

## „Prozessindustrie Gemeinsam Digital“

### Die aktuelle Forschungslandschaft für die Digitalisierung der Prozessindustrie

*Autoren: Sönke Bröcker, Ralph-Harry Klaer, Norbert Kockmann und Michael Maiwald unter Mitwirkung der Mitglieder des TAK 100% Digital“*

Das Tutzing Symposium „100 % digital: Überlebensstrategien für die Prozessindustrie“ (siehe 4.1) von April 2018 zeichnete sich durch eine große Dynamik aus, die aufgenommen und bis heute fortgesetzt wurde. Ziel war es, die Ideen aus dem Tutzing Symposium koordiniert und zielgerichtet umzusetzen. Hierzu wurden zunächst Entwicklungsbedarfe sowie die zahlreichen aktuell geplanten oder bereits gestarteten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Rahmen der Digitalisierung zusammengestellt und analysiert. Es ergibt sich damit die aktuelle Forschungslandschaft für die Digitalisierung in der Prozessindustrie. Sie erlaubt es jetzt, offene Themenbereiche zu identifizieren und in Forschungsfördermaßnahmen zu übersetzen sowie im Dialog zwischen Anwendern, Zulieferern und Forschung, neue Projekte zu definieren, die mit bestehenden Projekten sinnvoll zu verflechten und zu verstetigen sind.

Aufgrund des starken Interesses an der Digitalisierung kommen fortlaufend Aktivitäten hinzu, sodass dieses Papier nur eine Momentaufnahme der Situation im Zeitraum 2019–2020 darstellen kann. Die Motivation der Initiative ist

- Erhöhung der **Betriebssicherheit** durch Unterstützung der Prozessführung mit digitalen Techniken. Fernziel ist der sichere, autonome Betrieb.
- Etablierung einer **hochflexiblen Produktion** mit Adaption an wechselnde Produkt- und Lieferanforderungen mit kurzen Rüstzeiten und geschulten Mitarbeitern
- Bessere Ausnutzung vorhandener Anlagen durch umfassendere Nutzung von Informationen aus anderen Anlagen – Methodentransfer.
- Entwicklung und Bau von **effizienten, flexiblen und zeitgemäßen („smarten“)** Neuanlagen mit hoher Energie- und Stoffausbeute.
- **Kürzere Produkt- und Prozessentwicklungszeiten** durch Datennutzung mit den neuen Methoden der Digitalisierung zur Unterstützung geschulter Mitarbeiter.
- Schaffung von übergreifenden Standards für den Informationstransfer in der digitalen Zukunft.
- Gestaltung des Veränderungsprozesses in der Arbeitswelt und den Arbeitsprozessen durch Aufklärung und Information sowie Schulung neuer Fähigkeiten

Das Ziel der Initiative ist die Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit der Prozessindustrie.

#### 1. Einleitung

Das Thema Industrie 4.0 wird vielfach mit der Fertigungsindustrie in Verbindung gebracht. Doch Digitalisierung, Vernetzung, Big Data und künstliche Intelligenz (KI) haben auch für die Prozessindustrie als dem drittgrößten und forschungsintensivsten Industriezweig<sup>1</sup> in Deutschland eine beträchtliche Bedeutung [2]. Die Prozessindustrie – das sind die produzierenden Unternehmen in den Sektoren Chemie, Pharma, Life Sciences und Lebensmittel – kann zwar bei der Digitalisierung auf Ergebnisse der Fertigungsindustrie aufsetzen, hat aber darüber hinaus vielfältige spezifische Herausforderungen. Diese liegen in den langen und aufwendigen Produkt- und Prozessentwicklungen, der kontinuierlichen Optimierung und Erweiterung bestehender Anlagen mit Produktwechseln und schließlich der Tatsache, dass keine klar definierten Bauteile produziert werden, sondern Fluide und Feststoffe mit schwankenden Eigenschaften und zum Teil hohem Gefahrenpotential.

