale Technologien einen wesentlichen Beitrag zu Einsparung von Energie bzw. zu einer optimierten Nutzung von Ressourcen leisten und damit verschiedene Prozesse der Industrie nachhaltiger gestalten. Beispielhaft angeführt werden können etwa intelligente Sensoren und Augmented Reality-Werkzeuge, Predictive Maintenance, Big-Data-Analysen zur Optimierung der Ressourceneffizienz usw.

Vor diesem Hintergrund wurde seitens der Evaluatoren empfohlen, das Programm „aws Digitalisierung Industrie 4.0“ fortzuführen, etwa mit konkreter Schwerpunktsetzung im Bereich Ökologisierung oder mit Ausstattung eines zusätzlichen Sonderbudgets für „Twin-Transition“-Projekte. Die Neustrukturierung der strategischen Wirkungsfelder des Fonds Zukunft Österreich hat diese Empfehlung bislang noch nicht aufgegriffen, sodass das Programm aktuell mangels Budgets nicht weiter angeboten werden kann.

Ergänzend bietet die aws dezidierte Schwerpunktprogramme für Industrie4.0 im Rahmen der **auf Künstliche Intelligenz spezialisierten Initiativen** aws Digitalisierung: AI Start, AI Adoption, AI-Wissen und den KI-Marktplatz.

Diese aws Förderungen sind Teil der AI-Mission Austria, der gemeinsamen Initiative von aws-FFG und FWF zur bestmöglichen Nutzung des Potenzials der Schlüsseltechnologie Künstliche Intelligenz (Artificial Intelligence AI) für den Standort Österreich. Dabei werden Start-ups, KMU und große Unternehmen bei ihren KI-Projekten mit Förderungen in den drei Modulen (AI-Start, AI-Adoption & AI-Wissen) unterstützt. Finanziert werden die Programme mit EUR 6 Mio. durch den Fonds Zukunft Österreich. Für den Schwerpunkt Klimaschutz stehen zusätzlich EUR 4 Mio. zur Verfügung.

aws AI-Adoption unterstützt innovativen vertrauenswürdigen AI-Vorhaben in Österreich. Ein besonderer Fokus liegt dabei in der Vorbereitung auf kommende AI-Regulierungen, -Standards, -Normen und -Zertifizierungen.
Dafür wurden im Zuge der Kooperation mit der Plattform Industrie 4.0 die entsprechende Grundlagenarbeit geleistet und sowohl relevante Normungsgremien identifiziert als auch in einer Reihe von Veranstaltungen der Industrie nähergebracht. [109]
AI-Adoption: Green ist ein Schwerpunkt innerhalb von AI-Adoption und fördert innovative vertrauenswürdigen AI-Vorhaben, die einen Beitrag zum Klimaschutz oder zur Anpassung an den Klimawandel leisten. Geförderte Projekte wie Structinspect zeigen die Potentiale des Einsatzes von KI eindrücklich auf.

Das Förderprogramm aws **AI-Wissen**, das im Februar 2023 gestartet wurde, hat zum Ziel heimischen Unternehmen aus der Soft- und Hardwarebranche Know-how zu vermitteln, damit diese ihr geistiges Eigentum, das sie durch ihre Produktentwicklung geschaffen haben, als solches erkennen, gegen Plagiieren schützen, wenn nötig gegen illegale Nachahmer verteidigen und bestmöglich kommerziell verwerten können. Darüber hinaus geht es um Beratung zur vertraglichen Sicherung von Eigentumsrechten an AI-Trainingsdaten.

Der **aws KI-Marktplatz** ist eine Online-Plattform, auf der sich Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die KI-Lösungen anbieten, mit Unternehmen treffen, die diese innovativen Technologien einsetzen wollen. Durch Matchmaking und Veranstaltungen werden die Vernetzung mit passenden Partner:nnen weiter unterstützt und innovative Projekte im Bereich der Künstlichen Intelligenz gefördert. Die Plattform bietet Basisinformationen rund um das Thema "Künstliche Intelligenz" sowie eine Übersicht über KI-Anwendungsfälle. Unternehmen können durch den aws KI-Marktplatz potenzielle Kooperations- und Umsetzungspartner finden, die bereits Erfahrung in der Umsetzung von KI-Projekten haben und somit zur erfolgreichen Umsetzung von KI-Projekten beitragen können. Beispiele wie Danube Dynamics und Sinntelligence zeigen, wie KI zum Einsatz kommen kann.

Mit der Initiative „Twin Transition" im Rahmen der Transformationsoffensive werden Unternehmen unterstützt, welche internationale Vorreiter im wirtschaftlichen Wandel Richtung Digitalisierung und Ökologisierung sind. Zu den Zielgruppen zählen insbesondere die Industrie und speziell technologieentwickelnde Leitbetriebe. Gefördert wird die Transformation hin zu nachhaltigen und digitalen Produktionsprozessen sowie Produkten, die beim Anwender zu positiven Klima- und Umwelteffekten Effekten führen.
Darüber hinaus ist die **Start-up Förderung** des aws ein wichtiges Instrument, um innovative Industrie 4.0 Lösungen auf den Markt zu bringen. Neben Programmen zur Unterstützung von Unternehmensneugründungen in den verschiedenen Wachstumsphasen, werden Programme für Gründungen in den Deep-Tech Feldern angeboten, wie das **aws Preseed und Seedfinancing Deeptech**.

Um die langfristige und auch wirtschaftlich erfolgreiche Entwicklung von Industrie 4.0 in Österreich zu gewährleisten, bedarf es nach der erfolgreichen Umsetzung bzw. dem Start dieser Schwerpunktprogramme eine nachhaltige – und für die Industrie planbare und zuverlässige – Finanzierung der Förderungsmaßnahmen. [110]

[109] https://plattformindustrie40.at/services/#vertrauen

[110] aws (2024)

Weitere Fördereinrichtungen:

Neben FFG und aws tragen **weitere Förderagenturen/-einrichtungen im FTI-Ökosystem** wesentlich zur Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen für die Zusammenarbeit zwischen Forschung, Entwicklung und unternehmerischer Praxis bei:

Auf Ebene der **Bundesländer** vergeben entsprechende Institutionen die Mittel der **Forschungsförderung der jeweiligen Landesregierung**. Die regelmäßig aktualisierten Bundesländersteckbriefe der Plattform Industrie 4.0 in Kooperation mit den Wirtschafts- und Standortagenturen geben einen Überblick über Förderungen und Aktivitäten im Bereich Industrie 4.0 und Digitalisierung auf Bundesländerebene.[111]

Die **Christian Doppler Forschungsgesellschaft**[112] fördert durch eingerichtete Forschungseinheiten zur anwendungsorientierten Grundlagenforschung mit fixen Laufzeiten die Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft u.a. auch in Themenfeldern der Industrie 4.0.
Die Finanzierung wird je zur Hälfte von Unternehmen und von der öffentlichen Hand durch das BMAW und die Nationalstiftung für Forschung, Technologie und Entwicklung getragen. Sog. **Christian Doppler (CD) Labore** werden an Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen eingerichtet während die sog. **Josef Ressel (JR) Zentren** an Fachhochschulen entstehen.

4.2 ERHÖHUNG DER DOTIERUNGEN DER PROGRAMME KLWPT UND DST

Da für die produzierende Industrie in Österreich die Herstellung konkurrenzfähiger Produkte und die Steigerung der Produktivität von entscheidender Bedeutung ist, gewinnt die Forschung in zukunftsweisenden Bereichen eine besondere Relevanz. Die thematischen Förderprogramme/FTI-Initiativen **Kreislaufwirtschaft und Produktionstechnologien (KLWPT)** und **Digitale und Schlüsseltechnologien (DST)** sind dabei bedeutende, zielgerichtete Maßnahmen zur Unterstützung der produktionsrelevanten Forschungslandschaft ab 2024.

Das 2011 erfolgreich eingeführte Programm „Produktion der Zukunft", wurde 2022 durch das Themenfeld „Produktion und Material" abgelöst. Ab 2024 erfolgt die Aufteilung letzterer auf zwei Themenfelder:

1) Das Themenfeld **Kreislaufwirtschaft und Produktionstechnologien (KLWPT)** für kooperative F&E Projekte beinhaltet produktionsnahe Forschung in den Bereichen **Industrie 4.0, Additive Fertigung** und **Werkstoffe** sowie Forschungsthemen rund um die **biobasierte Industrie**. Ebenfalls wird **technologieoffene Forschung** im Bereich **Kreislaufwirtschaft** gefördert, sofern sie den Grundsätzen und Zielen der Ausschreibung entspricht, welche das Optimieren des Ressourceneinsatzes, die Intensivierung der Produktnutzung sowie die Schließung von Stoffkreisläufen beinhalten. Übergeordnete Ziele der Ausschreibung sind die **Stärkung der Resilienz** und die Erhöhung der **technologischen Souveränität Österreichs**. Aus programmatischer Sicht umfasst KLWPT aktuell den Eureka Call (transnationale Ausschreibung zu **Leichtbau**), M-ERA.

[111] https://plattformindustrie40.at/services/#steckbriefe

[112] https://www.cdg.ac.at

NeT (transnationale Ausschreiung zu **Materialthemen**), die FTI-Initiative Transformation der Industrie und die nationale Ausschreibung **Kreislaufwirtschaft und Produktionstechnologien** für das Jahr 2024 (jährlich neu ausgeschrieben).

2) Das Themenfeld **Digitale und Schlüsseltechnologien (DST)** fördert Forschung in den Schlüssel-Technologiefeldern **Robotik** und **Photonik** sowie an **Nanotechnologien** und **Smart Textiles** bzw. an Basistechnologien im produktionsnahen Umfeld (u.a. **Advanced Materials**). Aus programmatischer Sicht umfasst DST aktuell die Ausschreibung Nano EHS (nationale Ausschreibung für F&E Dienstleistungen), Nano EHS – SAFERA (transnationale Ausschreiung für kooperative F&E Projekte) und die nationale Ausschreibung zu Schlüsseltechnologien für das Jahr 2024 (für kooperative F&E Projekte; jährlich neu ausgeschrieben; voraussichtlich rd. 8 Mio. EUR). Ziele der Ausschreibungen umfassen die Entwicklung von Schlüsseltechnologien als Beitrag zur Technologie-Souveränität Europas, die Schaffung von Akzeptanz für die Anwendung digitaler Technologien, die Förderung digitaler Technologien zur Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen sowie die Stärkung internationaler Vernetzung. In Bezug auf Nanotechnologien sollen Wissenslücken im Bereich der Sicherheitsbewertung hinsichtlich Umwelt- und Gesundheitsrisiken geschlossen werden und der Aufbau von Expertise im Forschungssystem durch Forcieren von **Abstimmung im internationalen Kontext** gefördert werden.

In der letzten Ausschreibung des Vorgängerprogramms „Produktion und Material" im Jahr 2023 wurden 48 % der eingereichten kooperativen Projekte, die sämtliche Kriterien erfüllt haben und dadurch förderungswürdig waren, aus budgetären Gründen abgelehnt. Insgesamt ergab sich eine 5,4-fache Überzeichnung der verfügbaren Mittel in der **Höhe von 11,2 Mio. EUR. Trotz Inflation sanken die für das Programm „Produktion & Material" bzw. für das** Vorgängerprogramm „Produktion der Zukunft" jährlich zur Verfügung gestellten Mittel seit 2015 (18,25 Mio. EUR).[113]

Gemessen an der traditionell hohen Call-Überzeichnung, der steigenden Zahl an Erstantragsstellern, der Ablehnungsquote förderwürdiger Projekte sowie der Steigerung der österreichischen Forschungsquote[114] lässt sich ein hoher Bedarf an Forschung auf dem Gebiet der Produktionstechnologien ableiten. Dieser Bedarf lässt sich vor dem **Hintergrund der digitalen und grünen Transformation**, welche durch Ziele auf EU- und nationaler Ebene vorangetrieben wird, begründen. Denn eine Umstellung auf klimafreundliche, ressourcenschonende und effiziente Produktion **erfordert den Einsatz innovativer Technologien und Prozesse**.

Daher lautet die Empfehlung der Schwerpunktgruppe **zusätzliche** Mittel in der Höhe von **jährlich mind. 15 bis 20 Mio. €** und damit in Summe mind. 35 bis 40 Mio. € für die thematische Programme KLWPT und DST bereit zu stellen. Durch eine Steigerung der zur Verfügung gestellten Mittel ließe sich ein größerer Teil der erfolgreich eingereichten und aus budgetären Gründen abgelehnten Projekte fördern. Somit könnten aussichtsreiche Innovationen realisiert werden und die internationale Kooperation in Forschung und Entwicklung gestärkt werden.

Im Zuge der Sitzungen der Schwerpunktgruppe neue Technologie & Innovation verdeutlichte sich, dass österreichische Unternehmen und Forschungseinrichtungen über nationale Grenzen hinaus eng verbunden sind. Ein wesentliches Element ist die Möglichkeit, **bilaterale Projekte mit Deutschland** einzureichen. Das stärkt die Wertschöpfungsökosysteme und bietet ein hohes Potenzial für die Vertiefung der Zusammenarbeit.

Gemeinsame Aktivitäten und, wo möglich, **Ausschreibungen und Förderinstrumente**, sollten insbesondere **mit wichtigen Partnerländern forciert und ausgeweitet** werden, wie z. B. mit Österreichs Hauptexportpartnern sowie mit Innovation Leaders, sowohl innerhalb als auch außerhalb Europas. Hierfür sollte idealerweise ein **zusätzliches Budget in Höhe von 1 bis 5 Mio. € durch das BMK** allokiert werden.

[113] FFG (2024)

[114] Statistik Austria (2023)

Zudem sollte die **Transformationsoffensive** des BMAW (F&E über die FFG-Basisprogramme sowie Qualifizierung und Wachstumsinvestitionen aws „Twin Transition") über 2026 hinaus gesichert und ausgebaut werden.

Im Kontext von Industrie 4.0 werden nicht nur technologische Innovationen vorangetrieben, sondern auch grundlegende Konzepte verfolgt, die die Richtung für eine zukunftsweisende Entwicklung vorgeben. Es ist daher unerlässlich, dass diese Konzepte, insbesondere **Menschenzentriertheit**, in Fördermaßnahmen eingebunden werden, um eine Weiterentwicklung der Industrie 4.0 zu unterstützen (vgl. Industrie 5.0) [115].

Insgesamt ist die hohe Bedeutung dieser nationalen Förderprogramme zur Erreichung der technologischen Spitze zu betonen. Sie haben sich seit ihrer Initiierung gut in der Fördermittellandschaft im Bereich Industrie 4.0 etabliert und es wurden viele wichtige Impulse gesetzt. Großes Potenzial kann weiterhin gehoben werden, indem budgetär die entsprechenden Weichen gestellt werden.

4.3 EU-FORSCHUNGSRAHMENPROGRAMME

Horizon Europe:

Horizon Europe ist das **9. EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation**. [116] Für den Zeitraum **2021 bis 2027** sind dafür **95,5 Mrd. €** budgetiert. Darin enthalten sind 5,4 Mrd. EUR aus dem EU-Programm „NextGenerationEU".

Horizon Europe zählt zu den weltweit größten, transnationalen und kooperativen Programmen für Forschung und Innovation und ist damit ein wesentliches Instrument zur Stärkung der europäischen, wissensbasierten Wettbewerbsfähigkeit sowie zum Ausbau europäischer Innovationsnetzwerke.
Eine Besonderheit des Programmes ist, dass kooperative F&E-Vorhaben zwischen den teilnehmenden Staaten unterstützt und die gesamte Innovationskette adressiert wird. F&E Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft, verschiedenste Branchen und Unternehmen aller Größen können im Rahmen von Horizon Europe gefördert werden. [117]

Im Rahmen des durch Horizon Europe gegründeten **Europäischen Innovationsrates (EIC)** [118] werden **Maßnahmen zur gezielten Unterstützung bahnbrechender und markschaffender Innovationen** – von der Idee bis zum Scaling-up hochinnovativer Unternehmen – in einer zentralen Anlaufstelle gefördert. Eine Reduktion der administrativen Hürden würden eine stärkere Nachfrage nach Mitteln aus dem EIC fördern. Die Kommerzialisierungsebene in Zusammenhang mit gewerblichen Anwendungen (Pillar 3) ist ein wesentlicher Innovationstreiber. Derzeit bezieht sich dieser Programmpfeiler (Accelerator) allerdings

[115] Das Konzept „Industrie 5.0" der Europäischen Kommission rückt die Dimensionen Menschzentriertheit, Nachhaltigkeit und Resilienz in den Fokus. Die Berücksichtigung von Menschzentriertheit stellt sicher, dass die technologischen Fortschritte im Einklang mit den Bedürfnissen und Fähigkeiten der Menschen stehen. Ebenso ist die Integration von Nachhaltigkeit entscheidend, um umweltbewusste und ethisch verantwortliche Ansätze zu fördern. Zusätzlich spielt Resilienz eine bedeutende Rolle, indem sie sicherstellt, dass die Industrie 4.0 gegenüber unvorhergesehenen Herausforderungen widerstandsfähig ist.

[116] https://www.ffg.at/Europa/Horizon-Europe

[117] https://www.ffg.at/Europa/Horizon-Europe

[118] https://eic.ec.europa.eu

ausschließlich auf die Unterstützung von Start-Ups und KMU und ist daher zu restriktiv gestaltet. Eine Ausweitung des Zugangs auf eine breitere Palette von Unternehmen wäre wünschenswert. So wäre eine Förderung im Rahmen von Pillar 3 eine sinnvolle Fortführung in Anschluss an eine erfolgreiche Förderung in Pillar 2 (Transition).

Einzelne Schwerpunkte von Horizon Europe betreffen speziell den Bereich Industrie 4.0, Digitalisierung, Kreislaufwirtschaft und Menschenzentriertheit. Cluster 4 „Digitalisierung, Industrie & Weltraum" der zweiten Säule des Horizon Europe Programms unterstützt **digitale und industrielle Schlüsseltechnologien**. Die Struktur des Clusters umfasst u.a. den Bereich „digitalisierte, ressourceneffiziente und resiliente Industrie". Dem Cluster zugeordnet ist u.a. die Europäische Partnerschaft Chips for Europe („Chips Joint Undertaking") und die künftige Partnerschaft „Advanced Materials")

Um auch in Zukunft auf den Erfolgen der Europäischen Rahmenprogramme für Forschung & Innovation aufzubauen, strategisch relevante Themenbereiche zu adressieren und die europäischen Wertschöpfungsketten abzusichern, braucht es eine gezielte Priorisierung der europäischen Stärkenfelder.

Chips Joint Undertaking (ehem. KDT JU)

Das Chips JU ist als Joint Undertaking (JU) eine institutionalisierte Partnerschaft für elektronische Komponenten und Systeme zwischen privatem und öffentlichem Sektor. Sie betreibt ein EU Forschungs- und Innovationsprogramm für die Entwicklung einer starken und global wettbewerbsfähigen Industrie für **elektronische Bauelemente und Systeme**.

Im November 2021 wurde das ECSEL JU (Electronic Components and Systems für European Leadership Joint Undertaking) erstmals in **Key Digital Technologies Joint Undertaking (KDT JU)** umbenannt. Mit der Namensänderung des Programms beschloss der nationale Hub ECSEL-Austria, sich ab April 2022 in **ESBS-Austria (Electronics and Software Based Systems)** umzubenennen. Der programmunabhängige Name soll auch den hohen Stellenwert von Software als integraler Bestandteil von elektronikbasierten Systemen widerspiegeln. 2023 erfolgte eine neuerliche Umbenennung des KDT JU in **Chips Joint Undertaking**, welches zusätzlich Maßnahmen der Chips for Europe Initiative **(Säule 1 des Chips Act)** umsetzt. [119]

EIT Manufacturing

Das EIT Manufacturing ist als Public-Private Partnership (PPP) und eine von der EU kofinanzierte **Knowledge and Innovation Community (KIC)**, welche durch das **European Institute of Innovation and Technology (EIT)** [120] unterstützt wird. Das EIT fungiert als Förderagentur für den Aufbau und die Weiterentwicklung der KIC). Im Rahmen des EIT Manufacturing werden wiederum (Forschungs-)projekte ausgeschrieben. Ziel ist es Akteure der produzierenden Industrie zusammenzubringen und Aktivitäten im Bereich Bildung, Innovation und Geschäftsfeld- bzw. Unternehmensgründung voranzutreiben.

Digital Europe:

Das **Digital Europe Programm (DIGITAL)** ist mit einem Gesamtbudget von **8,2 Mrd. EUR von 2021 bis 2027** darauf ausgerichtet, die europäische Gesellschaft und Unternehmen dabei zu unterstützen, den digitalen Wandel optimal zu nutzen. Es ist keine Forschungsförderung. Die Mittel werden eingesetzt, um **digitale Kapazitäten und Infrastrukturen auf- und auszubauen**

[119] https://www.esbs-austria.eu

[120] https://www.eitmanufacturing.eu

und dem Ziel der **Schaffung eines digitalen Binnenmarktes** näher zu kommen. Dies geschieht vor allem durch koordinierte und strategische **Ko-Investitionen mit den Mitgliedstaaten**. Daher ist eine aktive und kontinuierliche Unterstützung durch Österreichs Politik entscheidend. Das Digital Europe Programme umfasst fünf Schwerpunkte: Hochleistungsrechnen (2,0 Mrd. EUR), Künstliche Intelligenz (1,7 Mrd. EUR), Halbleiter (1,6 Mrd. EUR), Cybersicherheit und Vertrauen (1,4 Mrd. EUR), Fortgeschrittene Digitale Kompetenzen (0,5 Mrd. EUR) und Beschleunigung der bestmöglichen Nutzung von Technologien (1,0 Mrd. EUR). Letzteres umfasst auch den Aufbau der „Digital Innovation Hubs" (DIHs).[121]

Als zentrale Anlaufstellen unterstützen **Europäische digitale Innovationszentren (EDIHs)**[122] und **DIHs**[123] Unternehmen sowie Organisationen des öffentlichen Sektors dabei, digitale Technologien zur Verbesserung ihrer Prozesse, Produkte und Dienstleistungen zu integrieren. Herausragend ist dabei die Möglichkeit technologische Lösungskonzepte vorab einem **Reallabor-Setting** (an Universitäten, FHs, Forschungseinrichtungen) auf ihre Umsetzbarkeit zu testen, um somit qualifizierte Investitionsentscheidungen treffen zu können. Neben dem Zugang zu technischem Fachwissen und Vernetzung wird Beratung hinsichtlich der Finanzierung (inkl. Unterstützung bei der Investorensuche) sowie zu Qualifizierungsmaßnahmen, Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft angeboten. In Österreich gibt es derzeit **4 europäische EDIHs** in unterschiedlichen thematischen Schwerpunkten (je zu 50 % von Bund und Europäischer Kommission finanziert) sowie **5 nationale DIHs** als Anlaufstelle für KMU und Kleinstunternehmen. Dieses Netzwerk gilt es auch künftig zu stärken und weiter auszubauen.

Important Projects of Common European Interest (IPCEIs)

Important Projects of Common European Interest (IPCEIs) **bzw. „wichtige Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse"** fördern als **beihilfenrechtliches Instrument der Europäische Union** gemeinsame europäische **Projekte von besonderer strategischer Bedeutung**. Diese Projekte müssen dazu beitragen, die Ziele der EU-Strategien zu erreichen, wie beispielsweise die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und der strategischen Autonomie, die digitale Transition sowie jene des European Green Deals. IPCEIs ermöglichen die Förderung transnationaler Kooperationen und die Abdeckung der Wertschöpfungskette von der angewandten Forschung, Entwicklung und Innovation bis zur erstmaligen industriellen Umsetzung sowie zu entscheidenden Infrastrukturvorhaben im Umwelt-, Energie und Verkehrsbereich.
Typischerweise handelt es sich bei IPCEIs um große, langfristige Projekte, die eine enge Zusammenarbeit zwischen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und gegebenenfalls staatlichen Stellen erfordern. Die **teilnehmenden Mitgliedstaaten nominieren die nationalen Projektpartner**, welche sich meist in Einzelprojekten im Rahmen eines integrierten europäischen Konsortialprojekts organisieren. Die Europäische Kommission kann staatliche Beihilfen für IPCEIs genehmigen, sofern sie bestimmte Kriterien erfüllen, welche zum Beispiel das Vorhandensein eines grenzüberschreitenden Elements, einen Beitrag zum europäischen Wohlstand und die Vermeidung von Überkapazitäten oder Wettbewerbsverzerrungen im Binnenmarkt beinhalten.
Sogenannte Spill-Over Aktivitäten, um die durch das Projekt gewonnenen Erkenntnisse einem möglichst breiten Adressat:innenkreis näher zu bringen, sind ebenfalls als Teil der Projekte vorgesehen.

Österreich beteiligt sich derzeit mit drei Unternehmen am **IPCEI Mikroelektronik I**, mit sechs Unternehmen am **IPCEI Batteries (EuBatIn)**, mit sechs Unternehmen bei **IPCEI Wasserstoff (Hy2Use und Hy2Tech)** und mit sechs Unternehmen am **IPCEI Mikroelektronik II** . Als gemeinsame Abwicklungsstelle für das IPCEI Batteries (EuBatIn) wurden die aws und die FFG durch das BMK beauftragt. Für das IPCEI Mikroelektronik, das IPCEI Wasserstoff sowie das IPCEI Mikroelektronik II erfolgt die Beauftragung der gemeinsamen Abwicklungsstelle zusammen mit dem BMAW.

[121] FFG (2024)

[122] https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu

[123] https://www.ffg.at/dih

Eine vorausschauende Planung von Teilnahmen Österreichs an künftigen IPCEI ist entscheidend, um bei Technologieentwicklungen in strategischen Wertschöpfungsketten führend dabei zu sein.[124]

Regionalförderung:

Weitere Möglichkeiten, um Innovation voranzutreiben entstehen durch grenzüberschreitenden Austausch und Zusammenarbeit begünstigt durch Regionalförderungen und den EFRE.

Der **Europäische Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)**[125] wurde 1975 als Finanzierungsinstrument der europäische Kohäsionspolitik eingerichtet und ist Kernstück der EU-Regionalpolitik. Ziel ist es, Unterschiede im Entwicklungsstand der Regionen („Regionen mit Entwicklungsrückstand" & „im Niedergang befindliche Industrieregionen") durch **Investitionen** und **territoriale Zusammenarbeit (ETZ/INTERREG)** zu mindern. Durch ETZ sollen Probleme gelöst werden, die über nationale Grenzen hinausgehen und Potenziale erschlossen werden.

Für den Zeitraum 2021 bis 2027 werden 226 Mrd. EUR für den EFRE bereitgestellt. Bis zu 85 % der Projektkosten können in weniger entwickelten Regionen aus dem EFRE kofinanziert werden. Übergangsregionen sowie stärker entwickelte Regionen können bis zu 60 % oder 40 % der Kosten über EFRE abdecken. In Österreich ist das Burgenland als Übergangsregion eingestuft. Der thematische Förderschwerpunkt liegt auf Investitionen in Beschäftigung und Wachstum, Innovation, Kreislaufwirtschaft, intelligente Spezialisierung von KMU sowie Digitalisierung.

Von 2021 bis 2027 stehen 8 Mrd. EUR aus dem EFRE-Fonds für die Europäische territoriale Zusammenarbeit (ETZ) zur Verfügung. Der Standort Österreich profitiert beispielsweise vom Interreg Programm Deutschland/Bayern – Österreich[126], auf das 61,5 Mio. EUR. entfallen. Zu den 5 Themenschwerpunkten des Programms zählt u.a. die „Priorität 1 – Zukunftsfähige Wirtschaft" mit den Spezifischen Zielen: „Innovatives und zugängliches grenzüberschreitendes Wissenssystem" und „Zukunftsfähige und kompetente Unternehmenslandschaft". Dadurch sollen vor allem KMU unterstützt werden und beispielsweise Schulungen und Pilotanwendungen im Bereich digitale Transformation sowie umwelt- und klimafreundliche Unternehmen gefördert werden. Dies wird durch den Austausch von Erfahrungen, die Bündelung von Ressourcen und die Schaffung kritischer Massen für Tools und Start-up Labore ergänzt. Des Weiteren werden Hilfestellungen und Lösungen zur effektiven Nutzung von Künstlicher Intelligenz, Big Data und anderen intelligenten Lösungen bereitgestellt, um die Kompetenzen von KMU in diesem Bereich zu stärken.

Weitere Akteure im Europäischen FTI-Ökosystem:

European Factories of the Future Research Association (EFFRA)[127] ist ein gemeinnütziger, industrieorientierter Verband zur Förderung der Entwicklung neuer und innovativer Produktionstechnologien. Das Hauptziel von EFFRA ist die Unterstützung der vorwettbewerblichen **Forschung im Bereich der Produktionstechnologien** innerhalb des Europäischen Forschungsraums. EFFRA vertritt die private Seite der **Produktionspartnerschaft mit der EU-Kommission**. Die im Rahmen von Horizon 2020 benannten „Fabriken der Zukunft" werden unter Horizon Europe zu „Made in Europe". Die **Made in Europe-Partnerschaft** soll die Stimme und die treibende Kraft für eine nachhaltige Fertigung in Europa sein und die europäischen Ökosysteme des

[124] BMAW (2024)

[125] https://www.efre.gv.at

[126] https://www.interreg-bayaut.net

[127] https://www.effra.eu/

verarbeitenden Gewerbes auf dem Weg zu einer globalen Führungsposition in den Bereichen Technologie, Kreislaufwirtschaft und Flexibilität unterstützen. Die Partnerschaft wird zu einer wettbewerbsfähigen, umweltfreundlichen, digitalen, widerstandsfähigen und auf den Menschen ausgerichteten Fertigungsindustrie beitragen.
Aktuelle Ausschreibungen umfassten die Themenfelder flexible Produktion (on demand), kreislauffähige Produktion und Bio-intelligente Produktion.

Das europäische **Gaia-X-Projekt**, ursprünglich durch das deutsche Wirtschaftsministerium ins Leben gerufen, hat sich zu einer breiten Initiative der Wirtschaft in mehreren EU-Mitgliedstaaten entwickelt. Ziel des Projekts ist es, Organisationen, Unternehmen und Nutzern eine effiziente und ökonomische **Verarbeitung und gemeinsame Nutzung von Daten** zu ermöglichen, während sie **gleichzeitig die Kontrolle über diese Daten behalten**. Dafür wird ein Rahmen geschaffen, der den fundmentalen **europäischen Werten entspricht** und faire Teilnahmemöglichkeiten am digitalen Markt weltweit bietet. Das Projekt Gaia-X adressiert diese Herausforderung und schafft einen Raum, in dem sich alle beteiligten Organisationen aus beliebigen Sektoren auf ein **einheitliches Regelwerk** einigen können, um die Einhaltung grundlegender Werte wie **Datensouveränität, Datenschutz, Vertraulichkeit, Sicherheit, Technologieneutralität und Interoperabilität** sicherzustellen.
Die Organisation von Gaia-X besteht aus drei wichtigen Säulen: der **Gaia-X Association** auf EU-Ebene, den **nationalen Gaia-X Hubs** in den EU-Mitgliedsstaaten und außerhalb sowie der Gaia-X Community. Gaia-X ist als Non-Profit Verein in Brüssel unter dem Namen Gaia-X Association internationale sans but lucratif (AISBL) organisiert. Die Gaia-X Hubs dienen als zentrale Anlaufstellen für Unternehmen, Stakeholder, Initiativen, Verbände und öffentliche Einrichtungen, um die Umsetzung der Gaia-X-Strategie in den Mitgliedstaaten zu gewährleisten und Projekten mit der jeweiligen lokalen Wirtschaft zum Erfolg zu verhelfen. Die Gaia-X Community umfasst sämtliche Organisationen, die an Gaia-X interessiert sind oder Mitglieder der Gaia-X AISBL bzw. eines der Gaia-X-Länderhubs sind. [128]

Zur Umsetzung eines sicheren und souveränen Datenaustausches werden sog. **Datenräume** etabliert. Im Industriebereich hat sich seit 2021 **Catena-X** [129] (Automobilindustrie) als Bottom-Up Initiative etabliert und 2023 starteten erste Aktivitäten zu **Manufacturing-X** (Fertigungsindustrie). Ziel ist es Datenökosysteme für den Datenaustausch entlang der gesamten Liefer- und Fertigungskette zu entwickeln. Für Österreich ist es wichtig, sich strategisch in europäischen und internationalen Dateninitiativen zu engagieren und die Aktivitäten des Gaia-X Hub Austria [130] als zentralen Kontaktpunkt sowie innerhalb des internationalen Manufacturing-X Councils [131] zu unterstützen.

4.4 ZUKUNFTSORIENTIERTE GESTALTUNG VON FP10

Um die Chancen des nächsten (10.) EU-Forschungsrahmenprogramms (FP 10) für Österreich und Europa zu nutzen, ist eine entsprechende Prioritätensetzung und Zukunftsorientierung bei der Ausgestaltung unerlässlich.

[128] https://www.gaia-x.at/definition

[129] https://catena-x.net

[130] https://www.gaia-x.at/

[131] https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Kurzmeldungen/2023/10_Int_MX_Council.html

Dazu braucht es eine deutliche **Erhöhung bis hin zur Verdopplung des Budgets auf EU-Ebene – insb. was industrielle Zukunftsbereiche und Schlüsseltechnologien betrifft, durch frische Mittel für FP10**. Um auch weiterhin die Unternehmensbeteiligung hochzuhalten, sind **attraktive Förderhöhen in Form von Zuschüssen** relevant.

Hinsichtlich der Ausgestaltung ist insbesondere auf eine **klare Ausrichtung an den europäischen Stärkefeldern und strategisch wichtigen** Schlüsseltechnologien zu achten. Es braucht eine Stärkung erfolgreicher Themenfelder und zusätzlich Mittel für bestehende und neue Schlüsseltechnologien, wie vor allem für **Künstliche Intelligenz, Digital Security** and **Connectivity**. Da **Produktionstechnologien** von großer Bedeutung für die Innovationskraft des Wirtschaftsstandorts Österreich sind und viele Chancen für Unternehmen bieten, sollten diese im Europäischen Forschungsrahmenprogramm stärker berücksichtigt werden.

Speziell **kooperative Formate** oder Instrumente wie **Contractual Public Private Partnerships** und **Joint Technology Initiatives** zeichnen sich durch eine hohe Umsetzungskapazität aus, da sie die gesamte Innovationskette involvieren. **Diese sollten fortgeführt und weiter gestärkt werden.**

4.5 VORSCHLÄGE ZU EINER VERBESSERTEN AUSGESTALTUNG DES FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSÖKOSYSTEMS

Die Industrie ist ein wichtiger Akteur und Treiber von Lösungen für eine nachhaltige Wirtschaft.
Da Industrie-4.0-Konzepten die Verschmelzung von IKT- und Produktionstechnologien zu Grunde liegt und da diese zunehmend um Mobilitäts- und Energieaspekte erweitert werden, empfehlen die Expert:innen der Schwerpunktgruppe t**hemen- und technologieübergreifende Vorhaben** zu begünstigen und entsprechende Instrumente zu kombinieren oder anzupassen. Insbesondere neue Informations- und Kommunikationstechnologien wirken als wesentlicher Treiber im Innovations- und Produktionsprozess, deren großes Potential durch themen- und technologieübergreifende Programme gehoben werden kann.

Zur optimalen Unterstützung der Industrie vor dem Hintergrund der grünen, digitalen und sozialen Transformation („Triple Transition") lassen sich **8 Ansatzpunkte für die Gestaltung von Förderprogrammen** ableiten:

1) Spitzenforschung im Bereich der Produktion weiter stärken (siehe Kapitel 3)

Die Förderung von Spitzenforschung im Bereich der Produktion ist entscheidend für die Stärkung des Produktionsstandorts Österreich und den Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschaft. Durch die Entwicklung von innovativen Technologien, Prozessen, Produkten und Materialien können Unternehmen effizienter und ressourcenschonender produzieren. Dies trägt nicht nur zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei, sondern stärkt auch die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie auf globaler Ebene, indem sie sich in strategisch wichtigen Bereichen langfristig als Vorreiter bzw. Innovation Leader positionieren kann. Es ist entscheidend durch gezielte F&E-Förderung die Entwicklung und Anwendung digitaler Schlüsseltechnologien am Standort zu stärken. **Für eine Übersicht der spezifischen Technologien, welche insbesondere für Industrie 4.0 relevant sind, und bei denen wir Forschungsbedarf feststellen, verweisen wir auf Kapitel 3.**

2) Erkenntnisse und Technologien in die Breite bringen

Die Verbreitung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und Technologien ist ein wichtiger Schritt, um den Wandel hin zu einer nachhaltigen und digitalen Industrie zu beschleunigen. Initiativen wie die European Digital Innovation Hubs (EDIH) bieten Unternehmen Zugang zu Expertise, Infrastruktur und Finanzierungsmöglichkeiten, um digitale Innovationen voranzutreiben. Durch gezielte Fördermaßnahmen können Unternehmen dabei unterstützt werden, neue Technologien zu implementieren und bestehende Prozesse zu optimieren, um ihre Produktion umweltfreundlicher und effizienter zu gestalten und ihre Position im Wettbewerb abzusichern.

Weitere Instrumente zur Erhöhung zur Diffusionsgeschwindigkeit neuer Technologien
Während die Industrie insgesamt eine hohe Innovationskraft aufweist, zeichnet sich eine Diskrepanz in der Innovationstätigkeit zwischen große Unternehmen und KMU ab.[132] Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, Fördermaßnahmen **ebenso gezielt auf die Bedürfnisse von KMU** auszurichten. Wichtige Ansatzpunkte bestehen beispielsweise in Bezug auf das Skalieren von KMU und Startups (in Anlehnung in AT.net[133]), die spezifische Vorbereitung auf neue Regularien (z. B. durch Entwicklungskomponenten), die Verknüpfung von Reallaboren mit Entwicklungsarbeit zur praxisnahen Erprobung und die niederschwellige Patentförderung.

Ein weiteres, wichtiges Element zur Unterstützung von Unternehmen im Digitalisierungsprozess sind **Pilotfabriken**, die intelligente Produktionsformen der Zukunft erforschen und Forschungsfelder für die Industrie entwickeln. **Pilotfabriken, verteilt über ganz Österreich**, bieten Raum und Zugang zu Expertise, um die praktische Anwendung von Ergebnissen aus der Wissenschaft in die Industrie zu erproben. Wünschenswert ist es daher, bestehende Infrastrukturen zu stärken und synergetisches Arbeiten der Pilotfabriken zu forcieren. Ein wesentlicher Punkt dabei ist, weiterhin bedarfsorientiert die Finanzierung der Pilotfabriken sicherzustellen. Aus Unternehmenssicht wäre es eine interessante Möglichkeit, mit konkreten Themenban Pilotfabriken heranzutreten, die Infrastruktur nutzen zu können und bei der Umsetzung von Projekten Unterstützung zu erhalten (großer Hebel für KMU).

3) Kooperation Wissenschaft & Wirtschaft stärken

Die enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft ist ein Schlüsselfaktor für die Entwicklung und Umsetzung innovativer Lösungen. Durch die Förderung von Kooperationsprojekten können Forschungseinrichtungen und Unternehmen ihr Wissen und ihre Ressourcen bündeln, um gemeinsam an anwendungstauglichen Technologien und Produkten zu arbeiten. Dabei ist es wichtig, **Anreize zu schaffen** und **bürokratische Hürden abzubauen**, um die Zusammenarbeit zu erleichtern und den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis zu beschleunigen. Das COMET Programm ist eine der wesentlichen Förderinitiativen in diesem Bereich. Zudem ist es wichtig, im Bereich der Künstlichen Intelligenz Ökosysteme aus Wissenschaft, Wirtschaft, Startups und Investoren in Österreich zu etablieren und zu stärken und die interdisziplinäre Zusammenarbeit zu fördern. Darüber hinaus gilt es, ausreichend IT-Talente auszubilden und in Österreich zu halten, sowie Fachkräfte aus dem Ausland anzuwerben.

[132] kmuimfokus (2023)

[133] https://www.ffg.at/atnet_markteinfuehrung

4) Reallabore (Regulatory Sandboxes) umsetzen

Reallabore bieten Unternehmen die Möglichkeit, neue Technologien und Geschäftsmodelle in realitätsnahen Umgebungen zu erproben und weiterzuentwickeln. Durch die Förderung von Reallaboren können Unternehmen Risiken minimieren und Innovationen schneller auf den Markt bringen. Dabei ist es wichtig, eine **enge Zusammenarbeit** zwischen Industrie, Forschungseinrichtungen, Behörden und anderen Akteuren sicherzustellen, um Synergien zu gewährleisten. Es ist entscheidend, die Reallabor-**Rahmenbedingungen** so auszugestalten, dass Unternehmen diese **effektiv in der Praxis nutzen** und mit Leben füllen können. Seitens der öffentlichen Hand sollte ein klarer Anreiz und ein Bekenntnis zur Unterstützung der Unternehmen bei der Realisierung von Reallaboren gegeben sein, beispielsweise durch die Umsetzung eines Reallaborrahmengesetzes.

5) Vorbereitung auf neue Regularien unterstützen

Die Fülle an (EU-)Regularien für die grüne und digitale Transformation stellt Unternehmen in der Praxis vor große Herausforderungen. Insbesondere KMU fehlen oftmals die Ressourcen, um umfangreiche, weitreichende und teils widersprüchliche Regularien im politischen Prozess zu verfolgen, unternehmensspezifische Risiken und Chancen abzuschätzen sowie (technologische) Ansätze für eine Umsetzung zu finden. Durch gezielte Förderprogramme können Unternehmen dabei unterstützt werden, sich **frühzeitig** auf neue Regularien **vorzubereiten und innovative Lösungen zu entwickeln**, um die Auflagen nach individueller Betroffenheit bestmöglich zu erfüllen. Dabei sollten **Anreize für Unternehmen** geschaffen werden, die gesetzlichen Anforderungen umzusetzen bzw. darüber hinauszugehen.

6) Skalieren fördern

Technologien und Geschäftsmodelle müssen großflächig ausgerollt werden, um einen signifikanten Beitrag zu Transformation und Wettbewerbsfähigkeit zu leisten. Durch gezielte Fördermaßnahmen können Unternehmen dabei unterstützt werden, ihre innovativen Lösungen zu skalieren und verstärkt in den Markt zu bringen. Dabei ist es wichtig, **Hindernisse wie Finanzierungslücken und Markteintrittsbarrieren zu identifizieren** und gezielt zu adressieren, um so die Verbreitung von umweltfreundlichen und digitalen Technologien zu beschleunigen. Bei Projekten an der Schnittstelle zwischen Entwicklung, Skalierung und Umsetzung wäre eine bessere **Synchronisierung zwischen KPC und FFG zur Etablierung von Demonstrationsanlagen** wünschenswert.

7) Transparenz erhöhen und Förderabwicklung vereinfachen, Beihilfenrecht weiterentwickeln

Um die bestmögliche Wirkung von Forschung zu gewährleisten; ist es ratsam, die **Verfügbarkeit von Forschungsergebnissen und Publikationen zu fördern**. Ein umfassender Überblick über die verfügbaren Erkenntnisse könnte nicht nur dazu beitragen, fundierte Förderentscheidungen zu treffen, sondern auch die Transparenz und Zusammenarbeit in der wissenschaftlichen Gemeinschaft stärken. Die Einführung einer **Open Science Cloud in Europa** könnte somit zu einer zielgerichteteren und besser koordinierten Forschung führen, was einer effektiveren Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse entsprechen würde.

Einen großen Mehrwert wird auch durch die **Veröffentlichung der Ergebnisse der Ausschreibungen generiert**. Insbesondere die Bekanntgabe der Erfolgsquote sowie die Auflistung genehmigter Projekte – natürlich unter Berücksichtigung von Datenschutz- bzw. Geschäftsgeheimnisaspekten – sind hier von Interesse. Seit Anfang 2018 betreibt die FFG eine

öffentliche Projektdatenbank. Damit können F&E-Projektinhalte und potenzielle Kooperationspartner für FFG-geförderte Vorhaben identifiziert werden.[134]
Eine Erweiterung dieser Datenbank, um als Nicht-Einreicher oder nicht erfolgreicher Einreicher erfahren zu können, wer den Zuschlag erhalten hat, würde zusätzlichen Nutzen stiften.