<sup>1</sup> Prozessindustrie hat zahlenmäßig 97 % Anteil an kleinen und mittleren Unternehmen KMU und F&E-Ausgaben von 10,5 Mrd. € (2017, [1])

Mit der Digitalisierung zeichnen sich sowohl neue technische Möglichkeiten zur Bewältigung der Herausforderungen als auch neue Geschäftsmodelle ab. So unterstützt einerseits die Digitalisierung der Prozessindustrie die sichere und effiziente Herstellung international wettbewerbsfähiger Produkte. Andererseits bietet sie vor dem Hintergrund neuer Werkzeuge, Methoden und Möglichkeiten der Vernetzung und intelligenten Automatisierung auch für Geräte- und Softwarelieferanten die Möglichkeit, produktionstechnisches Know-how in Form von Mess- und Regeltechnik weltweit zu exportieren. Beides trägt zu einem enormen regionalen Standortvorteil bei.

Um in einem veränderten Umfeld erfolgreich bestehen zu können, muss die Prozessindustrie zukünftig die Potentiale digitaler Technologien nutzen. Digitalisierung ermöglicht, bisher getrennte Bereiche in den Entwicklungs-, Produktions- und Lieferabläufen miteinander zu vernetzen. Komplexe Abläufe können damit zukünftig sicherer und effizienter gehandhabt, gesteuert und optimiert werden, so dass unterschiedliche Produkte schneller auf Kundenbedürfnisse angepasst und auf den Markt gebracht werden können.

All dies erfordert den Aufbau neuer Fähigkeiten, Investition in Talente und ein Veränderungsmanagement, welches die gesamte Organisation mitnimmt. [3] Die Prozessindustrie steht vor ähnlichen Veränderungen wie die Metall- und Elektroindustrie, die sich jedoch in einem anderen Modus über einen langen Zeitraum vollziehen werden. Das erfordert andere Gestaltungsansätze und benötigt einen ausgeprägten Forschungs- und Validierungsbedarf. [4] Digitalisierung ist nicht im Alleingang möglich. Sie muss gemeinsam mit allen Beteiligten gestaltet werden, wobei die Wertschöpfungsketten der Supply Chain und des Asset Life Cycles stärker zu vernetzen sind (siehe Abbildung 1). Um die internationale Spitzenposition deutscher Unternehmen der Prozessindustrie auch in Zukunft sicherzustellen, müssen die Unternehmen ihre Prozesse und Geschäftsabläufe digitalisieren und gemeinsam mit der Wissenschaft innovative neue Methoden, Apparate, Anlagen, Sensoren und Automatisierungstechnik sowie Datenkonzepte entwickeln.

Hierfür wäre die Etablierung eines Forschungs- und Entwicklungsprogramms des BMWi sinnvoll. Das Programm sollte auf eine infrastrukturelle Entwicklung und Befähigung der Partner zielen, insbesondere der vielen KMU. Forschungsprogramme bieten zudem einen vorwettbewerblichen „Schutzraum“ zum rechtssicheren Voranbringen von Standards, der kartellrechtlich nicht angreifbar ist. Bereits gestartete Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten müssen in dem Forschungsprogramm berücksichtigt oder integriert werden.

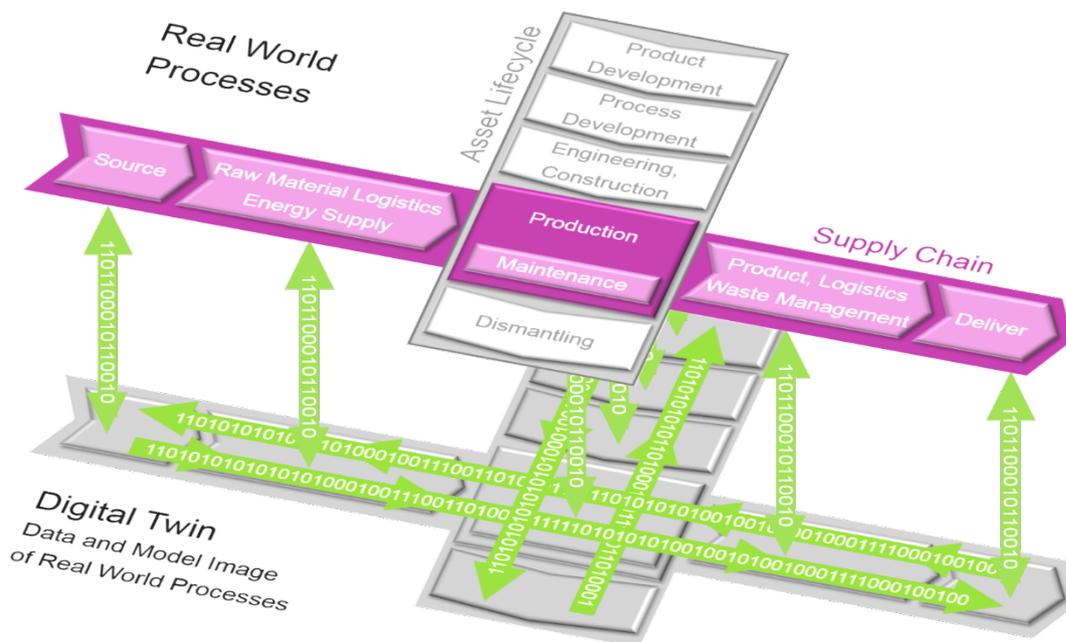
## **2. Konzept der Digitalisierung in der Prozessindustrie**