Verschiedene **Förderschienen** und deren Schwerpunkte sollten im Vergleich zueinander und in Bezug auf ihre Wirkung **laufend evaluiert** werden, um den Bedarf noch treffsicherer zu adressieren. Dies sollte die Basis für Entscheidungen sein, welche Förderformate fortgeführt werden. Ergebnisse dieser Evaluierung sollten im Sinne der Transparenz ebenfalls öffentlich einsehbar sein.

Die **Kontinuität erfolgreicher Programme** ist als Erfolgsfaktor zu unterstreichen. Eine gute Performance sollte auch gute Chancen auf Verlängerung bieten. Deutschland kann als positives Beispiel bei der Verlängerung erfolgreicher Programme genannt werden. Dennoch zeigen Erfahrungen in Österreich, dass eine gute Evaluierung, wie zum Beispiel in Bezug auf das K2-Basisprogramms, nicht immer zu nachhaltiger Unterstützung führt und Programme dennoch abgebrochen werden. Die unbegründete Einstellung erfolgreicher Programme wirkt demotivierend auf Forschende. Eine neue Strategie im Umgang mit der willkürlichen Beendigung von Programmen wird seitens der Expert:innen als notwendig erachtet.

Eine höhere **Flexibilität in der Budgetallokation innerhalb eines Themengebietes** bei gleichzeitiger **Schaffung größerer thematischer (thematisch umfangreicherer) Schwerpunkte** (z. B. Kreislauforientierte Produktion, Schlüsseltechnologien) ermöglicht eine bedarfsgenauere Adressierung der Fördernehmer. Das zu den thematischen Programmen komplementäre und für marktnahe Projekte relevante Basisprogramm führt zu einer hohen Zufriedenheit unter den Befragten. **Flexibilität der FFG bei überzeichneten Programmen zusätzliche Mittel zu allokieren** (z. B. über Nationalstiftung/FZÖ) wäre wünschenswert und würde dem Bedarf noch gezielter Rechnung tragen.

Insgesamt wäre es sinnvoll, eine weitaus **unbürokratischere Förderausgestaltung** (sowie intuitive Übersicht der laufenden Ausschreibungen) zu etablieren, die somit kurzfristigere und einfacher zugängliche Förderungen für Umsetzungsprojekte ermöglicht. Dies gilt für europäische und für nationale Förderungen. Denn die Erfahrung zeigt, dass Unternehmen nur bedingt für die Abwicklung komplexer und langjähriger Projekte aufgestellt sind.

Im Bereich der **Querschnittsmaterie 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 und Trends reagiert werden.

Vor dem Hintergrund eines zunehmend vernetzten Wirtschaftssystems ist es sinnvoll, in Ausschreibungen die Formulierung "Wertschöpfungsketten" auf den Begriff "Wertschöpfungsnetzwerke" auszudehnen, wobei die Verbindung mit Resilienz im Vordergrund steht. Dieser Ansatz berücksichtigt die Notwendigkeit, nicht nur lineare Abläufe, sondern auch flexible und widerstandsfähige Netzwerke zu schaffen.

Darüber hinaus ist es wichtig, das europäische Beihilfensystem weiterzuentwickeln und es insb. auf neue europäische Initiativen anzupassen, um geopolitische Dynamiken stärker zu berücksichtigen und das Wachstum von Leitindustrien zu ermöglichen.

[134] https://projekte.ffg.at/

8) Normen und Standards als relevanten Treiber wahrnehmen

Um die Herausforderungen und Chancen der modernen technologischen Landschaft erfolgreich zu meistern, ist es unerlässlich, die **Relevanz von Normen und Standards** stärker zu vermitteln und diese aktiv in Forschungs- und Entwicklungsprozesse zu integrieren, d.h. deren Nutzung und (mögliche) Ausgestaltung bereits in Forschungs-Projekten mitzudenken. Sie dienen als Richtlinien zur Gewährleistung von Sicherheit, Qualität und Interoperabilität und tragen dazu bei, Innovationen zu fördern und den Marktzugang zu erleichtern. Neue Legislatur-Vorhaben auf EU-Ebene treiben die Entwicklung und Ausgestaltung neuer Normen und Standards voran (z.B. für den Digitalen Produktpass, Datenräume). Insbesondere ist auch die Partizipation österreichischer Firmen an Projekten im Kontext der Standardisierung und Normierung zu unterstützen. Daher sollte die Förderung von Normen und Standards als essenzieller Bestandteil einer zukunftsorientierten Forschungs- und Entwicklungsstrategie betrachtet werden, um eine nachhaltige und harmonisierte technologische Entwicklung mitzugestalten.

Insgesamt sollten Förderprogramme eine ganzheitliche Perspektive auf Innovation und Technologietransfer einnehmen, um die Zusammenarbeit zwischen Forschung, Entwicklung und unternehmerischer Praxis zu fördern und so den Wirtschaftsstandort nachhaltig zu stärken.

4.6 QUALIFIZIERUNG IN UND FÜR FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Die **Ausbildungsfunktion der Forschung** trägt entscheidend zur Qualifizierung von Nachwuchskräften bei. Insbesondere auf dem Gebiet der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) ist die Ausbildung von Expert:innen (u.a. Doktorand:innen) angesichts des Fachkräftemangels von großer Bedeutung.
Da die Technologieentwicklung jedoch rasant voranschreitet, ist es unmöglich sich tiefe Fachkompetenz in allen relevanten Technologien aufzubauen und langfristig zu erhalten. Wissenschafter:innen sollten daher neben einem grundlegenden technologischen Verständnis auch ein solides Fundament in Bezug auf Wissenschaft und Methodik aufbauen, um künftig ihre Fähigkeiten in verschiedenen Bereichen anwenden zu können.

Zu den Herausforderungen im Nachwuchsbereich zählt auch das Interesse von Jugendlichen an einer technischen Ausbildung (MINT) zu fördern. In Österreich können sich 45–50% der Jugendlichen zwischen 13 und 15 Jahren kaum bzw. gar nicht vorstellen, eine MINT-Ausbildung zu absolvieren. 20% der 14–15-jährigen und 30% der 17–18-jährigen sind unentschlossen und können sich eine technische Ausbildung nur teilweise vorstellen. Außerdem zeigt sich nach wie vor ein Unterschied zwischen den Geschlechtern in Bezug auf hinderliche Faktoren, sowie auf das Vertrauen in ihre Fähigkeiten eine technische Ausbildung zu bewältigen. Dieser „Confidence Gap" betrifft vorwiegend MINT-interessierte Mädchen.[135] Daher besteht ein dringender Handlungsbedarf in der Nachwuchsförderung, vor allem da Maßnahmen oft zu spät ansetzen. Die Verantwortung kann und sollte nicht nur bei den Universitäten liegen, sondern schon viel früher ansetzen und am besten von unterschiedlichen Stakeholdern gemeinsam betrieben werden. Ein klares Aufzeigen der Herausforderungen im Nachwuchsbereich und das Bekenntnis verschiedener Akteure zu handeln, ist ein wichtiger erster Schritt. Neben der Förderung des Nachwuchses, ist

[135] Gaisch, M., Rammer, V., Sterrer, S. & Takacs, C. (2023).

es insgesamt auch notwendig, der **Technikskepsis und Technikfeindlichkeit** in Österreich **durch entsprechende Maßnahmen aktiv entgegenzuwirken**.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor der Umsetzung von geförderten Projekten wird von den Expert:innen in **projektbegleitenden Schulungs- und Kompetenzentwicklungsmaßnahmen** gesehen. Diese erhöhen die Akzeptanz gegenüber Ergebnissen aus Forschung und Entwicklung und unterstützen deren erfolgreiche Implementierung in neue Produkte, Prozesse und Dienstleistungen. Im Rahmen öffentlich geförderter Projekte ist daher eine entsprechende **Anerkennung von Kosten für Qualifizierungsmaßnahmen** eine sinnvolle Ergänzung, die auch die Förderung der Personalkosten einschließen sollte.

Diese Ansatzpunkte sollten durch entsprechende Mittel für Upskilling/**Weiterbildung im Kontext Digitalisierung und Industrie 4.0**. flankiert werden. Eine Aufnahme in die Themenliste des **Fonds Zukunft Österreich** würde daher sehr begrüßt werden.

ZUSAMMENFASSUNG DER EMPFEHLUNGEN

KAPITEL 4.1: F&E-Finanzierung im Bereich Industrie 4.0 und Digitalisierung auf nationaler Ebene

- Sicherstellung eines wirksamen Policy Mix zwischen direkter und indirekter sowie offener und fokussierter Förderung entlang der Innovationskette – sinnvolle Abstimmung einzelner Instrumentarien aufeinander und ihrer Abwicklung durch die Förderagenturen
- Absicherung der Forschungsprämie und Anhebung der Obergrenze für Auftragsforschung
- Festigung und Ausbau der Basisprogramme
- Anhebung der Mittel der bestehenden COMET-Linien (30–50 %)
- Laufende Aktualisierung der Datengrundlagen zum Thema Industrie 4.0 und Digitalisierung durch Studien sowie Erhebungen der Statistik Austria
- Ausrollung aller aws KI-Programme für Großunternehmen sowie Sicherstellung einer nachhaltigen Finanzierung
- Sicherung angemessene Investitionshöhen und geeignete Förderhöhen im Umsetzungsbereich
- Fortführung des aws Programms „Digitalisierung Industrie 4.0“
- Sicherung einer nachhaltigen – und für die Industrie planbaren und zuverlässigen – Finanzierung der Förderungsmaßnahmen

KAPITEL 4.2: Erhöhung der Dotierungen der Programme KLWPT und DST

- Bereitstellung zusätzlicher Mittel in der Höhe von jährlich mind. 15 bis 20 Mio. € und damit in Summe mind. 35 bis 40 Mio. € für die thematische Programme KLWPT und DST
- Beibehaltung der Möglichkeit, bilaterale Projekte mit Deutschland einzureichen
- Forcierung und Ausweitung gemeinsamer Aktivitäten und, wo möglich, Ausschreibungen und Förderinstrumente mit wichtigen Partnerländern – Allokation eines zusätzlichen Budgets in Höhe von 1 bis 5 Mio. € durch das BMK

KAPITEL 4.2: Weitere Programme

- Sicherung und Ausbau der Transformationsoffensive des BMAW
- Einbindung grundlegender Konzepte zur Weiterentwicklung der Industrie 4.0 in Fördermaßnahmen, wie insbesondere Menschenzentriertheit

KAPITEL 4.3: EU-Forschungsrahmenprogramme

- Reduktion der administrativen Hürden für Mittel aus dem EIC
- Ausweitung des Zugangs zum Horizon Europe Programmpfeiler „Accelerator“ auf eine breitere Palette von Unternehmen u. a. in Anschluss an eine erfolgreiche Förderung in Pillar 2 (Transition)
- Aktive und kontinuierliche Unterstützung von Digital Europe durch Österreichs Politik (koordinierte und strategische Ko-Investitionen)
- Ausbau und Stärkung des EDIH- und DIH-Netzwerks
- Vorausschauende Planung der Teilnahmen Österreichs an künftigen IPCEI
- Strategisches Engagements Österreichs in europäischen und internationalen Dateninitiativen und Unterstützung der Aktivitäten des Gaia-X Hub Austria

KAPITEL 4.4: Zukunftsorientierte Gestaltung von FP10

- Erhöhung bis hin zur Verdopplung des Budgets für FP10 auf EU-Ebene durch frische Mittel (insbesondere für industrielle Zukunftsbereiche und Schlüsseltechnologien)
- Ermöglichung attraktiver Förderhöhen in Form von Zuschüssen
- Klare Ausrichtung an den europäischen Stärkefeldern und strategisch wichtigen Schlüsseltechnologien
- Stärkere Berücksichtigung von Produktionstechnologien im Europäischen Forschungsrahmenprogramm
- Fortführung und Stärkung kooperativer Formate oder Instrumente wie Contractual Public Private Partnerships und Joint Technology Initiatives

KAPITEL 4.5: Vorschläge zu einer verbesserten Ausgestaltung des Forschungs- und Innovationsökosystems

- Begünstigung themen- und technologieübergreifender Vorhaben und Kombination entsprechender Instrumente:

1) **Spitzenforschung im Bereich der Produktion weiter stärken**
   - Gezielte F&E-Förderung für die Entwicklung und Anwendung digitaler Schlüsseltechnologien am Standort

2) **Erkenntnisse und Technologien in die Breite bringen**
   - Verbreitung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und Technologien z. B. durch EDIHs
   - Gezielte Ausrichtung von Fördermaßnahmen auf die Bedürfnisse von KMU
   - Stärkung bestehender Pilotfabrik-Infrastrukturen, Sicherstellung der bedarfsorientierten Finanzierung sowie Forcierung von Synergien
   - Möglichkeit für Unternehmen mit konkreten Themen an Pilotfabriken heranzutreten, die Infrastruktur zu nutzen und Unterstützung bei der Umsetzung von Projekten zu erhalten

3) **Kooperation Wissenschaft & Wirtschaft stärken**
   - Schaffung von Anreizen und Abbau bürokratischer Hürden für Kooperationsprojekte
   - Etablierung von Ökosystemen aus Wissenschaft, Wirtschaft, Startups und Investoren im Bereich der Künstlichen Intelligenz in Österreich
   - Ausbildung und Bindung von IT-Talenten sowie Anwerbung von Fachkräften aus dem Ausland

4) **Reallabore (Regulatory Sandboxes) umsetzen**
   - Sicherstellung der engen Zusammenarbeit zwischen Industrie, Forschungseinrichtungen, Behörden und weiteren Akteuren
   - Ausgestaltung der Reallabor-Rahmenbedingungen zur effektiven Nutzung durch Unternehmen in der Praxis
   - Schaffung eines klaren Anreizes und das Bekenntnis zur Unterstützung der Unternehmen bei der Realisierung von Reallaboren seitens der öffentlichen Hand (z. B. Umsetzung eines Reallaborrahmengesetzes)

5) **Vorbereitung auf neue Regularien unterstützen**
   - Unterstützung von Unternehmen durch gezielte Förderprogramme zur Vorbereitung auf neue Regularie
   - Schaffung von Anreizen für Unternehmen, die gesetzlichen Anforderungen umzusetzen

6) Skalieren fördern
- Bereitstellung gezielter Fördermaßnahmen zur Unterstützung von Unternehmen bei der Skalierung ihrer innovativen Lösungen auf dem Markt
- Gezielte Adressierung von Hindernissen, Finanzierungslücken und Markteintrittsbarrieren für umweltfreundliche und digitale Technologien
- Bessere Synchronisierung zwischen KPC und FFG bei Projekten an der Schnittstelle zwischen Entwicklung, Skalierung und Umsetzung zur Etablierung von Demonstrationsanlagen

7) Transparenz erhöhen und Förderabwicklung vereinfachen, Beihilfenrecht weiterentwickeln
- Förderung der Verfügbarkeit von Forschungsergebnissen und Publikationen
- Einführung einer Open Science Cloud in Europa
- Erweiterung der öffentlichen Projektdatenbank der FFG
- Laufende und transparente Evaluierung verschiedener Förderschienen im Vergleich zueinander als Basis für Entscheidungen rund um die Fortführung
- Gewährleistung guter Chancen auf Kontinuität erfolgreicher Programme
- Ermöglichung einer höheren Flexibilität in der Budgetallokation innerhalb eines Themengebietes
- Ermöglichung von Flexibilität für die FFG bei überzeichneten Programmen zusätzliche Mittel zu allokieren (z. B. über Nationalstiftung/FZÖ)
- Etablierung einer unbürokratischeren Förderausgestaltung (sowie intuitive Übersicht der laufenden Ausschreibungen)
- Gewährleistung einer besseren mittelfristigen Planbarkeit und Unterstützung themenübergreifender Vorhaben in bestehenden Förderprogrammen im Bereich der Querschnittsmaterie Digitalisierung
- Ausdehnung der Formulierung „Wertschöpfungsketten“ auf den Begriff „Wertschöpfungsnetzwerke“ in Ausschreibungen
- Weiterentwicklung des europäischen Beihilfensystems und Anpassung an neue europäische Initiativen

8) Normen und Standards als relevanten Treiber wahrnehmen
- Stärkere Vermittlung der Relevanz von Normen und Standards und aktive Integration in Forschungs- und Entwicklungsprozesse
- Unterstützung der Partizipation österreichischer Firmen an Projekten im Kontext der Standardisierung und Normierung
- Betrachtung der Förderung von Normen und Standards als essenziellen Bestandteil einer zukunftsorientierten Forschungs- und Entwicklungsstrategie

KAPITEL 4.6: Qualifizierung in und für Forschung und Entwicklung

› Fundierte Ausbildung von Expert:innen (u. a. Doktorand:innen) für eine Anwendung Ihrer Fähigkeiten in verschiedenen technologischen Bereichen
› Frühzeitige und durch unterschiedliche Akteure gemeinsam forcierte Förderung des Interesses an einer technischen Ausbildung
› Setzung von Maßnahmen entgegen der Wissenschafts- und Technikskepsis in Österreich
› Anerkennung von Kosten für Qualifizierungsmaßnahmen (einschließlich Personalkostenförderung) im Rahmen öffentlich geförderter Projekte
› Aufnahme des Themas Upskilling/Weiterbildung im Kontext Digitalisierung und Industrie 4.0 in die Liste des Fonds Zukunft Österreich

ÖSTERREICHISCHE USE CASES

5

5.1 FLUGZEUGBAU: TRANSFORMATION DES AUTOMATISIERTEN LEGEPROZESSES ZU EINEM CYBER-PHYSICAL SYSTEM ZUR VORHERSAGE UND FEHLERERKENNUNG

Der automatisierte Legeprozess (Automated Fiber Placement AFP – Prozess) ist eine der fortschrittlichsten Fertigungstechnologien zur Herstellung großformatiger kommerzieller Flugzeugstrukturen mithilfe eines roboterbasierten Prozesses. Der Automatisierungsbedarf wird von der Luftfahrtindustrie vorangetrieben, um Prozesse zu standardisieren, Fehler zu vermeiden, Gewicht zu reduzieren und um CO_2 Emissionen einzusparen.

Flugzeuge wie der Airbus A350 XWB bestehen im Bereich der Strukturbauteile zu über 50 % aus Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoffen (FKV). AFP ist in der Lage komplexe Formen wie Flugzeugrümpfe, Querruder oder Hauptflügelstrukturen aus mehreren schmalen vorimprägnierten Tapes (sehr dünne, unidirektional verstärkte Bändchen) zu fertigen.

Bei der Herstellung dieser Strukturen können große Datenmengen erfasst werden. Cyber-Physical Systems (CPS) werden kontinuierlich mit Daten von Sensoren gefüttert und können einen digitalen Zwilling zur Optimierung des Fertigungsprozesses erstellen. Dazu werden historische Prozessdaten oder phänomenologisches Wissen genutzt. Komplexe Probleme werden gelöst, indem sie in kleinere Teilprobleme zerlegt werden. Um den AFP-Prozess zu einem CPS zu transformieren, sind intelligente Sensoren für die Prozessüberwachung und künstliche Intelligenz erforderlich. Der Lehrstuhl für Verarbeitung von Verbundwerkstoffen an der **Montanuniversität Leoben** nutzt Sensoren wie Lichtschnittsensoren, Drucksensoren, Infrarotkameras, oder Pyrometer zur Bewertung und Verbesserung des AFP-Prozesses.

Eine große Forschungsanstrengung widmet sich dem Übergang von Duromeren zu thermoplastischen Prepreg-Materialien als neuen Stand der Technik im AFP-Prozess. Thermoplastische Verbundwerkstoffe sind einfacher zu recyceln, haben eine nahezu unbegrenzte Haltbarkeit, bieten eine bessere Reparierbarkeit und Schadenstoleranz. Darüber hinaus kann durch eine In-situ-Konsolidierung die Produktionszeit durch den Wegfall eines nachgeschalteten Autoklavprozesses massiv verkürzt werden. Aber bislang gibt es immer noch Probleme beim Erreichen einer In-situ-Konsolidierung. Am **Lehrstuhl für Verarbeitung von Verbundwerkstoffen** werden in diesem Kontext Untersuchungen durchgeführt, die sich der Erkennung und Beurteilung von prozessinduzierten Fehlern widmen.

Vorhersage der Tapebreite nach der Konsolidierung

Unterschiedliche Tapebreiten können zu Fehlern wie Lücken, Überlappungen oder einer Mischung aus beidem führen. Diese Defekte verringern die mechanischen Eigenschaften des Bauteils und können einen katastrophalen Ausfall verursachen. Die Tapebreite nach der Konsolidierung wird von verschiedenen Faktoren wie der einlaufenden Tapebreite, der Konsolidierungskraft, der Ablegegeschwindigkeit oder dem Wärmeeintrag in das Tape bestimmt. Um jeden dieser Verarbeitungsparameter in Echtzeit zu erfassen, werden Sensoren verwendet. Die Parameter werden dann analysiert, um die Haupteffekte zu identifizieren.

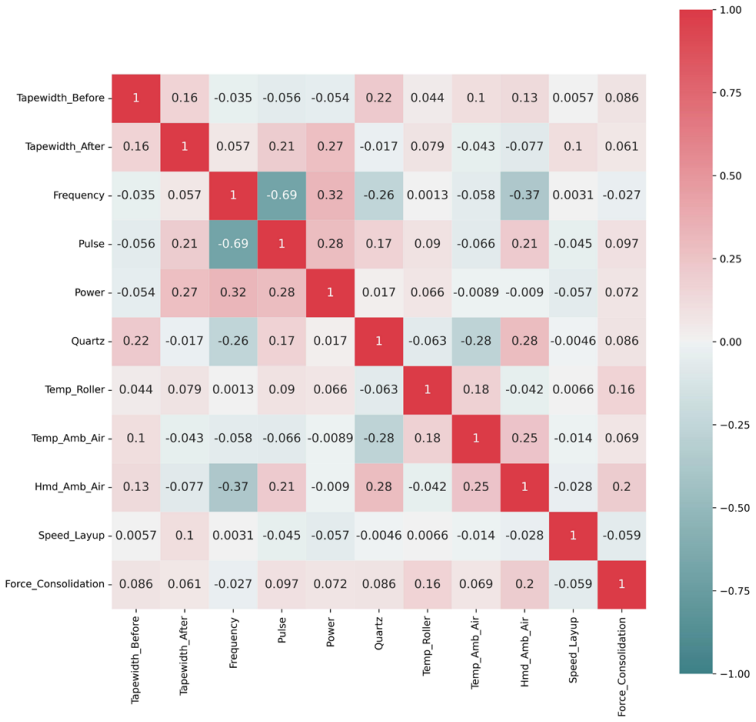


Abbildung 5: Korrelationsmatrix aller Prozessparameter, welche die Tapebreite nach der Konsolidierung beeinflussen

Die Verarbeitungsparameter können dann als Eingabe in ein Modell für maschinelles Lernen (ML) verwendet werden. Dieses Modell kann danach die Tapebreite nach der Konsolidierung vorhersagen. Eine schnelle Vorhersage kann als Eingabe für den AFP-Roboter verwendet werden, um die Verarbeitungsparameter inline zu ändern und dadurch eine konstante Tapebreite zu erreichen. Mithilfe kontinuierlicher Datengenerierung kann das Modell weiter trainiert werden und es wird dadurch robuster für unterschiedliche Verarbeitungsbedingungen.

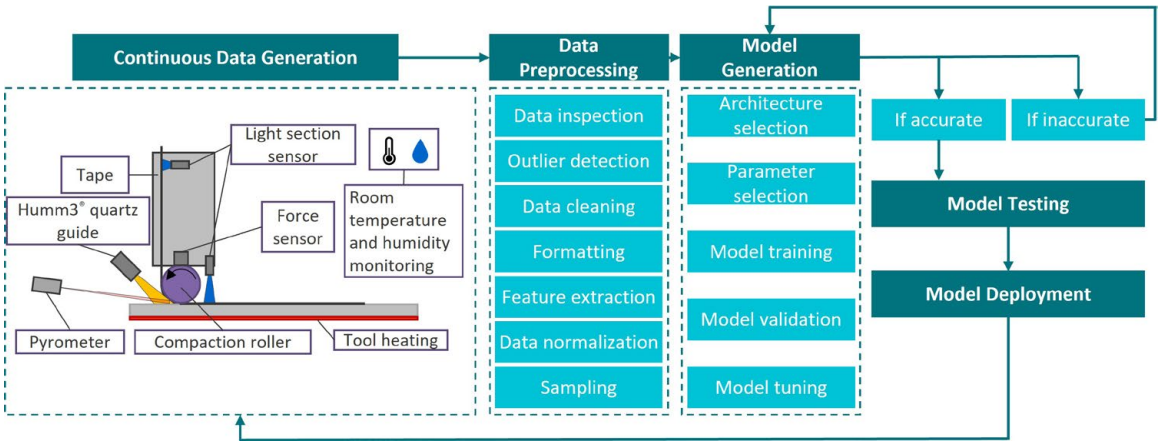


Abbildung 6: Machine Learning Optimierungsprozess für die Vorhersage der Tapebreite im AFP-Prozess

Online Fehlererkennung mit Infrarot Thermographie

Neben Lücken und Überlappungen können während des AFP-Prozesses andere Fehler auftreten: Falten, fehlende Tapes, Brückenbildung, Einschnitte oder Fremdkörper sind am häufigsten. In den vergangenen Jahren wurden Anstrengungen unternommen, Defekte mit Fibre Bragg Grating Sensoren, Wirbelstromprüfungen, laserbasierten Detektionssystemen oder Infrarot-Thermografie zu erkennen. Am Lehrstuhl für Verarbeitung von Verbundwerkstoffen wird ein instrumentierter Prüfstand verwendet um mittels Thermografie Fehler inline zu erfassen. Dabei wird angestrebt nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ Bewertung zu Art, Ausprägung und Position der Fehler zu erhalten. Oberflächennahe Defekte können im Infrarotbild sehr gut erkannt werden, wenn hier der Wärmeübergang zwischen oberster Tapelage und dem darunter liegenden Substrat deutlich beeinflusst ist. Während des Ablegens wird das Tape kontinuierlich mit einer Infrarotkamera überwacht und die thermische Vorgeschichte des Tapes extrahiert. Anhand der Temperaturgradienten lassen sich dann eventuelle Fehler und deren genaue Position erkennen. Mit Hilfe dieses Verfahrens ist ein Stoppen des Prozesses möglich, um bei auftretenden Defekten unmittelbar Korrekturen vorzunehmen oder sonst Material und Bearbeitungszeit einzusparen.

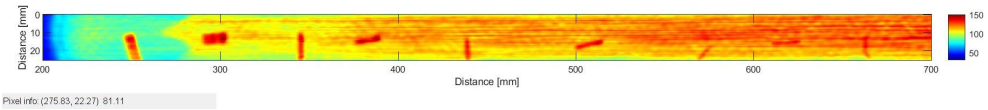


Abbildung 7: Oberflächenfehler-Erkennung mit Infrarot Thermographie

5.2 PRIMETALS: OPTIMIERUNG DER SINTER PRODUKTION DURCH MODELLBASIERTE PROGNOSE DER KAUSALEN ZUSAMMENHÄNGE VON HAUPT-QUALITÄTSINDIKATOREN

Sintern ist ein komplexer Produktionsprozess, bei dem die Prozessstabilität und Produktqualität von verschiedenen Parametern abhängen. Der Aufbau eines Prognosemodells verbessert diesen Prozess. Ansätze der Künstlichen Intelligenz (KI) zeigen vielversprechende Ergebnisse im Vergleich zu aktuellen physikalischen Modellen, wobei sie wegen ihrer versteckten Schichten meist als Black-Box-Modelle betrachtet werden. Aufgrund ihrer Komplexität und eingeschränkten Rückverfolgbarkeit ist es schwierig, Rückschlüsse auf reale Sinterprozesse zu ziehen und die physikalischen Modelle in einer laufenden Anlage zu verbessern. Diese Herausforderung wird im Rahmen eines Projektes des **COMET-Zentrums Pro²Future**[136] (Products and Production Systems of the Future) gemeistert, indem man sich auf die Erkennung kausaler Zusammenhänge aus KI-basierten Prognosemodellen konzentriert, um das Verständnis des Sinterns zu verbessern und bestehende physikalische Modelle zu optimieren. Projektpartnern sind die **Primetals Technologies Austria GmbH**, die **Technische Universität Graz** und die **Johannes Kepler Universität Linz**.

[136] Das COMET-Zentrum Pro²Future wird im Rahmen von COMET – Competence Centres for Excellent Technologies durch BMK, BMDW, Oberösterreich und die Steiermark gefördert. Das Programm COMET wird durch die FFG abgewickelt. Weitere Informationen zu COMET: www.ffg.at/comet

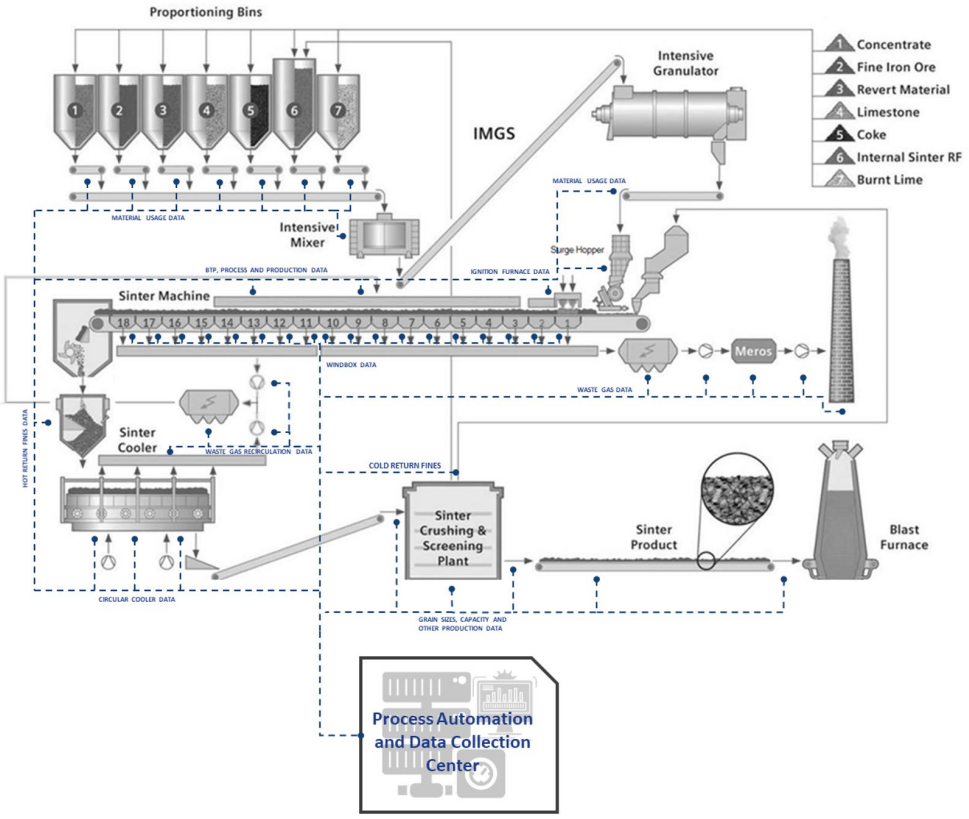


Abbildung 8: Ablaufdiagramm in der Sinterproduktion

Im ersten Schritt wurde ein Prognosemodell entwickelt, um den harmonischen Durchmesser als zentralen Qualitätsparameter für die Korngrößenverteilung des fertigen Sinters vorherzusagen. Dieses Prognosemodell ist ein ML (machine learning) Regressionsmodell, das auf der Random-Forest-Ensemble-Methode basiert. Zusätzlich wurden Ansätze wie Support Vector Machine Regressor, Multilayer Perceptron und K-Nearest-Neighbours Regressor evaluiert. Nach einem Optimierungsschritt zeigte das Modell einen normalisierten mittleren quadratischen Fehler von 8,9 % (entspricht 0.2 mm) bei der Vorhersage des Zielwerts (Korngröße), was über dem Stand der Technik liegt.

Das Modell mit der besten Leistung war jedoch zu komplex, um interpretiert zu werden, und obwohl es sich per se um kein Black-Box-Modell handelte, war es schwierig, auf eine Steuerstrategie oder eine neue Produktionseinsicht zu schließen (siehe Abbildung 8). Daher wurde im zweiten Schritt ein Discovery-Interview mit den Domänenexperten durchgeführt, um Domänenwissen über den Anwendungsfall zu sammeln sowie implizites Wissen zu materialisieren. Genauer gesagt wurde ein Einflussdiagramm als grobe Annäherung entwickelt. Abschließend wurde das Diagramm durch Visual Analytics und eine Prognosemodellanalyse verifiziert, die einen zusätzlichen Einblick in das Modell und die Entscheidungsgrundlagen gab (siehe Abbildung 10).

Abbildung 9: Einer von 255 Estimatoren (Entscheidungsbäumen) des Prognosemodells, der die Komplexität des Inferenzmodells zeigt.

Die Modellierung und das Verstehen von Abhängigkeiten in einem Produktionsprozess wurde traditionell durch verschiedene First Principle Modelle implementiert. Der Aufbau dieser Modelle erforderte ein tiefes Verständnis der Prozesse und die Durchführung zufälliger kontrollierter Experimente.

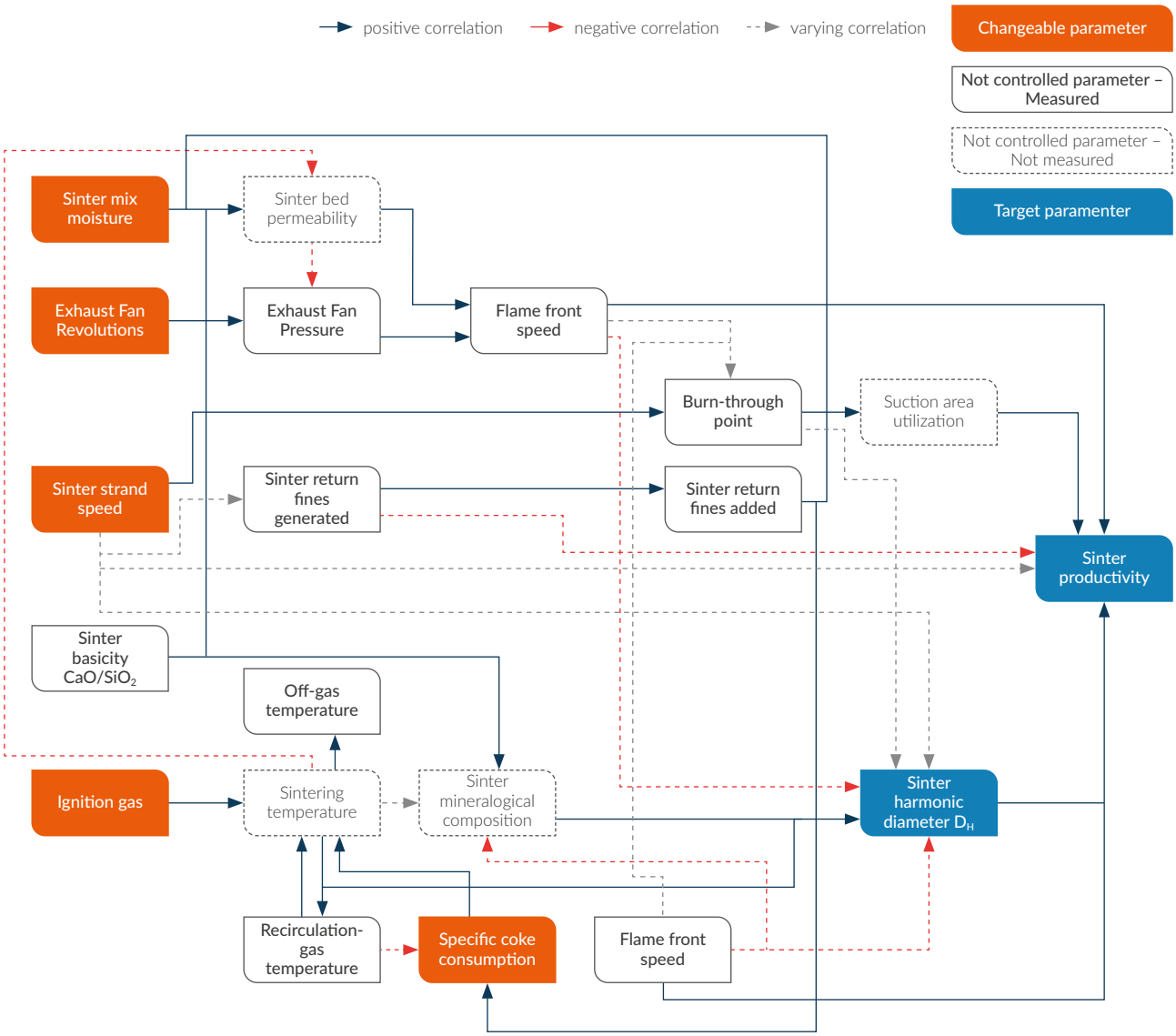


Abbildung 10: Darstellung der Einflussfaktoren in der Sinterproduktion

Im Sinteranlagenbetrieb ist die Prozessstabilität von größter Bedeutung, was die Durchführung von Großversuchen unmöglich macht (z. B. Unterbrechung der Produktion, Anforderungen an eine hohe Prozessstabilität, Lieferkettenabhängigkeiten usw.). Die Anwendung unseres Ansatzes ermöglichte es, diese entscheidenden Erkenntnisse auf nicht-obstruktive Weise durch die Analyse von Beobachtungsdaten zu gewinnen.

Wirkung und Effekte

Die Erkenntnisse des Projekts wirken sich direkt auf die Produktionsverbesserung laufender Sinter-Anlagen aus und zeigen vielversprechende Ergebnisse bei der Vorhersage des „harmonischen Durchmessers", wodurch der Output bei gleichbleibend hoher Materialqualität gesteigert wird.
Die Anwendung des entwickelten Ansatzes und der Aufbau eines maschinellen Lernmodells lieferten einen detaillierten Einblick in die Haupteinflüsse auf die Sinterqualität und wurden als Grundlage für einen ganzheitlichen Ansatz verwendet, bei dem zur weiteren Maximierung der produzierten Menge zusätzliche Modelle gebaut und verwendet wurden.
Die Ergebnisse wurden auf mehreren Konferenzen und im renommierten AISTech Journal of Iron & Steel Technology im März 2021 veröffentlicht. [137] [138]

Kontakt: Pro²Future GmbH
Science Park 4 der JKU Linz, Altenberger Straße 69, 4040 Linz
Campus Inffeldgasse der TU Graz, Inffeldgasse 25F, 8010 Graz
office@pro2future.at
www.pro2future.at

5.3 SILICON AUSTRIA LABS: VORAUSSCHAUENDE WARTUNG VON INDUSTRIELLEN SHREDDERN DURCH MACHINE LEARNING

Ein reibungsloser Maschinenbetrieb und optimierte Prozesse tragen wesentlich zum Erfolg von Industrieunternehmen bei. Im Rahmen eines gemeinsamen Projektes mit **Lindner-Recyclingtech GmbH** als Spezialisten für Zerkleinerungstechnik, entwickelte **Silicon Austria Labs (SAL)** ein System zur Datenerfassung und -verarbeitung, dass eine vorausschauende Wartung von Industriellen Shreddern ermöglicht. Das Ziel innerhalb des Projektes war es, einen effizienten und optimierten Maschinenbetrieb durch eine Echtzeitüberwachung zu gewährleisten.

[137] Details unter: http://digital.library.aist.org/iron-and-steel-tech.html

[138] Diese Success Story wurde von der Zentrumsleitung und den genannten Projektpartnern zur Veröffentlichung auf der FFG Website freigegeben. Das COMET-Zentrum Pro²Future wird im Rahmen von COMET – Competence Centres for Excellent Technologies durch BMK, BMDW, Oberösterreich und die Steiermark gefördert. Das Programm COMET wird durch die FFG abgewickelt. Weitere Informationen zu COMET: www.ffg.at/comet

Messerscharfe Datenerfassung

Der Schwerpunkt im Projekt lag auf der Wartung von zwei Schlüsselkomponenten, dem Schneidemesser und dem Antriebsriemen, bei einer Datenaufnahme in Echtzeit während des laufenden Betriebs. Schneidemesser nutzen sich je nach den zu zerkleinernden Materialien unregelmäßig schnell ab und auch der Riemen muss regelmäßig nachgespannt bzw. alle paar Monate getauscht werden, um einen sicheren Maschinenbetrieb zu gewährleisten. Passiert dies nicht, können Maschinenstillstände Zeit und Ressourcen kosten.

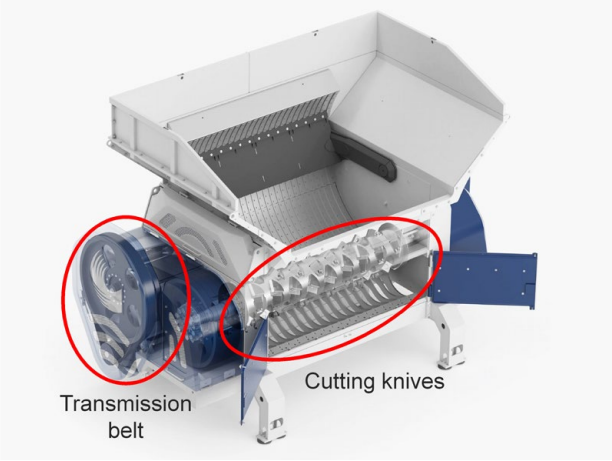


Abbildung 11: Industrieller Shredder mit Antriebsriemen & Schneideriemen

Im Projekt war es entscheidend, die richtige Technologie zur Überwachung und frühzeitiger Erkennung auszuwählen, um Fehlerquellen wie einen beschädigten Riemen so schnell als möglich zu finden und zu beheben. Die gesamte Datenanalyse erfolgte über Sensordaten.

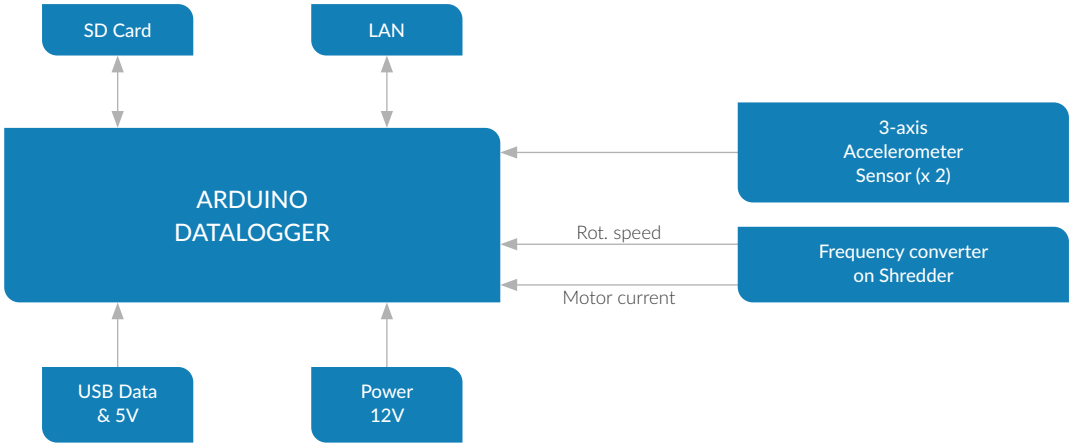


Abbildung 12: Datenlogger

Um die Messerschärfe zu beurteilen, setzten die Expert:innen bei SAL zwei verschiedene Beschleunigungssensoren ein, um kontinuierlich Daten zu erfassen: Einen Stromsensor zur Messung des Motorstroms sowie einen Sensor zur Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit. Zusätzlich wurde ein eigener Datenlogger entwickelt, welcher die Daten mit einer Abtastrate von 10ms aufzeichnet und diese regelmäßig via LAN interface überträgt.