Die Prozessindustrie ist von zwei Wertschöpfungsketten geprägt. Dies sind die horizontale Supply Chain und der vertikale Asset Life Cycle, die beide in der Produktion zusammentreffen. Die Effizienz des Gesamtsystems wird maßgeblich durch die schnelle und übergreifende Verfügbarkeit von zuverlässigen Informationen aus allen Teilen der beiden Wertschöpfungsketten bestimmt. So kann eine Änderung der Rohstoffqualität Änderungen in der Produktion erfordern, die in der Prozessentwicklung eventuell bereits untersucht wurden und vorliegen. Die Digitalisierung wird hier einen deutlichen Fortschritt bringen und zur Steigerung der Prozesssicherheit, der Effizienz und schließlich der Wirtschaftlichkeit führen.

Eine zentrale Bedeutung wird dabei dem Digitalen Zwilling zukommen, der die Vorgänge in der Supply Chain und dem Asset Life Cycle abbildet (siehe Abbildung 1). Der Digitale Zwilling ist ein virtuelles Abbild der physischen Objekte, führt Daten und Wissen aus dem Asset Life Cycle und der Supply Chain zusammen und aktualisiert sie kontinuierlich. Zudem beinhaltet der Digitale Zwilling auch Modelle, die Abläufe und Zustände in der realen Welt simulieren. Dabei können die Modelle auf alle Daten aus der Supply Chain und dem Asset Life Cycle zugreifen und Zusammenhänge realisieren, die derzeit nicht sichtbar sind. Es kommen physikalisch basierte und moderne datengetriebene sowie hybride Modelle zum Einsatz.

In dieser Form ermöglicht der Digitale Zwilling den schnellen und umfassenden Zugriff auf Informationen aus allen Bereichen. Darüber hinaus ergeben sich vielfältige Möglichkeiten aus der modellgestützten Analyse der Daten, deren Ergebnisse dann in die reale Welt zurückfließen und diese beeinflussen. So kann die Vorhersage des Verschleißzustandes eines Bauteils auf Basis der Konstruktions- und Betriebsdaten erfolgen oder datengetriebene dynamische Prozessmodelle unterstützen die dynamische Optimierung der Prozessführung.

Selbstverständlich wird ein Digitaler Zwilling nicht vollständig die Supply Chain und den Asset Life Cycle abbilden, sondern kann sich auf Teilbereiche beschränken. Entscheidend ist aber der automatisierte kontinuierliche Datenabgleich mit der realen Welt, der noch zu entwickelnde standardisierte Datenmodelle erfordert. In Teilbereichen liegen solche Datenmodelle bereits vor. Auch die Entwicklung von geeigneten Modellen, die unterschiedlichste Daten einbeziehen, hat erst begonnen und bedarf noch Entwicklungsarbeiten.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des Digitalen Zwillings als Abbild der Wertschöpfungsketten der realen Prozesswelt, dies sind die horizontale Supply Chain und der vertikale Asset Life Cycle (Quelle: Bröcker, Evonik)

### **3. Begleitung der Digitalisierung der Prozessindustrie und Gestaltung von potentiellen infrastrukturellen F&E-Schwerpunkten**

Um die Dynamik aus dem 57. Tutzing-Symposium „100 % digital: Überlebensstrategien für die Prozessindustrie“ [5] aufzunehmen und in Aktivitäten zu überführen, wurden folgende Maßnahmen ergriffen.