Um die Riemenspannung zu messen, sind mehrere Inkrementalgebersensoren am Motor und Rotor befestigt, die mit einer Abtastrate von 1 MHz ausgelesen und mittels „Logic Analyzer“ analysiert wurden. Durch diese Analyse war es möglich, den Schlupf zwischen Motor und Rotor zu detektieren.

Die gesamten Daten wurden kontinuierlich während der Betriebszeit der Maschine und über einem Zeitraum von einem Jahr erfasst, denn grundsätzlich gilt: Umso größer die Datenmengen, umso zuverlässiger wird das Modell.

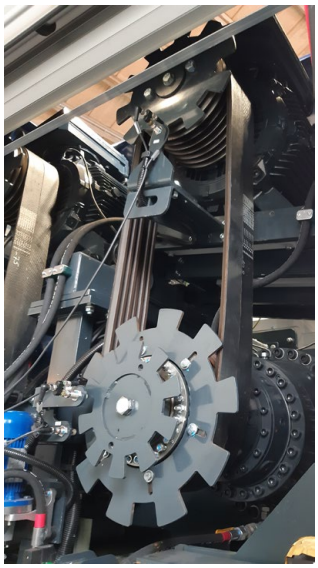


Abbildung 13: Riemen

Von der Erfassung zur Datenanalyse am Schneidemesser

Aus den Daten der Beschleunigungssensoren und des Motorstroms wurde das 50%ige und das 95%ige Perzentil berechnet. Höhere Werte wurden dabei als Ausreiser deklariert und ausgeschlossen. Während der Datenaufnahme wurden die Messer zwei Mal gewechselt. Für die Trainingsdaten wurden die Messwerte zwischen den Messerwechsel herangezogen, für die Testdaten die Werte nach dem zweiten Messerwechsel. Weiters wurde die Betriebszeit der Maschine berechnet und die Zeitpunkte in denen die Maschine über den festgelegten Schwellwert von 1000/min ansteigt ermittelt.

Deutlicher Abfall nach Messerwechsel:

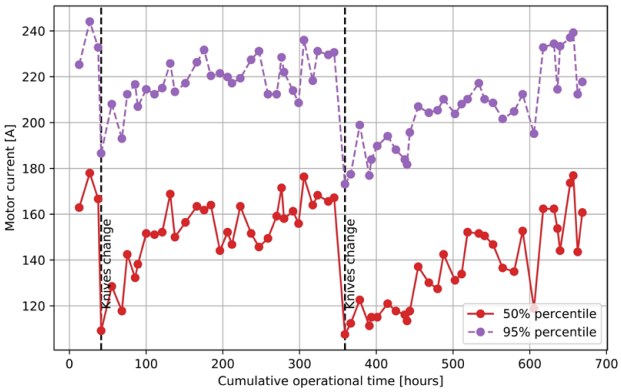


Abbildung 14: Motorstrom/Betriebszeit

Deutlicher Abfall der Beschleunigungswerte:

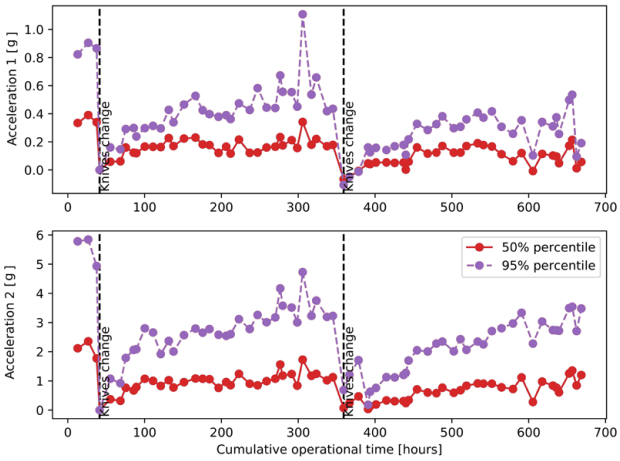


Abbildung 15: Beschleunigungswerte 1 & 2/Betriebszeit

Auf Basis der Daten wurde ein lineares Modell trainiert, um den durchschnittlichen Motorstrom vorherzusagen. Die unabhängige Variable ist die kumulative Betriebszeit seit dem letzten Messerwechsel. Das Modell ist bei den Testdaten sehr genau, woraus sich eine gute Reproduzierbarkeit zwischen verschiedenen Zeiträumen ergibt. Auch hier zeigt sich ein 50%iger Anstieg des Motorstroms vor dem Messerwechsel.

Ergebnisse des vorausschauenden Modells:

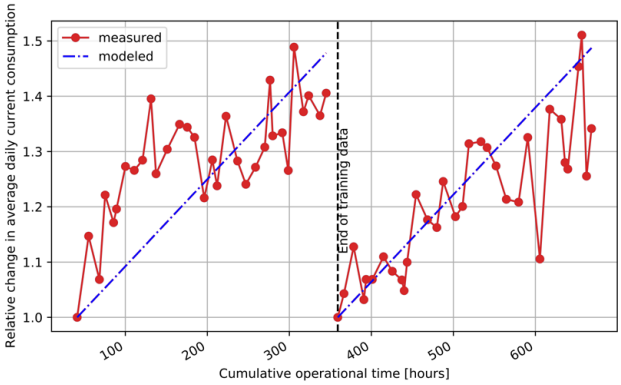


Abbildung 16: Kumulierte Betriebszeit

Von der Erfassung zur Datenanalyse am Antriebsrahmen

Für die Analyse der Riemenspannung wurden die Verzögerungsraten aus allen verfügbaren Datensätzen berechnet. Mit diesen Daten konnte ein lineares Modell trainiert werden, um die Zunahme des Schlupfs über die Zeit vorhersagen zu können. Für die Erstellung des Modells wurden 75 % der Daten verwendet, die restlichen Daten für den Test. Es zeigte sich ein deutlicher Anstieg des Schlupfs über die Zeit.

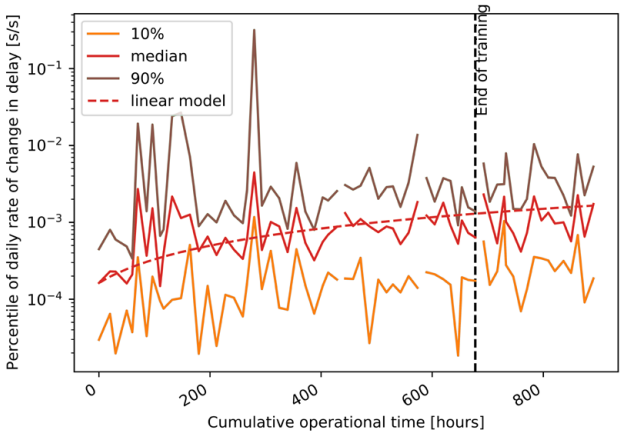


Abbildung 17: Kumulierte Betriebszeit

Machine Learning für eine Intelligente Instandhaltung

Auf Basis von Machine Learning entwickelte Modelle können für unterschiedlichste Anlagen im Bereich der vorausschauenden Wartung eingesetzt werden. Damit sparen sich Unternehmen nicht nur einiges an Maschinenkosten, sondern können auch Ausfallszeiten stark optimieren.

Kontakt: SAL Projektleiter: Dr. Federico Pittino
Kontakt: Heimo Müller
Heimo.mueller@silicon-austria.com
Silicon Austria Labs GmbH
Sandgasse 34
8010 Graz
Tel.: 05 0317
www.silicon-austria-labs.com

5.4 MAGNA STEYR FAHRZEUGTECHNIK: GLOBALE UND DATENGETRIEBENE OPTIMIERUNG DER AUTOMOBILLOGISTIK

Das nachhaltige und ganzheitliche Management der Teileversorgung ist eine erfolgsentscheidende Herausforderung in der Automobilproduktion. Die relevanten inhaltlichen Verantwortlichkeiten sind durch hohe Komplexität und starke Divergenz der Zielvorgaben charakterisiert. Die in den Teileversorgungsprozess eingebundenen Fachbereiche – Einkauf, Materialdisposition, Transportlogistik und Materialwirtschaft – operieren nach individuellen Zielvorgaben, die oft nicht ausreichend aufeinander abgestimmt sind.
Diese aus betriebswirtschaftlicher Sicht konkurrierenden Ziele können nur dann miteinander in Einklang gebracht werden, wenn eine gemeinsame Optimierung auf Basis einer Gesamtkostenbetrachtung erfolgt. Dazu müssen die kostenbestimmenden Einflussfaktoren der einzelnen Prozesse erfasst, analysiert und auf ein Gesamtkostenoptimum ausgerichtet werden.

Magna in Graz hat diese Herausforderung erkannt und gemeinsam mit dem **Know-Center**, dem österreichischen **COMET-Kompetenzzentrum für vertrauenswürdige künstliche Intelligenz**, eine Applikation zur ganzheitlichen, datenbasierten Optimierung der Prozesskosten entwickelt.

Eine detaillierte Prozesskostenrechnung bildet die Basis einer ganzheitlichen Betrachtung des Versorgungsprozesses. Im Projekt wurden beispielsweise Zusammenhänge zwischen der Lieferlosgröße und der Entwicklung der Nachschub- und Lagerkosten analysiert und die Lieferfrequenz wurde aufgrund der zentralen Rolle mengenabhängiger Staffelungen der Transportkosten als gemeinsame Optimierungsgröße für alle Teile eines Lieferwerks identifiziert.
Dieses Vorgehen stellte hohe Ansprüche an die Datenerfassung und -aufbereitung im Projekt: Je Teileposition finden rund 100 Datenattribute, von Transport- und Lagerkosten über Ladungsträgerdaten und Personalkosten bis zum Lieferantenstandort, Berücksichtigung. Über tausend Lieferwerke mit mehreren tausend Teilepositionen dienten als Datenbasis für das entwickelte Modell. Da die Datenqualität für das Projektergebnis von entscheidender Bedeutung war, wurde eine automatische Prüfung auf Aktualität, Korrektheit und Konsistenz implementiert.

Zur Schaffung maximaler Transparenz im Bewertungs- und Entscheidungsprozess wurde eine graphische Oberfläche entwickelt, die alle Faktoren der Modellrechnung visuell und interaktiv darstellt. Änderungen an den vom Modell vorgeschlagenen Werten können in ihren Konsequenzen auf die Zielgrößen in Echtzeit erprobt werden. So werden die Auswirkungen der Ergebnisse auf die einzelnen Fachbereiche sichtbar gemacht und es entsteht Vertrauen in die Modellrechnungen. Die grafische

Oberfläche ermöglicht trotz hoher Prozesskomplexität eine einheitliche und systematische Vorgehensweise in der Optimierung des Gesamtprozesses unter Berücksichtigung konkurrierender Zielsetzungen.

Die entwickelte Applikation ist bei Magna im produktiven Einsatz und hat zu signifikanten Kostenreduktionspotenzialen in den Logistikgesamtkosten geführt. Sie hat mehrere Preise und Auszeichnungen gewonnen und wurde in verschiedenen Fachartikeln besprochen.

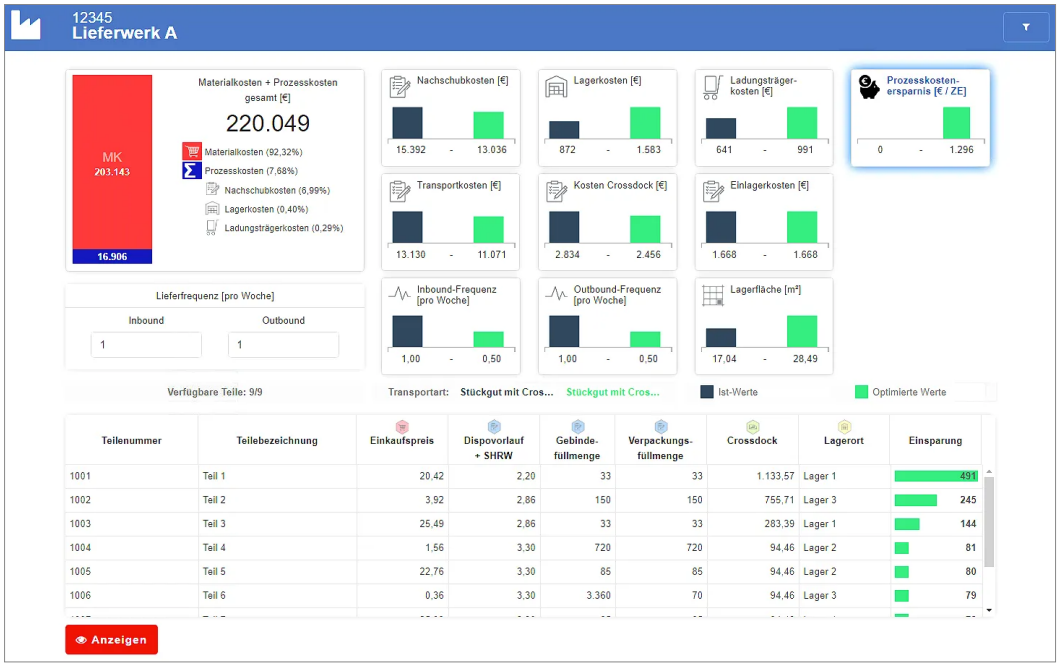


Abbildung 18: Grafische Oberfläche zur Interaktion mit einem Modell für die Gesamtkostenoptimierung des Logistik-Prozesses in der Automobilherstellung

5.5 BOC PRODUCTS & SERVICES AG: KI-BASIERTES ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNGSSYSTEM FÜR PRODUKTIONSPROZESSE

FAIRWork ist ein demokratisches und KI-basiertes Entscheidungsunterstützungssystem für Produktionsprozesse.

Produzierende Unternehmen in Österreich und der EU sind gefordert, global zu konkurrieren. Herausforderungen sind die Einführung von neuen Produktionsabläufen, die laufenden Veränderungen in der Supply Chain und die damit verbundenen gesetzlichen Vorgaben auf nationaler und europäischer Ebene sowie die Berücksichtigung diverser globaler Einflüsse.

Es gilt verschiedenste Parameter aus unterschiedlichen Perspektiven (z. B. Ressourcenverbrauch, Energie, Kosten, Effizienz und Automatisierungsgrad) zu berücksichtigen und in Einklang zu bringen. Darüber hinaus muss der Produktionsablauf auf kurzfristige Ereignisse reagieren können und eine vorausschauende Strategie verfolgen. Dies erfordert ein hohes Maß an Flexibilität. Dazu zählen auch schnelle und transparente Entscheidungsprozesse. Digitale Technologien wie Künstliche Intelligenz (KI) und Robotik werden in den Produktionslinien eingesetzt, um diesen Herausforderungen zu begegnen.

Um das Problem transparenter Entscheidungsprozesse zu bearbeiten, wird im Zuge des EU-finanzierten FAIRWork Projekts (ein KI-basiertes und dezentrales Entscheidungssystem entwickelt,[139] welches den Entscheidungsfindungsprozess unterstützt und demokratisiert, indem es alle involvierten Akteur:innen der Produktion beachtet. Die grundlegende Idee des Projekts wird in Abbildung 1 dargestellt. Der Ansatz wird in dem sogenannten Democratic AI-based Decision Support System (DAI-DSS) implementiert, um Entscheidungsträger:innen in Produktionsunternehmen unterstützen zu können.

Das Entscheidungssystem verwendet dazu Daten aus einer Wissensbasis (Knowledge Base), Input von involvierten Menschen und den momentanen Zustand der Produktion, welcher durch Digitale Zwillinge (Digital Twins) und/oder Digitale Schatten (Digital Shadows) bereitgestellt wird. Die Entscheidungsfindung selbst wird durch ein adaptierbares Set von KI-basierten Services (AI Enrichment Services) unterstützt, welches auf konkrete Entscheidungssituationen zugeschnitten ist.

Die Abstimmung der Services und der Entscheidungsprozesse zu konkreten Entscheidungsfällen liegt im Kern des DAI-DSS und wird durch eine modellbasierte Konfiguration (Configuration) und eine darauf basierende Orchestrierung (Orchestration) umgesetzt. Die in der FAIRWork-Lösung (DAI-DSS) verwendeten intelligenten Services sollen nicht statisch, sondern erweiterbar sein, um diverse industrielle Anwendungsfälle domain-spezifisch abzudecken.

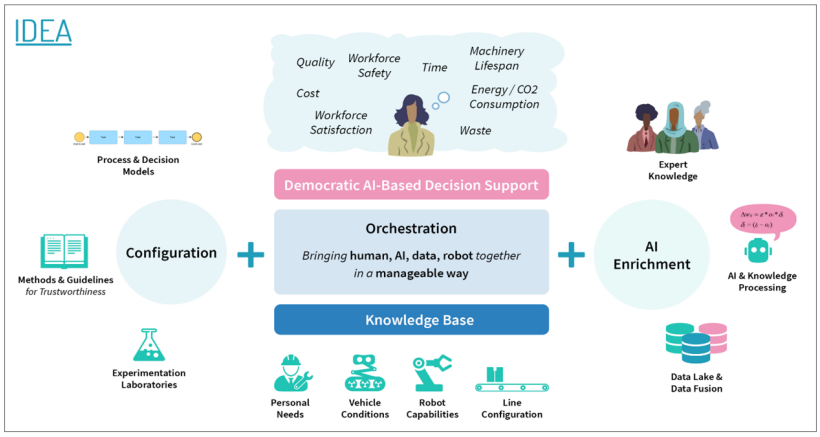


Abbildung 19: Visualisierung der FAIRWork Projekt Idee[140]

Damit das DAI-DSS eine Lösung vorschlagen kann, muss man nicht nur den Entscheidungsprozess konfigurieren, sondern es ist auch notwendig Zugriff auf aktuelle Daten der Produktionsabläufe zu gewährleisten. In FAIRWork werden diese Informationen durch eine Wissensbasis bereitgestellt, welche unterschiedliche Arten von statischen und dynamischen Daten beinhaltet und integriert, um das Wissen des Produktionsbetriebs anzureichern.

[139] https://fairwork-project.eu/

[140] Fairwork (2023)

Um die Entscheidungsfindung mit einem Informationssystem unterstützen zu können, müssen die Entscheidungen bzw. deren Klassen verstanden werden. Im Kontext des FAIRWork Projekts werden dazu die komplexen und flexiblen Entscheidungsprozesse von zwei Projektpartnern, Stellantis aus dem Automotive und Flex aus der elektronikbasierten Industrie, untersucht, evaluiert, und diese in Klassen von Problemstellungen (z. B. Fahrzeugbau und flexible Produktionszellen) abstrahiert, welche in Abbildung 2 blau dargestellt sind. Diese sind die Zuteilung von Ressourcen, die Konfigurationen von Produktionslinien und die Auswahl zwischen Alternativen.

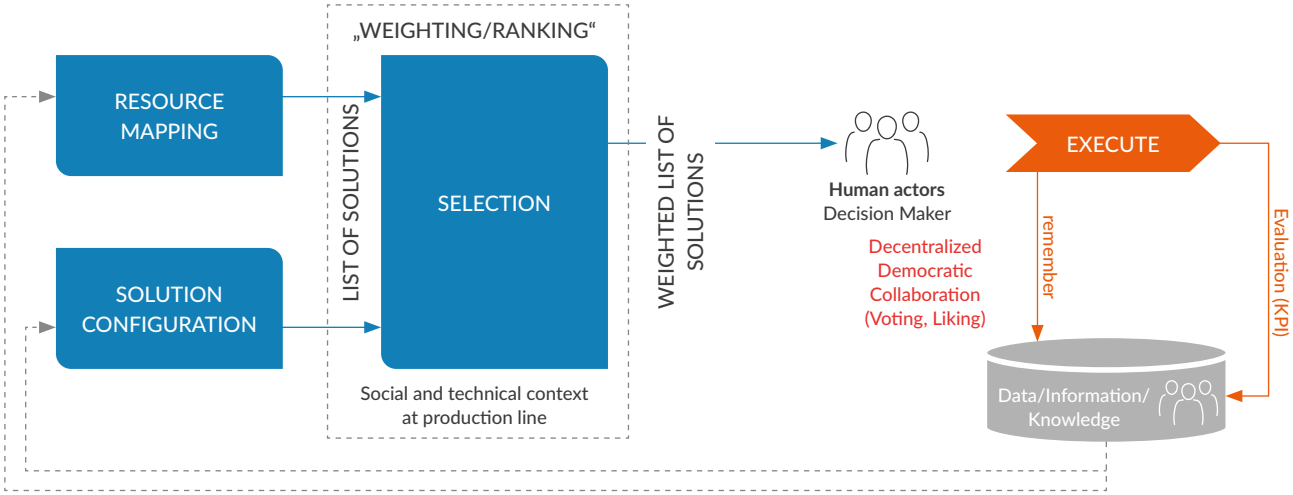


Abbildung 20: Darstellung der abstrakten Klassen von Entscheidungsproblem im Entscheidungsunterstützungsprozess [141]

Die Umsetzung der Innovation in FAIRWork erfolgt unter der Leitung von **BOC Products & Service AG** (Koordinator) mit ihrer Expertise in Modellierung und Softwareentwicklung. Die Produktionsbetriebe **Flextronics international GmbH, Flextronics Romania SRL** und **Stellantis/ Centro Ricerche Fiat SCPA** stellen die Use Cases bereit und **Jotne Connect** ist Technologielieferant. Beteiligt sind die Forschungsorganisationen **Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH**, **RTWH Aachen University** and **MORE – Laboratório Colaborativo Montanhas de Investigação**. **OMiLAB NPO** unterstützt Dissemination und offene Weiterentwicklung durch Erfahrung in einer internationalen Community of Practice. [142]

Kontakt: Dr. Robert Woitsch, Vorstand
BOC Products & Services AG
Operngasse 20b
1040 Wien, ÖSTERREICH
Tel.: +43-1-905 10 56
Fax: +43-1-905 10 81-2007
robert.woitsch@boc-group.com
www.boc-group.com

[141] Zeiner, H. (2023)

[142] BOCGroup (2022)

5.6 HG GREEN INNOVATION GMBH: 30 % EINSPARUNG DER ENTWICKLUNGSKOSTEN DURCH DIGITALE PRODUKTENTWICKLUNG

Das niederösterreichische KMU NG Green Innovation GmbH setzt bei der Entwicklung seiner Multifunktionsfräse auf digitale Produktentwicklung in Zusammenarbeit mit dem LCM (Linz Center of Mechatronics).
NG Green entwickelt und produziert Multifunktionsfräsen für die Förderung von unterschiedlichsten Schüttgütern wie beispielsweise Schnee, Sand, Kompost usw. Die Besonderheit, und damit der Innovationskern, ist das patentierte Schleuderrad. Damit wird das Schüttgut zerstörungsfrei und effizient durch einen Kamin geblasen.
Die Linz Center of Mechatronics Gmbh ist ein Forschungs-und Entwicklungsunternehmen für Mechatronik mit 120 Mitarbeitern und wurde im Jahr 2001 gegründet. LCM hat ca. 400 Kunden im DACH Raum und bedient vorwiegend die Branchen Automotive und Zulieferer, Maschinen- und Anlagenbau, sowie Medizintechnik.

Abbildung 21: Das patentierte Schleuderrad im Einsatz.

Das Schleuderrad ermöglicht eine Energieeinsparung von mehr als 70 % gegenüber anderen Technologien bei gleicher Förderleistung. Neben dem deutlich verbesserten Wirkungsgrad erfolgt die Förderung des Schüttguts zerstörungsfrei – das Schüttgut wird geworfen und nicht zerhackt. Damit reduzieren sich die Staubbelastung und der Einsatz für sensitive Schüttgüter ist möglich. Voraussetzung für die Erreichung einer Energieeinsparung von bis zu 70 % ist die bestmögliche Abstimmung von Schaufelradgeometrie und Betriebsparametern auf das jeweilige Schüttgut, sowie Abmessungen und Neigung des Wurfkamins.

Die bisher angewandte „traditionelle“ Herangehensweise mit Konstruktion gemäß Kundenspezifikation, Prototypenbau, Tests und anschließender Optimierung aufgrund der Testergebnisse, brachte für NG Green den Nachteil, dass die tatsächlichen Leistungsdaten der Multifunktionsfräse erst beim Testen, nach einem aufwendigen Bau des Prototyps, überprüft werden konnten. Wurden die geforderten Leistungsdaten nicht erreicht, musste nachoptimiert werden oder ein völlig neuer Prototyp gebaut werden – das kostete NG Green Zeit und Geld. Damit sanken Verkaufsmargen und Liefertermine waren eine ständige Herausforderung.

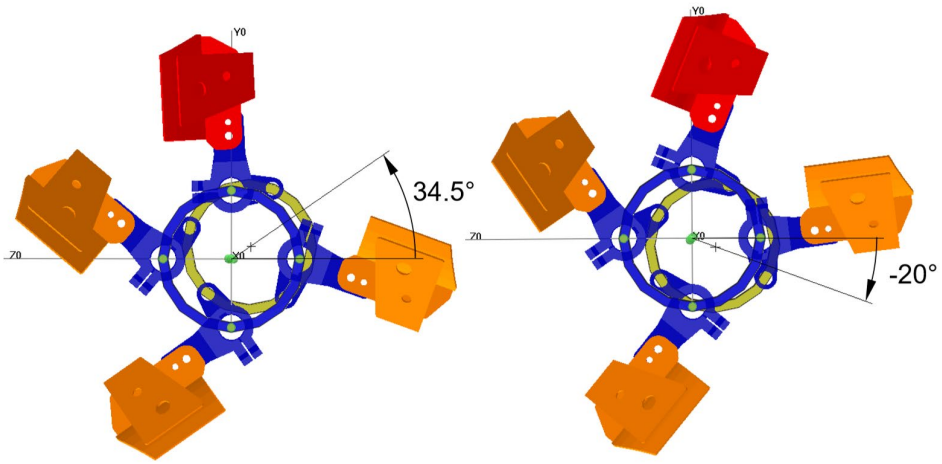


Abbildung 22: Schleuderrad mit verschiedenen Schleuderpunkteinstellungen.

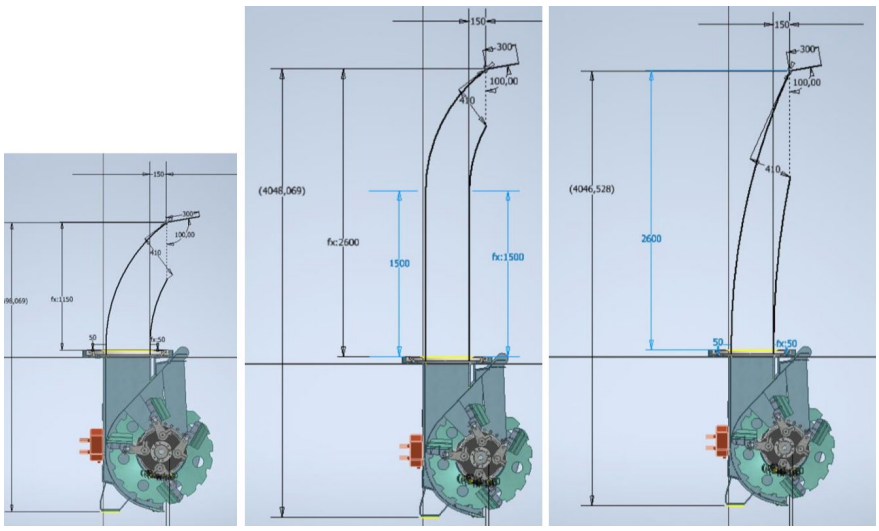


Abbildung 23: Verschiedene Kaminvarianten.

NG Green suchte einen Partner, um Entwicklungskosten zu senken und geplante Leistungsdaten abzusichern. Durch die Zusammenarbeit mit LCM im Bereich der digitalen Produktentwicklung und Simulation, welche 2016 startete, konnte insgesamt eine Kostensenkung und Zeiteinsparung erreicht werden. In rund 40 Arbeitsstunden erstellte LCM ein Simulationsmodell des Schleuderrads. Erste simulative Tests zu Geometrie, Verhalten der Schaufeln und optimalem Schleuderzeitpunkt wurden durchgeführt.

Die Evaluierung der von LCM simulierten Leistungsdaten mittels Tests des neu erzeugten Prototyps überzeugte NG Green von den Vorteilen der digitalen Produktentwicklung. Während des Zeitraums der Zusammenarbeit konnten rund 30 % an Entwicklungskosten gegenüber der „traditionellen“ Vorgehensweise eingespart werden.

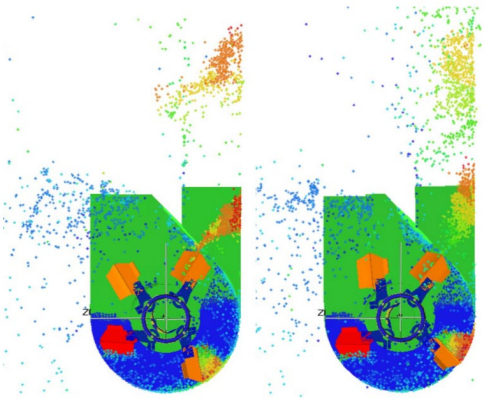


Abbildung 24: Simulation des patentierten Schleuderrades im Einsatz mittels der von LCM entwickelten Software HOTINT.

FACTBOX

Die digitale Produktentwicklung ermöglicht Kosteneinsparungen durch virtuelle Abbildungen in Form von Modellen und Simulationen.

- Detaillierte Simulationsmodelle reduzieren die Anzahl von realen Prototypen.
- Durch die reduzierte Anzahl von Prototypen sinkt der Umfang von Tests und Versuchen.
- Tests und Optimierungen können effizient und mit geringen Kosten vorab durchgeführt werden.
- Probleme und Verschleißspuren können beim digitalen Modell mit weniger Aufwand aufgezeigt werden als beim physischen Prototyp.

Kontakt: Linz Center of Mechtronics GmbH
Silicon Austria Labs GmbH
Altenberger Straße 69
4040 Linz
Tel.: +43 732 2468-6002
office@lcm.at
www.lcm.at

5.7 EBNER INDUSTRIEOFENBAU UND X-NET: AUTOMATISIERTE AUFTRAGSABWICKLUNG ENTLANG DER LIEFERKETTE

Die Plattform **Catch.direct**[143] ist eine Koproduktion von Industrie **(Ebner Industrieofenbau und X-Net)** und Wissenschaft **(AIT Austrian Institute of Technology GmbH)** und wird in Absprache mit allen relevanten Interessengruppen entwickelt. Sie unterstützt die Optimierung der Kapazitätsauslastung von Produktionsanlagen entlang der Supply Chain.

In der verarbeitenden Industrie müssen Produktionsstandards und festgelegte Liefer- und Produktionszeiten eingehalten werden, um Kundenbedürfnisse zu erfüllen. Fabriken werden mit Redundanzen und parallel eingerichteten Produktionslinien konzipiert, um Produktionsspitzen und Ausfälle einzelner Anlagen zu bewältigen. Dies führt dazu, dass einzelne Werke oft einen Überschuss an Produktionskapazität haben, der bis zu 50 oder 60 % der ~~ungenutzten~~ Kapazität pro Jahr betragen kann. Durch die zunehmende Digitalisierung und die Entstehung unternehmensübergreifender Wertschöpfungsnetzwerke steigen die Anforderungen an die produzierende Industrie.

Catch.direct ermöglicht eine Steigerung der Geschwindigkeit und Effizienz bei der unternehmensübergreifenden Auftragsvergabe und -abwicklung in der Fertigungsindustrie. Das Ziel besteht darin, die Produktion zu flexibilisieren und die Zusammenarbeit zwischen Hersteller:innen und Kunden:innen zu erleichtern. Durch die effizientere Ressourcennutzung in der Produktion trägt die Plattform zu den Zielen des Green Deals bei.

Die Plattform Catch.direct dient als Schnittstelle zwischen Kunden:innen und Anlagenbetreiber:innen. Das System gewährleistet eine schnelle Bearbeitung von (überregionalen) Projekten und ermöglicht eine effizientere Nutzung von Ressourcen. Das Design basiert auf technischen Methoden, die dem Security-by-Design-Ansätzen folgen.

Die Forschung und Entwicklung von Catch.direct basiert auf folgenden Entwurfsparadigmen:

- Intermediation: Eine rasche und vollautomatische Bearbeitung von Aufträgen reduziert noch nicht ausgelastete Anlagen, vermeidet Leerstände und steigert die Gesamteffizienz;
- Schnelligkeit: Unterstützung während der Vertragslaufzeit bedeutet Zeit- und Kostenersparnis bei Verkaufstransaktionen;
- Sicherheit: der:die Hersteller:in behält jederzeit die Kontrolle über seine:ihre Daten, die das Unternehmen ungesichert nicht verlassen dürfen. Die Plattform verhindert Wettbewerbsanalysen (z. B. Maschinentypen/Ausstattung, Kapazitäten, Preise);
- Transparenz: eine sichere Auftragsabwicklung wird durch die Vielfalt der Teilnehmer:innen und die vorher bekannten Bearbeitungskosten und -methoden erreicht. Durch Offenlegung der Methoden, Prozesse, Schnittstellen und Softwareimplementierungen wird Vertrauen in die Plattform geschaffen;
- Zusätzlicher Service und Nutzen: die Integration von Zusatzleistungen wie z. B. Versicherungsvermittlung, Finanzierung, Qualitätssicherung und Logistik bietet dem:den Kunden:in einen Zusatznutzen.

Die Plattformarchitektur identifiziert dezentral passende Produktionsanlagen und Dienstleistungsangebote für zu vergebende Aufträge (Matchmaking). In der Fertigungsindustrie fehlen derzeit umfassende Profile für die Darstellung heterogener Anlagen in Bezug auf technologische und wirtschaftliche Bedingungen des Matchmaking. Es sind Formalismen für die interorganisati-

[143] https://www.catch.direct/

onale Darstellung von Matchmaking-Assets auf verschiedenen Abstraktionsebenen und in mehreren Kontexten erforderlich. Darüber hinaus gibt es einen Mangel an dezentralen Empfehlungsmechanismen, die eine interorganisationale Koordination von Outsourcing-Angeboten und -Nachfrage ermöglichen. Diese Aufgabe erfordert eine hybride Matchmaking-Lösung mit semantischen Ähnlichkeitsmaßen und dynamischen Vertrauensmechanismen für die verbindliche Zuordnung von Industriegütern.

Die Plattform unterstützt Kund:innen und Lieferant:innen bei der eigentlichen Transaktionsanbahnung, ohne sensible Daten preiszugeben oder Geschäftsgeheimnisse zu verraten (durch Bereitstellung eines sicheren anonymen Auktionsdienstes). Erreicht wird dies durch die Verwendung von Multiparty-Computation (MPC), welche es erlaubt auf verschlüsselten Daten zu rechnen und es so den Usern ermöglicht am gemeinsamen Markt teilzunehmen, indem ein Auktionsmechanismus zur Ermittlung der besten Marktpreise ausführt wird, ohne auf die Daten im Klartext zuzugreifen. Da die MPC-Technologie nicht gut skalierbar und verhältnismäßig langsam ist, sind sorgfältig entwickelte Systeme und Protokolle erforderlich, um größere Marktplätze zu bewältigen. Darüber hinaus kann MPC mit Methoden des verifizierbaren Rechnens erweitert werden, was die Rückverfolgbarkeit einzelner Transaktionen verbessert, ohne die Privatsphäre der Daten zu beeinträchtigen.

Die Integration von Blockchain verbessert die Nachvollziehbarkeit und Transparenz für mehr Vertrauen und Akzeptanz der Plattform. Blockchain ermöglicht die Protokollierung und Nachverfolgung von Transaktionen und verwendet die Identitäts- und Schlüsselverwaltung, um eine offene Plattform zu ermöglichen. Aktuelle Entwicklungen, wie dezentrale Identifikatoren (DIDs), werden dabei berücksichtigt.

Der Ansatz des Projekts ist innovativ in Bezug auf den hohen Grad der Dezentralisierung und der Entwicklung von Sicherheitsalgorithmen und -standards, um sensible Geschäftsdaten (z. B. Unternehmensdaten, Produktionsdaten oder Projektkalkulationen) bestmöglich zu schützen.

Kontakt: Thomas Lorünser
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
E-Mail: Thomas.Loruenser@ait.ac.at
FH Oberösterreich, Logistikum Steyr
Supply Chain Cyber Risk Canvas & Cards

5.8 METHODE ZUR IDENTIFIKATION VON CYBER RISIKEN ENTLANG DER SUPPLY CHAIN

Im Rahmen des Projektes SSCCS (Secure Supply Chains for Critical Systems) haben die **Fachhochschule Oberösterreich** und das **Logistikum Steyr** – Forschungsbereich „Supply Chain Risk Management, Resilience & Security“ in Kooperation mit dem Department für Informatik und Security der **Fachhochschule St. Pölten** und dem **Carl Ritter von Ghega Institut** für integrierte Mobilitätsforschung **Supply Chain Cyber Risk Canvas und Cards** entwickelt. Die Karten basieren auf dem Business Model Canvas und sind für die Identifikation und das Management von Cyber Risiken in der Supply Chain entwickelt worden.

Diese Analyse erfordert interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen IT-Secuity und Prozess-Ownern (Supply Chain Management, Einkauf, Vertrieb, uvm.), die häufig durch unterschiedliche Sichtweisen auf die Supply Chain sowie unterschiedliche Begriffsverständnisse erschwert wird. Durch den Einsatz der Karten können mögliche Cyber Risiken in der Supply Chain interdisziplinär durch die Kombination der Prozesskenntnisse mit der Security-Expertise identifiziert und unterschiedlichen Supply Chain Flüssen, Integrationsgraden und einzelnen Assets zugeordnet werden. Darauf aufbauend kann mit geeigneten Risikomanagement- und Resilienzmaßnahmen entgegengesteuert werden

Ermöglicht wird dies durch einfache Texte und anschauliche Beispiele, die den Kontext der Karten für jede:n verständlich machen. Durch die Kombination von insgesamt 95 Karten in 10 Kategorien können hierbei völlig neue Blickwinkel auf bekannte und unbekannte Schwachstellen eingenommen werden bei gleichzeitigem Aufbau eines einheitlichen Grundverständnisses der relevanten Supply Chain. Die Kategorien und Unterkategorien basieren auf etablierten Frameworks (ENISA SC Threat Landscape, MITRE Attack Framework, uä.) und eignen sich für die Anwendung in interdisziplinären Workshops mit IT/OT-Security-Experten und Business Ownern (SCM, Einkauf, Vertrieb uvm.). Mithilfe der Nutzung eines vordefinierten Supply Chain Cyber Risk Canvas wird die Identifikation, Analyse, Bewertung und Behandlung von Cyber Risiken in der Supply Chain vereinheitlicht und damit einem interdisziplinären Ansatz zugänglich gemacht.

Das Canvas und die Karten sind in 10 Teilbereiche unterteilt. Diese Teilbereiche werden auf den Kategoriekarten erläutert und einleitend mit Fragen versehen, die die Workshop-Teilnehmenden im ersten Schritt begleiten. Zu jeder dieser Kategorien gibt es zahlreiche Beispielkarten, die basierend auf Praxisfällen und Erklärungen jeweils den Bezug zur Cyber Security verständlich machen.

<table>
<tr><th>SC Flüsse</th><th>Abteilungen</th><th>Assets</th><th>Risikomanagement</th><th>Resilienz</th></tr>
<tr><td>Welche Lieferkettenflüsse (Material, Geld, Informationen) werden berücksichtigt?</td><td>Welche Abteilung/Bereich ist betroffen?</td><td>Welches sind die kritischen Güter im definierten Bereich?</td><td rowspan="3">Wie werden Risiken derzeit behandelt? Wie können Risiken behandelt werden?</td><td rowspan="3">Wie wird Resilienz derzeit aufgebaut – Wie kann Resilienz aufgebaut werden?</td></tr>
<tr><th>Gefährdungen</th><th>Schutzziele</th><th>Integrationsgrad</th></tr>
<tr><td>Welche Risiken können auftreten?</td><td>Welche Schutzziele stehen im Mittelpunkt?</td><td>Wie hoch ist der Grad der Integration der anderen SC-Partner?</td></tr>
<tr><th colspan="3">Indikatoren</th><th colspan="2">Monitoring Tools</th></tr>
<tr><td colspan="3">Welche Indikatoren können zur Bewertung der Resilienz herangezogen werden?</td><td colspan="2">Wie kann eine kontinuierliche Überwachung gewährleistet werden?</td></tr>
</table>

Abbildung 25: Aufbau des SC Cyber Risk Canvas und der Karten

Abbildung 26: Kategorie-Karten

Die Karten wurden im Konsortium entwickelt und mit ausgewählten Use Case Partnern in der Praxis sowie auf Kongressen angewendet, verfeinert und weiterentwickelt. Durch diese umfassende Analysemöglichkeit bieten sich den Abteilungen Supply Chain Management, Cyber Security und weiteren Prozess-Ownern neue Chancen, Schwachstellen in den Supply Chains frühzeitig zu erkennen und deren Prozesse entsprechend zu stärken. Das Konzept berücksichtigt hier neben Risikomanagement- auch Resilienzansätze. Die Integration der Unterkategorien Monitoring und Indikatoren erlaubt zudem die kontinuierliche Betrachtung der identifizieren Risiken. Die Supply Chain Cyber Risk Canvas und Cards sind für den Einsatz in einem 1-Tages-Workshop konzipiert, können jedoch auf den jeweiligen Unternehmenskontext angepasst werden. Idealerweise basiert deren Einsatz auf einer zuvor durchgeführten Supply Chain Analyse, in welcher das Grundverständnis der Supply Chain und der aktuelle Reifegrad zu Supply Chain Security erhoben werden.

5.9 JOANNEUM RESEARCH KREISLAUFWIRTSCHAFT: VISUELLE CHARAKTERISIERUNG VON WERTSTOFFEN

Klima- und Nachhaltigkeitsziele, sowie die weltpolitische Lage, erfordern die Gewinnung und Wiederverwertung von Wertstoffen aus unterschiedlichsten Quellen um in Produktionsbetrieben ressourcensparend, kostengünstig und rasch auf Kundenanfragen reagieren zu können. Umso wichtiger ist es, die knappen und limitierten Ressourcen in Kreisläufen [144] unter möglichst geringem Einsatz von Energie und Aufbereitungshilfsstoffen optimal wiederzuverwerten, welche derzeit in hohem Ausmaß nicht verwertet werden (können). Dazu ist eine automatisierte Bestimmung der enthaltenen Wert- und Störstoffe entlang des gesamten Wertstoffkreislaufs, speziell in den Modulen Produktion, Sammlung und Recycling, eine unverzichtbare Basis (Abbildung 27).

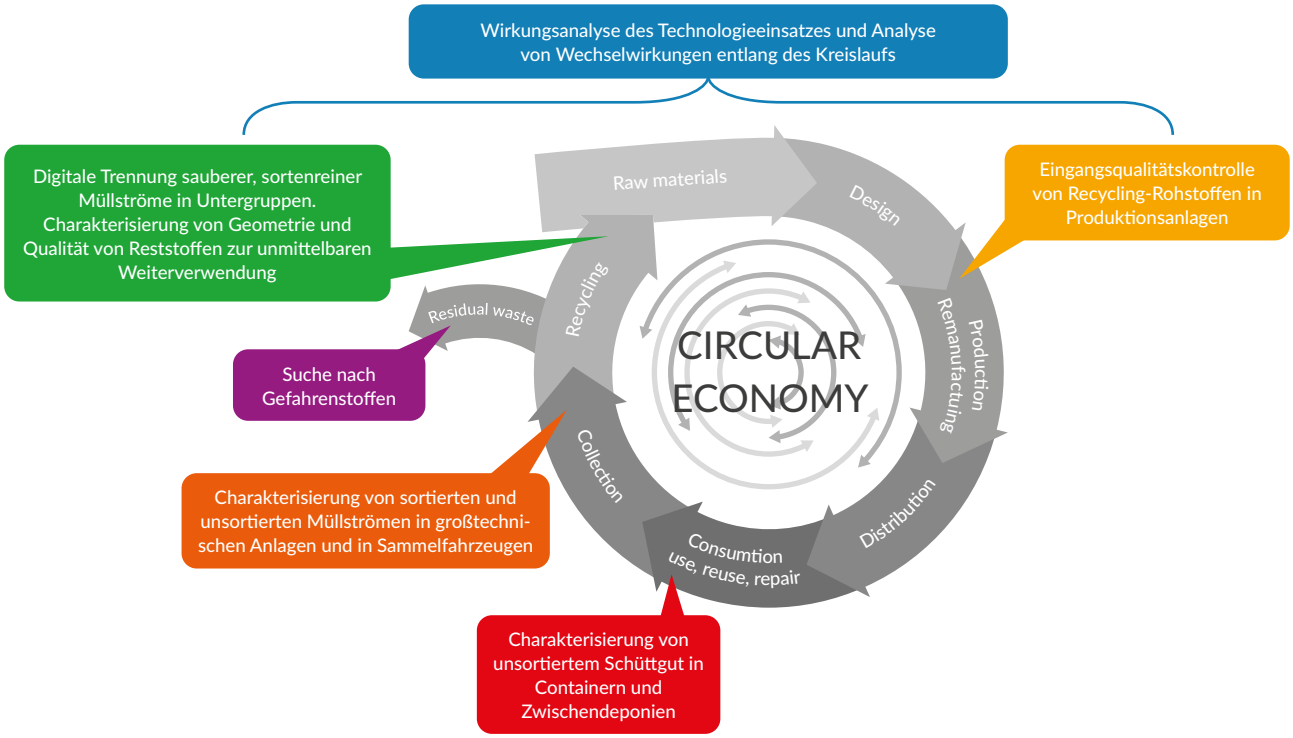


Abbildung 27: Wertstoffcharakterisierung in der Kreislaufwirtschaft

[144] Fraunhofer (2024)

Derzeit eingesetzte Messvorrichtungen und Auswertesysteme basieren auf Kameras, Multispektralsystemen, Wiegevorrichtungen und Induktivitätssensoren (z. B. bei der Schüttung in den Müllwagen, Abbildung 28 [145]). Sie haben zum Ziel Reststoffströme laufend abzutasten und aus den aufgenommenen Sensordaten eine grobe Zuordnung zu einer Klasse von Stoffen zu berechnen. Dies kann auf Förderbändern, im freien Fall oder während/nach Schüttungen erfolgen. Etablierte Analyseverfahren sind in den Bereichen der Glas- und Grobsortierung bereits sehr ausgereift; diese Verfahren weißen jedoch in den Bereichen Kunststoffsortierung, Metallsortierung, und Wertstoff-/Störstoffidentifizierung in Rest- und Biomüll Schwächen auf.

Abbildung 28: Bestimmung von Wertstoffen im Restmüll bei der Schüttung in den Müllwagen.

Eine weitgehend ungelöste Herausforderung bietet die Charakterisierung von komplexen Wertstoffströmen, nachdem auch modernste Sensorik nicht direkt die benötigten Informationen für eine ausreichende Sortierung erzeugen. Hohes Potenzial wird daher einerseits in der detaillierten Analytik von Wertstoffen mittels optischer Spektroskopie im SWIR (shortwave infrared) und MWIR (midwave infrared) Bereich [146 147 148] (Abbildungen 29–31) und andererseits in der Fusion aus allen echtzeitfähigen Sensoren in Kombination der multidimensionalen Datenanalyse (auf Basis akustischer, optischer und hyperspektraler Daten) mithilfe von Algorithmen aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz gesehen [149 150 151 152].

Abbildung 29: Charakterisierung von Fremdstoffen im Stahlschrott (© JOANNEUM RESEARCH – Bergmann)

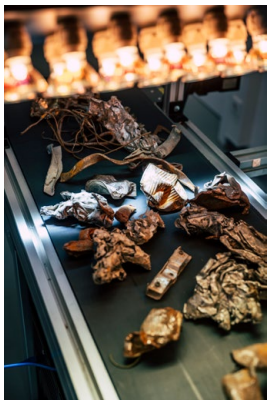


Abbildung 30: Hyperspektralsystem (©JOANNEUM RESEARCH – Bergmann)

[145] Waltner, G. et al. (2022)

[146] Rinnhofer, A. (2019a)

[147] Rinnhofer, A. (2019b),

[148] Jaschik, M. et al. (2024)

[149] Gursch, H. (2021)

[150] Ganster, H. (2021)

[151] Zeljkovic, V., Stojanovic, B., Ganster H. & Neskovic, A. (2023).

[152] Ganster, H., Jaschik, M. & Stojanovic, B. (2023).

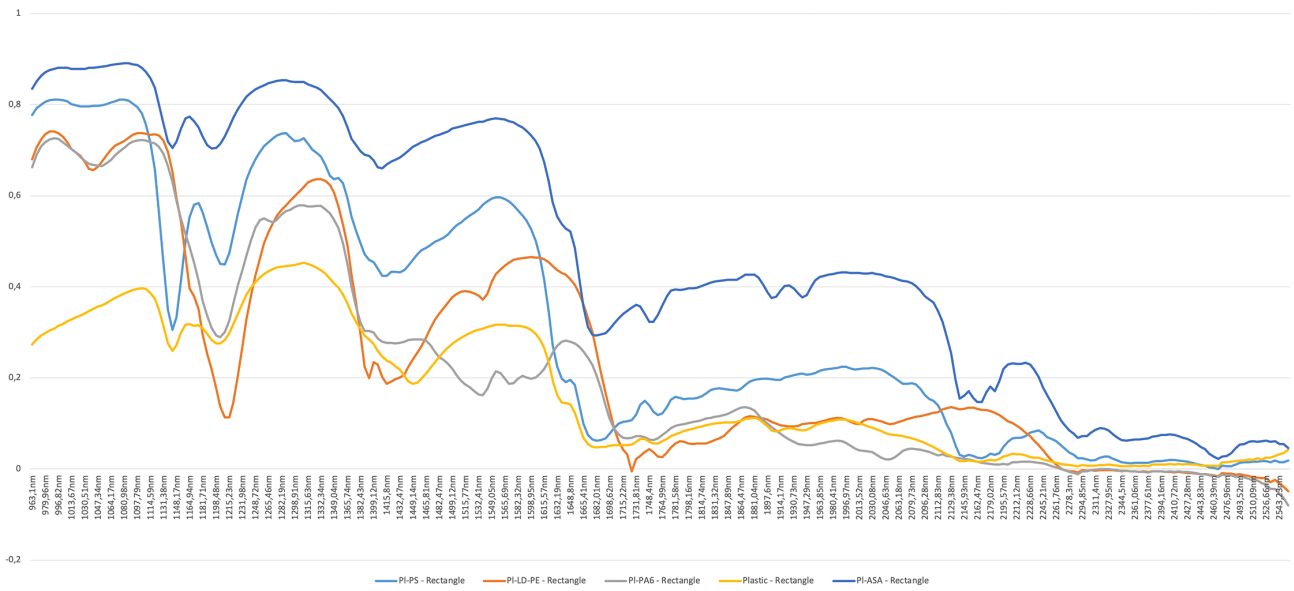


Abbildung 31: Spektren unterschiedlicher Kunststoffe erfasst mittels SWIR-Kamera: Polystyrol, Low Density Polyethylen (LDPE), Polyamid, Plastik (generisch), Acrylnitril-Styrol-Acrylester (ASA) (©Joanneum Research)

Ziel ist es, mit modernen Sensortechnologien und komplexer Datenanalytik eine möglichst allgemeingültige Lösung von Laborsystemen bis hin zum praktischen Industrieeinsatz für die Wertstoffcharakterisierung entlang des Rohstoffkreislaufs zu finden.

5.10 MECHATRONIK-CLUSTER DIGITALE DURCHGÄNGIGKEIT ALS ERFOLGSFAKTOR IM MASCHINENBAU

Produktinnovationen im **Maschinen- und Anlagenbau** beruhen heute zunehmend auf dem engen Zusammenwirken der klassischen mechatronischen Teildisziplinen Mechanik, Elektronik und Informatik. Die Mechatronik leistet unerlässliche Beiträge zur unaufhaltsam voranschreitenden digitalen Transformation von Engineering- und Geschäftsprozessen sowie deren Artefakten. Es gilt, Potenziale, die sich aus diesen hochdynamischen Wechselwirkungen ergeben, gewinnbringend zu nutzen, zu industrialisieren und diese in Entwicklung, Produktion/Fertigung, Inbetriebnahme, Nutzung, Wartung, Service bis hin zur Wiederverwendung oder -verwertung im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft erfolgreich einzusetzen.

Die Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau im Kontext der digitalen Transformation sind vielfältig und finden sich in der **horizontalen und vertikalen Integration in zunehmend netzwerkartigen Wertschöpfungssystemen**. Die Digitalisierung spiegelt sich dabei einerseits in konkreten, sichtbaren Produkten und Dienstleistungen wider, die kleinen und mittleren Unternehmen bzw. der Industrie zur Implementierung angeboten werden. Andererseits gewinnen unterstützende Softwaresysteme (Assistenzsysteme), die als „unsichtbare“ Elemente die digitale Transformation entlang der Wertschöpfungs-

netzwerke maßgeblich unterstützen, immer mehr an Bedeutung. Aus technologischer Sicht gilt es, Ansätze und Technologien wie IoT (Internet of Things), KI (Künstliche Intelligenz)/ML (Machine Learning), Data Analytics, Cyber Physical Systems oder auch Virtual Reality, Simulation oder Digital Twins u.a. in Produkten zu integrieren.
Die digitale Transformation von Unternehmen verlangt aber auch **Änderungen in Abläufen** und eine **Technologisierung von Prozessen über gesamte Wertschöpfungsnetze hinweg**. Die Grundlage für die zunehmende Automatisierung der Produktions- und Entwicklungsprozesse kann dabei die Entwicklung einer für die Problemstellung angepassten Beschreibungssprache sein, die als **Domain Specific Language (DSL)** bezeichnet wird und mit der eine **domänenspezifische Modellierung der zugrundeliegenden Prozesse und Produkte** möglich ist [153]. Zudem stellen Standards und Normen und weitere rechtliche Rahmenbedingungen bei der Implementierung neuer Technologien eine Herausforderung dar [154].

Datendurchgängigkeit im Sinne eines Digital Threads

Ein Schlüssel für den Erfolg liegt in der bestmöglichen Gestaltung eines durchgängigen, digitalisierten Engineerings und Managements technischer Anforderungen [155 156 157].Ein **durchgängiges, digitalisiertes Requirements-Engineering und -Management** wird in Maschinen- und Anlagenbauunternehmen im Gegensatz zu stark reglementierten Industrien wie Aerospace oder Medizintechnik bisweilen nur sehr eingeschränkt verwendet. Prinzipiell unterteilt man im digitalen Anforderungsengineering zwischen Anforderungen in der unternehmensinternen Produktentwicklung, den Kunden-/Markt- Anforderungen in einem Produkt-Weiterentwicklungszyklus und den spezifischen Anforderungen der (unternehmensexternen und internen) Stakeholder in einer Projektumsetzung. Die Struktur der Anforderungen reicht von klassischen Prosa-Formulierungen (z. B.: Text in einer E-Mail für eine Angebotseinholung) bis hin zu formalen Modellen (z. B.: konkrete System- und Baupläne in CAD-Format). Daten können in diesem Verständnis Modelle, Parameter, Messwerte, Bits & Bytes etc. sein Um eine vollständige Datendurchgängigkeit in Wertschöpfungsnetzen zu gewährleisten, ist ein digitales Engineering und Management von Anforderungen erforderlich, das eine Modellierung von technischen Anforderungen wie auch den Aufbau von Datenmodellen sowie der zugehörigen IT-Systemlandschaft umfasst und eine Nutzung von Anforderungsmodellen in internen Prozessen ermöglicht. [158 159 160 161] Dies stets unter der Prämisse einer DSGVO-konformen Verarbeitung der erforderlichen Daten. Nur durch die digitale Interaktion mit den Kunden und die digitale Verarbeitung und Verwaltung ihrer Bedürfnisse und Wünsche können Digitalisierung, Automatisierung und auch softwarebasierte Entscheidungen (Autonomisierung) in der Wertschöpfung ermöglicht werden.
Wichtig ist dabei eine entsprechende Durchgängigkeit über alle relevanten Unternehmensbereiche im Sinne eines Digital Threads [162 163]. Ein digitaler Thread beschreibt ein Rahmenwerk, das Datenflüsse verbindet und eine ganzheitliche Sicht auf die Daten einer Maschine, Anlage oder eines Prozesses über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg ermöglicht. Eine Durchgängigkeit in dieser Art ist auch Grundvoraussetzung für die Nutzung von Digital Twins [164 165]. Der Digitale Thread ist wiederum der digitale Strang (das digitale Rückgrat), über den alle digitalen Repräsentationen von Produkten, Systemen oder Prozessen

[153] Stark, R. et al. (2020)
[154] Schuh et. Al. (2017)
[155] Pahl & Beitz (2021)
[156] Lindemann, U. (2016)
[157] Eigner, M. (2021)
[158] Gausemeier et. al (2013)
[159] Eigner, M. (2021)
[160] Schierbaum, A. M. (2019)
[161] Fraunhofer (2013)
[162] Eigner, M. (2021)
[163] ibaset (2022): https://www.ibaset.com/what-is-the-digital-thread/
[164] Stark, R. et al. (2020)
[165] Eigner, M. (2021)

über den gesamten Lebenszyklus miteinander verbunden und integriert werden können [166] [167]. Er verknüpft alle Funktionen digitaler Zwillinge wie Designs, Leistungsdaten, Produktdaten, Daten aus der Lieferkette und Software, die in der Entwicklung und Erstellung einer Maschine, Anlage oder Dienstleistung eine Rolle spielen. Einerseits kann damit die Kommunikation und Transparenz zwischen den beteiligten Disziplinen verbessert werden. Andererseits kann die Qualität von Produkten, Teilgewerken wie auch Projekten gesteigert werden, indem Änderungen besser beherrschbar und Fehler bei der manuellen/analogen technischen Spezifikation über die gesamte Produktwertschöpfung hinweg verringert werden. Dies ermöglicht kürzere Entwicklungszeiten, geringere Engineeringkosten (z. B. auch durch den Einsatz von Cloud-Diensten) und geringere Änderungskosten.

Beherrschung der Komplexität als Herausforderung

Die große Herausforderung liegt in der Entwicklung von Konzepten, mit denen die hohe Interdisziplinarität und Komplexität der Produkte und Engineeringprozesse besser beherrschbar werden [168] [169]. Ein Ansatz, dem in diesem Zusammenhang eine erfolgversprechende Rolle zugesprochen wird, ist das **Systems Engineering bzw. das Model-based Systems Engineering** [170] [171]. Darunter versteht man die durchgängige und fachdisziplinenübergreifende Beschreibung des zu entwickelnden Systems in Systemmodellen, die in Verbindung mit entsprechenden Methoden und Werkzeugen den Entwickler:innen Ausdrucksmittel an die Hand geben, die jede Disziplin gleichermaßen versteht. Diese Konzepte gewinnen zunehmend auch in der Entwicklung, Fertigung bzw. Errichtung individueller Maschinen- und Anlagen an Bedeutung. Eine modellbasierte Systementwicklung und der damit verbundene disziplinenübergreifende Austausch über CAx-Modelle, Systemmodelle etc., wie auch neue Beschreibungssprachen und Tools zur Unterstützung des Austausches von Daten (Modellen, Parametern usw.) über Unternehmensbereiche hinweg sind dabei erfolgversprechende Ansatzpunkte [172].
Diese Ansätze müssen für den hohen kundenspezifischen (Engineer-To-Order) – Anteil im Maschinen- und Anlagenbau einerseits vereinfacht (schnelle Einsetzbarkeit ohne hohen Einarbeitungsaufwand), aber auch hinsichtlich späterer Phasen im Produktlebenszyklus (Fertigung/Montage, Betrieb, Service) erweitert werden. Zusätzlich können Redundanzen im Sinne einer Single Source of Truth vermieden werden. Damit soll ein Handlungsrahmen geschaffen werden, der ein „Engineering der Zukunft“ ganz im Sinne einer „Produktion der Zukunft“ erst ermöglicht.
Ein Aspekt, der bei der Entwicklung von Digital Thread-Konzepten und deren Umsetzung in der Praxis von Anfang an berücksichtigt werden muss, sind rechtliche Rahmenbedingungen. Diese müssen begleitend identifiziert und auf ihre spezifische Relevanz für das Vorhaben untersucht werden, um ein Digital Thread-Konzept nicht nur wertschöpferisch und technisch, sondern auch rechtlich einwandfrei und somit insgesamt zielführend umsetzen zu können. Notwendig ist daher eine interdisziplinäre Zusammenarbeit in Gestalt eines technisch-rechtlichen Co-Kreationsprozesses. Ausgewählte Rechtsbereiche mit projektspezifischer Relevanz sind beispielsweise das Kartell- und Wettbewerbsrecht, das Datenschutzrecht oder Aspekte der zivil- und auch strafrechtlichen Haftung.

Zusammengefasst – die Entwicklung und Umsetzung fortschrittlicher, aber dennoch praxistauglicher Digital Thread-Konzepte ist für den Maschinen- und Anlagenbau DER wettbewerbsentscheidende Faktor, der eine kundenindividuelle und flexible Entwicklung, Fertigung und Errichtung von hochkomplexen Maschinen, Anlagen und Systemen ermöglicht. Die Realisierung

[166] Eigner, M. (2021)
[167] ibaset (2022).
[168] VDI (2019)
[169] VDI (2021)
[170] chierbaum, A. M. (2019)
[171] Walden, D.D., Roedler, G. J. & Forsberg, K. et al. (2017)
[172] Eigner, M. (2021)

benötigt neue methodische Vorgehensweisen und den Einsatz neuer Technologien vor allem zur Sicherstellung der Durchgängigkeit und Automatisierung der Prozesse.

Unter dem Titel „TraceMe – Requirements-driven Digital Transformation Competences in Mechanical and Plant Engineering" arbeiten seit September 2022 acht Unternehmen und sechs Forschungseinrichtungen an der Entwicklung eines technologischen Rahmenwerks im Sinne des Digital Threads zur Sicherstellung der digitalen Durchgängigkeit über alle Wertschöpfungsnetze als auch der Beherrschung der steigenden Komplexität im Maschinen- und Anlagenbau.

Kontakt: Mag. Elmar Paireder
Leiter Mechatronik-Cluster, Business Upper Austria – OÖ Wirtschaftsagentur GmbH
elmar.paireder@biz-up.at
In Zusammenarbeit mit Vertretern des Mechatronik-Cluster-Beirats und der Partner des Leitprojektes „TraceMe"

DANK

6

An diesem Ergebnispapier haben die Mitglieder der Expert:innengruppe „neue Technologien," der Plattform Industrie 4.0 Österreich mitgearbeitet.

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

Stefan Rohringer, Infineon Technologies AG, Vorsitzender der Expert:innengruppe
Fazel Ansari, Technische Universität Wien
Josip Bozic, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH
Gert Breitfuss, Know-Center GmbH
Franz Haas, Technische Universität Graz
Stefanie Lindstaedt, I:TU
Steffen Nixdorf, Technische Universität Wien
Viktoria Pammer-Schindler, Know-Center GmbH
Bernhard Peischl, AVL List GmbH
Ralf Schledjewski †, Montanuniversität Leoben
Sabrina Sorko, FH JOANNEUM Institut Industrial Management
Sabine Varetza-Pekarz, incorporate future KG
Martin Weinzerl, AVL List GmbH
Herwig Zeiner, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH
Klaus Zeman, Johannes Kepler Universität Linz

Folgende Expert:innen wurden konsultativ eingebunden (in alphabetischer Reihenfolge):

Christian Altmann, Business Upper Austria
Fazel Ansari, TU Wien
Eric Armengaud, Armengaud Innovate
Gabriele Bauer, voestalpine
Christian Berger, Arbeiterkammer Wien
Josip Bozic, Joanneum Research
Branz Denise, Plattform Industrie 4.0
Gert Breitfuss, Know-Center
Manuel Brunner, FH OÖ
Klaus Bernhardt, FEEI
Alexander Biedermann, TD Synnex
Horst Bischof, TU Graz
Manuel Brunner, FH OÖ
Bernhard Dachs, AIT
Peter Dorfinger, Salzburg Research
Mario Drobics, AIT
Walter Eichner, Beckhoff Automation
Wilfried Enzenhofer, Upper Austrian Research
Michael Fälbl, Verein Industrie 4.0
Alois Ferscha, JKU
Iris Fischl-Ruhland, Industriellenvereinigung
Emmanuel Glenck, FFG
Norbert Gstöttenbauer, voestalpine Stahl
Georg Güntner, Salzburg Research
Franz Haas, TU Graz
Margit Haas, FFG
Wolfgang Haidinger, Industriellenvereinigung
Verena Halmschlager, Verein Industrie 4.0
Ingo Hegny, BMK
Michael Herburger, FH OÖ
Fridolin Herkommer, AK Wien
Carina Hochstrasser, FH OÖ
Paul Hofmann, FH Joanneum
Robert Holzer, RECENDT
Gerd Hribernig, Pro²Future
Markus Jäger, Pro²Future
Agnes Jodkowski, AIT
Lisa Kainz, SAL Silicon Austria Labs
Wolfgang Kienreich, I:TU
Gunda Kirchner, Wiener Stadtwerke

Christoph Krammer, Magna
Willibald Krenn, SAL Silicon Austria Labs
Thomas Lamprecht, Tietoevry Austria
Christian Landschützer, TU Graz
Helmut Leopold, AIT
Stefanie Lindstaedt, I:TU
Johannes Homa, Lithoz
Harald Loos, Siemens
Vincent Maholetti, T-Systems Austria
Isabella Meran-Waldstein, Industriellenvereinigung
Heimo Müller, SAL Silicon Austria Labs
Belgin Mutlu, Pro²Future
Steffen Nixdorf, TU Wien
Klaus Oberreiter, Business Upper Austria
Thomas Orac, Fronius
Elmar Paireder, Business Upper Austria
Viktoria Pammer-Schindler, Know-Center
Bernhard Peischl, AVL List
Christoph Pröll, Upper Austrian Research
Siegfried Reich, Salzburg Research
Wolfram Rhomberg, AIT
Stefan Rohringer, Infineon
Jessica Roth, Verein Industrie 4.0
Florian Rosenberger, Industriellenvereinigung
Petra Schefzig, Industriellenvereinigung
Patricia Schedifka, BMK
Klaus Schiessl, AUVA
Ralf Schledjewski †, Montanuniversität Leoben
Jasmina Schnobrich-Cakelja, Plattform Industrie 4.0
Michael Schwantzer, Wirtschaftsagentur Wien
Hannes Schwetz, aws
Christoph Slouka, WKÖ
Michael Soder, Arbeiterkammer Wien
Roland Sommer, Plattform Industrie 4.0
Sabrina Sorko, FH JOANNEUM
Arko Steinwender, TU Wien
Petra Stricker, Industriellenvereinigung
Martin Tschandl, FH Joanneum
Sabine Varetza-Pekarz, incorporate future
Matej Vukovic, Pro²Future
Franz Weghofer, Magna
Martin Weinzerl, AVL List
Edgar Weippl, Universität Wien
Roland Wiesmüller, T-Systems
Georg Zahradnik, AIT
Herwig Zeiner, Joanneum Research
Klaus Zeman, JKU
Thomas Zemen, AIT
Alois Zoitl, JKU

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Auszug aus wichtigen Initiativen ... 10
Abbildung 2: Machine Learning im Umfeld von End-Of-Line Prüfständen [30] ... 24
Abbildung 3: Integration des Cyber-phyiscal-social-Raum (adaptiert nach 53) 32
Abbildung 4: Eine Konzeptkarte von CPS (adaptiert nach 61) ... 34
Abbildung 5: Korrelationsmatrix aller Prozessparameter, welche die Tapebreite nach der Konsolidierung beeinflussen ... 72
Abbildung 6: Machine Learning Optimierungsprozess für die Vorhersage der Tapebreite im AFP-Prozess ... 72
Abbildung 7: Oberflächenfehler-Erkennung mit Infrarot Thermographie ... 73
Abbildung 8: Ablaufdiagramm in der Sinterproduktion ... 74
Abbildung 9: Einer von 255 Estimatoren (Entscheidungsbäumen) des Prognosemodells, der die Komplexität des Inferenzmodells zeigt. ... 75
Abbildung 10: Darstellung der Einflussfaktoren in der Sinterproduktion ... 75
Abbildung 11: Industrieller Shredder mit Antriebsriemen & Schneideriemen ... 77
Abbildung 12: Datenlogger ... 77
Abbildung 13: Riemen ... 78
Abbildung 14: Motorstrom/Betriebszeit ... 78
Abbildung 15: Beschleunigungswerte 1 & 2/Betriebszeit ... 78
Abbildung 16: Kumulierte Betriebszeit ... 79
Abbildung 17: Kumulierte Betriebszeit ... 79
Abbildung 18: Grafische Oberfläche zur Interaktion mit einem Modell für die Gesamtkostenoptimierung des Logistik-Prozesses in der Automobilherstellung ... 81
Abbildung 19: Visualisierung der FAIRWork Projekt Idee [140] ... 82
Abbildung 20: Darstellung der abstrakten Klassen von Entscheidungsproblem im Entscheidungsunterstützungsprozess [141] ... 83
Abbildung 21: Das patentierte Schleuderrad im Einsatz. ... 84
Abbildung 22: Schleuderrad mit verschiedenen Schleuderpunkteinstellungen. ... 85
Abbildung 23: Verschiedene Kaminvarianten. ... 85
Abbildung 24: Simulation des patentierten Schleuderrades im Einsatz mittels der von LCM entwickelten Software HOTINT. ... 86
Abbildung 25: Aufbau des SC Cyber Risk Canvas und der Karten ... 89
Abbildung 26: Kategorie-Karten ... 90
Abbildung 27: Wertstoffcharakterisierung in der Kreislaufwirtschaft ... 91
Abbildung 28: Bestimmung von Wertstoffen im Restmüll bei der Schüttung in den Müllwagen. ... 92
Abbildung 29: Charakterisierung von Fremdstoffen im Stahlschrott (© JOANNEUM RESEARCH – Bergmann) ... 92
Abbildung 30: Hyperspektralsystem (©JOANNEUM RESEARCH – Bergmann) ... 92
Abbildung 31: Spektren unterschiedlicher Kunststoffe erfasst mittels SWIR-Kamera: Polystyrol, Low Density Polyethylen (LDPE), Polyamid, Plastik (generisch), Acrylnitril-Styrol-Acrylester (ASA) (©Joanneum Research) ... 93

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.

Accenture (2021): The European Double Up. A Twin Strategy That Will Strengthen Competitiveness. Retrieved from: https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/r3-3/pdf/pdf-144/accenture-the-european-double-up.pdf#zoom=50

Accenture/IV (2023). Erfolgsfaktor Digitalisierung –Zukunftsfaktor Nachhaltigkeit.
Retrieved from: https://www.iv.at/-Dokumente-/Publikationen/2023/Digitale-Dividende-2023.pdf

Anderl, R., Eigner, M., Sendler, U., Stark, R. (2012). Smart Engineering – Interdisziplinäre Produktentstehung. acatech DISKUSSION. Springer.

Ansari F., Khobreh M., Seidenberg U. & Sihn W. (2018). A Problem-Solving Ontology for Human-Centered Cyber Physical Production Systems, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Elsevier, Vol./Issue: 22C, pp. 91-106.

Ansari F., Nixdorf S. & Sihn W. (2020). Insurability of Cyber Physical Production Systems: How Does Digital Twin Improve Predictability of Failure Risk?, 4th IFAC Conference on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technologies, September 10-11, 2020, Cambridge, UK, IFAC-PapersOnLine Volume 53, Issue 3, pp. 295-300.

Ansari, F. (2020). Cost-Based Text Understanding to Improve Maintenance Knowledge Intelligence in Manufacturing Enterprises, Journal of Computer and Industrial Engineering, Vol. 141, 2020.

Bauernhansl, T., ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (2014). Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendungen, Technologien, Migration. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Bendig D., Lau K., Schulte J. & Endriß S. (2021): Industrie 5.0 - Die Europäische Kommission auf den Spuren der nächsten industriellen Revolution?. IM 376(2021), S. 20-22. Online: https://www.industrie-management.de/node/492

Bierzynski, K., et al. (2021). "AI at the Edge, 2021 EPoSS White Paper." (2021): 1-50.

BMAW (2024). IPCEI – Important Projects of Common European Interest.
Retrieved from: https://www.bmaw.gv.at/Themen/Wirtschaftsstandort-Oesterreich/IPCEI.html#:~:text=IPCEI%20steht%20f%C3%BCr%20%22wichtige%20Vorhaben,Unterst%C3%BCtzung%20der%20Erf%C3%BCllung%20von%20europ%C3%A4ischen (März 2023)

https://www.efre.gv.at

BMBWF, BMK &BMAW (2023). Österreichischer Forschungs- und Technologiebericht.
Retrieved from https://www.bmk.gv.at/themen/innovation/publikationen/forschungsberichte/ft_bericht23.html (März 2024)

BOCGroup (2022). Retrieved from: https://www.boc-group.com/de/boc-group-als-repraesentativer-anbieter-im-gartner-market-guide-2022-for-enterprise-business-process-analysis-tools/ (28.06.2023)

Bonci A., Cen Cheng P.D., Indri M., Nabissi G. & Sibona F. (2021). Human-Robot Perception in Industrial Environments: A Survey. Sensors. 21(5):1571. https://doi.org/10.3390/s21051571

Buhr, D. (2015). Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0. Expertise im Auftrag der Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung. Bonn.

Breitfuß, G., Fruhwirth M., Pammer-Schindler V., Ster & Dennerlein S. (2019): The Data-Driven Business Value Matrix. A Classification Scheme for Data-Driven Business Models. In Andreja Pucihar (Ed.): 32nd Bled eConference Humanizing Technology for a Sustainable Society, pp. 803–820.

Chuah, S. H. (2020). Wearable XR-Technology: Literature Review, Conceptual Framework and Future Research Directions, in: International Journal of Technology Marketing, 13. Jg., Heft 3/4, S. 205–259.

Corallo, A., Lazoi, M. and Lezzi, M. (2020). Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts. In: Computers in Industry, Vol. 114.

CPS Summit (2008). Report: Cyber-Physical Systems Summit. St. Louis, Missouri. Retrieved from

http://iccps2012.cse.wustl.edu/_doc/CPS_Summit_Report.pdf

Dalle Carbonare, D., et al. (2020). BIG DATA CHALLENGES IN SMART MANUFACTURING INDUSTRY A Whitepaper on Digital Europe Big Data Challenges for Smart Manufacturing Industry. p. 1-56.

de Carvalho Silva J., Rodrigues J. J. P. C, Alberti A. M., Solic P., Aquino A. L. L. (2017). LoRaWAN - A Low Power WAN Protocol for Internet of Things: a Review and Opportunities. In: Proceedings of the International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech).

De Smet, A., Lurie, M., St George, A. (2018). Leading agile transformation. The new capabilities leaders need to build 21st century organizations, in: McKinsey&Company (online). Retrieved from: https://www.mckinsey.com/capabilities/people-and-organizational-performance/our-insights/leading-agile-transformation-the-new-capabilities-leaders-need-to-build-21st-century-organizations (19.10.2022)

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.

Dietrich M. et.al. (2022). Cloud Computing in Europe: Landscape Analysis, Adoption Challenges and Future Research and Innovation Opportunities. H-Cloud White Paper, 2022

Dombrowski, U., Riechel, C., & Evers, M. (2014). Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. Industrie, 4, 129–153.

Eigner, M. (2021). System Lifecycle Management – Digitalisierung des Engineerings. Baden-Baden: Springer Vieweg Verlag.

ENISA (2018). The European Union Agency for Cybersecurity. Good Practices for Security of Internet of Things in the Context of Smart Manufacturing. ENISA: Athens, Greece.

European Commission, Industry 5.0: Human-centric, sustainable and resilient, 2021, DOI10.2777/073781

European Commission: Industry 5.0 Towards a sustainable, humancentric and resilient European industry, in: Publications Office of the European Union, [online] Industry 5.0 (europa.eu) [19.10.2022].

European Innovation Scoreboard (2023). EIS 2023 – RIS 2023. Retrieved from: https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/statistics/performance-indicators/european-innovation-scoreboard/eis (Februar 2024).

Europäische Kommission, Generaldirektion Kommunikationsnetze, Inhalte und Technologien, Ethik-leitlinien für eine vertrauenswürdige KI, Publications Office, 2019, https://data.europa.eu/doi/10.2759/22710

Fairwork (2023). Retrieved from: https://fairwork-project.eu/index.html#1_Insights (26.05.2023)

Fraunhofer (2013). Kollaborative Produktentwicklung und Digitale Werkzeuge.

Fruhwirth, M., Breitfuß, G., Pammer-Schindler, V., Thalmann, S. (2021). Wissensrisiken beim Design von datenbasierten Geschäftsmodellen identifizieren. In: Schallmo, D.R.A., Rusnjak, A., Anzengruber, J., Werani, T., Lang, K. (eds) Digitale Transformation von Geschäftsmodellen. Schwerpunkt Business Model Innovation. Springer Gabler, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-31980-9_28

Gaisch, M., Rammer, V., Sterrer, S. & Takacs, C. (2023). Wie MINT gewinnt. Assoziationen, Erfolgsfaktoren und Hemmnisse österreichischer Schülerinnen in Bezug auf eine Ausbildung in den MINT-Bereichen. Auftragsstudie für die MINTality Stiftung. Wien

Ganster, H., Jaschik, M. & Stojanovic, B. (2023). AI-based Hyperspectral Analysis for Circular Economy Applications. In AAPR23 Patterns in One Health, 2023.

Ganster H., Rinnhofer A., Waltner G., Payer C., Gursch H., Oberwinkler C., Meisenbichler R., and Bischof H. (2021). Multi-Spectral Segmentation with Synthesized Data for Refuse Sorting. In OAGM Workshop 2021 Computer Vision and Pattern Analysis Across Domains.

Gausemeier et. al (2013). Systems Engineering in der industriellen Praxis.

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. Practical Challenges, Approaches and Future Research Directions. In: Datenbank-Spektrum, 18(1), pp. 5-14, 2018. Springer, Berlin Heidelberg.

Gursch H., Ganster H., Rinnhofer A., Waltner G., Payer C., Oberwinkler C., Meisenbichler R. & Kern R. (2021). KI-Waste - Combining Image Recognition and Time Series Analysis in Refuse Sorting. In Wienrich C., Wintersberger P., & Weyers B., editors, Mensch und Computer - Workshopband, p. 1-4, Bonn, Germany, Gesellschaft für Informatik e.V.

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.

Hauff, V. (Hrsg.) (1987). Unsere gemeinsame Zukunft: der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, 1. Auflage, Greven: Eggenkamp.

Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 (pp. 89–98). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Hoeller A., Sant'Ana J., Markkula J., Mikhaylov K., Souza R. & Alves H (2020). Beyond 5G Low-Power Wide-Area Networks: A LoRaWAN Suitability Study. In: 6G Wireless Summit (6G SUMMIT).

Huang, Z., Shen Y., Li, J., Fey, M. and Brecher, C. (2021). A survey on AI-driven digital twins in industry 4.0: Smart manufacturing and advanced robotics. Sensors 21, no. 19: 6340.

ibaset (2022). Retrieved from: https://www.ibaset.com/what-is-the-digital-thread/ (10.02.2022)

Jaschik, M., Ganster, H., Kainz, M. & Jernej, M. (2024). Initial Results on Hyperspectral Characterization of Steel Scrap. In AIRoV – The First Austrian Symposium on AI, Robotics, and Vision 25.–27.3.2024, Innsbruck, in print.

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.,Lukas, W.-D., Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution, in: Wolfgang-Wahlster.de, 2011, [online] http://www.wolfgang-wahlster.de/wordpress/wp-content/uploads/Industrie_4_0_Mit_dem_Internet_der_Dinge_auf_dem_Weg_zur_vierten_industriellen_Revolution_2.pdf [19.10.2022].

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.

Kusiak, A. (2020). Convolutional and generative adversarial neural networks in manufacturing. International Journal of Production Research, 58(5), 1594-1604.

Lanza G., Haefner B. and Kraemer A. (2015). Optimization of selective assembly and adaptive manufacturing by means of cyber-physical system based matching. In: CIRP Annals, 64(1).

Larose, D. T., & Larose, C. D. (2015). Data mining and predictive analytics. John Wiley & Sons.

Lee, E. A. (2015). The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems – A Focus on Models. Sensors, 15, 4837 – 4869.

E. Lee and S. A. Seshia (2015). Introduction to Embedded Systems, A Cyber-Physical Systems Approach, 2nd Edition.

Lindemann, U. (2016). Handbuch Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München.

Lindner, D. (2020). Virtuelle Teams und Homeoffice - Empfehlungen zu Technologien, Arbeitsmethoden und Führung, Wiesbaden: Springer Gabler Verlag.

Maiwald, M. (2016). Die Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 4.0"– Chancen für neue Automatisierungskonzepte und neue Geschäftsmodelle.

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., Kuhlang, 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.

Mullet, V., Sondi, P. and Ramat E. (2021). A Review of Cybersecurity Guidelines for Manufacturing Factories in Industry 4.0. In: IEEE Access, Vol. 9.

Otto, B., & Jarke, M. (2019). Designing a multi-sided data platform: findings from the International Data Spaces case. Electronic Markets, 29(4), 561-580.

Pahl & Beitz (2021). Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 9. Auflage. Bochum/Rostock: Springer Verlag.

Peddie, J. (2017). Augmented Reality – Where We Will All Live, Cham: Springer Nature, 2017.

Ratten, V. (2020). Coronavirus (covid-19) and entrepreneurship: changing life and work landscape, in: Journal of Small Business & Entrepreneurship, Issue 32, S. 503-516.

Fraubhofer (2024). Recycling ist die größte Rohstoffquelle der Welt.
Retrieved from: https://www.iosb.fraunhofer.de/de/projekte-produkte/recycling.html.

Rinnhofer A. (2019a). Grundlagen und Methoden des HSI: Verwendung mehrerer Kameras, Leitfaden zur hyperspektralen Bildverarbeitung, Fraunhofer Verlag, pp. 27 – 29

Rinnhofer A. (2019b). Bestimmung von Wertstoffen im Restmüll, Leitfaden zur hyperspektralen Bildverarbeitung, Fraunhofer Verlag 2019, pp 63 – 66

Schein, E. H. (2003). Organisationskultur, in: The Ed Schein Corporate Culture Survival Guide, 3. Ausg., A. d. Hölscher, Übers., Bergisch Gladbach: Edition Humanistische Psychologie.

Schierbaum, A. M. (2019). Systematik zur Ableitung bedarfsgerechter Systems Engineering Leitfäden im Maschinenbau. Dissertation, Paderborn.

Schuh et. Al. (2017). Industry 4.0 Maturity Index, acatech Studie.

Sharma, T., & Spinellis, D. (2017). A Survey on Software Smells. Journal of Systems and Software.

Sorko, S. R. (2022). Industrie 5.0 – menschzentriertes Arbeiten in der Industrie der Zukunft, in: Gössl, Martin J./Reischl, Christiane: Digitalisierung und Inklusion. Eine Chance für mehr Diversität in neuen Arbeitswelten, Graz: Tectum Verlag, S. 119-143.

Stark, R. et al. (2020). WiGeP-Positionspapier: „Digitaler Zwilling".

Statistik Austria (2024). Globalschätzung 2023. Retrieved from: https://www.statistik.at/statistiken/forschung-innovation-digitalisierung/forschung-und-experimentelle-entwicklung-fe/forschungsquote-globalschaetzung (Mai 2024)

United Nations: Do you know all 17 SDGs?, in: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, [online] THE 17 GOALS | Sustainable Development (un.org) [19.10.2022].

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.

Varetza-Pekarz, S. (2016). Integrität als Ergebnis einer gelungenen Organisationsentwicklung. Eine Handlungsanleitung für Transformationswillige. Saarbrücken: Akademikerverlag.

VDI (2019). VDI-Richtlinie VDI 2221. Blatt1 & 2. Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Modell der Produktentwicklung. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI (2021). VDI-Richtlinie VDI 2206. Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Verein Industrie 4.0 Österreich – die Plattform für intelligente Produktion. (2017b). Ergebnispapier „Qualifikation und Kompetenzen in der Industrie 4.0". Wien.
Retrieved from: https://plattformindustrie40.at/wp-content/uploads/2020/04/WEB_Industrie4.0_Ergebnispapier_2018.pdf

Verein Industrie 4.0 Österreich – die Plattform für intelligente Produktion. (2017a). Thesenpapier Arbeitsorganisation im Zeitalter der Digitalisierung. Wien.
Retrieved from: https://plattformindustrie40.at/wp-content/uploads/2020/04/Thesenpapier-Arbeitsorganisation-Verein-I40-090517.pdf

Walden, D.D., Roedler, G. J. & Forsberg, K. et al. (2017). INCOSE Systems Engineering Handbuch: Ein Leitfaden für systemlebenszyklus-Prozesse und -Aktivitäten. 4. Ausgabe, GfSE Verlag.

Wallhoff, F., Vox, J. P., Theuerkauff, T. (2019). Assistenz- und Servicerobotik – die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle als Grundlage des Anwendungserfolgs, in: Haring, Robin (Hrsg.): Gesundheit digital. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, S. 99–122.

Waltner, G., Jaschik, M., Rinnhofer A., Possegger H., Bischof H. (2022). An Intelligent Scanning Vehicle for Waste Collection Monitoring, In Image Analysis and Processing: ICIAP 2022.

Wang, F. Y. (2010). The emergence of intelligent enterprises: From CPS to CPSS. IEEE Intelligent Systems, 25(4), 85–88.

Wixom B. H. & Ross J. W. (2017): How to Monetize Your Data. In MIT Sloan Management Review 58 (3), pp. 10–13.

WKÖ (2022a). Wertschöpfung nach Sektoren. Retrieved from: https://www.wko.at/statistik/eu/europa-wertschoepfung.pdf (Februar 2024).

WKÖ (2022b). FORSCHUNGSAUSGABEN 2022. Retrieved from: https://www.wko.at/statistik/eu/europa-forschungsausgaben.pdf (Februar 2024).

Woitsch, R., Muck, C., Utz, W., & Zeiner, H. (2024). Enable Flexibilisation in FAIRWork's Democratic AI-based Decision Support System by Applying Conceptual Models Using ADOxx. Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly, (38), 27-53.

Zeljkovic, V., Stojanovic, B., Ganster H. & Neskovic, A (2023). Dimensionality reduction for AI based hyperspectral image classification based on XAI. In AAPR23 Patterns in One Health.

Zeiner, H (2023). FAIRWork Deliverable 2.1: Specification of FAIRWork and initial DAI-DSS Architecture (preliminary version), p. 41. Retrieved from: https://fairwork-project.eu/deliverables/ (27.06.2023).

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.

Zheng, X., Lu, J., & Kiritsis, D. (2021). The emergence of cognitive digital twin: vision, challenges and opportunities. International Journal of Production Research, 1-23

Zhu X. X., Tuia D., Mou L., Xia G.-S., Zhang L., Xu F. & Fraundorfer F. (2017). Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources. In: IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 5(4).

Zhuge, H. (2011). Semantic linking through spaces for cyber-physical-socio intelligence: A methodology. Artificial Intelligence, 175(5-6), 988–1019.

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:
Michael Fälbl und Stefanie Werderits; Verein Industrie 4.0 Österreich

Design: Confici® · Kreativbüro
Fotoquelle: Adobe Stock (Cover)

Stand Juni 2024

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