- Die Ergebnisse wurden in einer monatlichen Serie von Beiträgen in CITplus veröffentlicht [6], um die Ergebnisse breit zu teilen.
- Seitens der ProcessNet-Fachgemeinschaft wurde der „Temporäre Arbeitskreis 100 % Digital“ (kurz: „TAK Dig“) ins Leben gerufen. Wie im Folgenden beschrieben, wirkte dieser Arbeitskreis koordinierend und hat Konzepte entwickelt, die dazu beitragen, die Zukunft der deutschen Prozessindustrie auf lange Sicht zu sichern. Ferner setzt er sich zum Ziel, Input für andere Gremien und Steering Committees zu geben. Innerhalb des TAK Dig wurden vier Arbeitsgruppen etabliert mit den Schwerpunkten:
  1. Smart Equipment / Digitaler Workflow (Urbas, TU Dresden)
  2. Datenaustauschformate - DEXPI (Soemers, AixCAPE)
  3. Digitaler Zwilling, bestehende Brownfield-Anlage digital machen (Bamberg, Merck KGaA)
  4. Einfluss der Digitalisierung auf Ausbildung und Arbeitswelt (Klaer, Bayer AG)
- Im September 2018 sind die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und DECHEMA mit einem gemeinsamen Schreiben an das BMWi herangetreten, um für die Digitalisierung der Prozessindustrie zu werben. Darin wurde die Auflegung eines Forschungsprogramms „Prozessindustrie Gemeinsam Digital“ vorgeschlagen. Parallel haben Gespräche mit Vertretern der Großindustrie und mit KMUs stattgefunden, die ihrerseits ein starkes Commitment gaben und den mit der digitalen Transformation verbundenen Bedarf für Forschung und Entwicklung bestätigten.
- Aus dem TAK Dig hat sich im Februar 2019 das Konsortium KEEN (KI-Inkubatoren in der Prozessindustrie) gebildet, welches Methoden der künstlichen Intelligenz in den verschiedenen Bereichen der Prozessindustrie einführen will. Dazu werden Inkubationslabore aufgebaut und an vielen Fallbeispielen getestet. Im August 2019 ist ein Konzeptpapier von den 24 Teilnehmern unter dem Konsortialführer Prof. Leon Urbas, TU Dresden, eingereicht worden und wurde nominiert für die zweite Runde des Wettbewerbs. Das Team hat zum 15. Oktober 2019 einen Vollantrag eingereicht, der positiv bewertet wurde. Projektstart war der 1. April 2020.

Alle Aktivitäten zur Digitalisierung der Prozessindustrie – auch die über ein Forschungsprogramm hinausgehenden Tätigkeiten – wurden nachhaltig von Experten aus der Prozessindustrie begleitet, die als Akteure des Tutzing-Symposiums und/oder dem TAK Dig beteiligt waren.

Neben Vertretern der Prozessindustrie aus Großindustrie und KMU waren viele Repräsentanten aus der thematisch nahen Initiative ENPRO im Forschungsfeld „Chemische Verfahrenstechnik“ [7], aus Industrieverbänden (NAMUR, ZVEI, ...), wissenschaftlichen Arbeitskreisen (GDCh, DECHEMA, VDI, ...) im TAK Dig tätig (siehe 2.3). Diese Experten haben wertvolle Lobbyarbeit geleistet, indem bisher sowohl eine Gesamtkoordination aller Digitalisierungsthemen als auch eine nachhaltige Bearbeitung prioritärer Forschungsthemen aus ihrer Arbeit hervorging.

### **3.1. Dringende Forschungsthemen für die Digitalisierung der Prozessindustrie**

Die Digitalisierung erfordert die konkrete, enge Zusammenarbeit von Anwendern aus der Prozessindustrie, ihren Zulieferern (d. h., Geräte und Softwarehersteller der Automatisierung sowie die Anlagen- und Apparatechnik) sowie Forschungsinstituten auf Augenhöhe. Wenn diese Entwicklungen schnell vorankommen sollen, ist dieses ausschließlich in konkreten Projekten möglich. Idealerweise erfolgt dies in gemeinsamen F&E-Programmen, in denen Demonstratoren und Prototypen entwickelt werden. Darüber hinaus können hier auch gemeinsam validierte Geräte und Software mit nachhaltiger Wirkung auf die Digitalisierungs-Infrastruktur entstehen, d. h., ein schwieriger Teil der Produktentwicklung, die Zertifizierung, erfolgt gemeinsam und kann besonders schnell implementiert werden.

Die digitale Vernetzung der horizontalen Supply Chain mit dem vertikalen Asset Life Cycle wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist, ist letztendlich das Ziel der Digitalisierung in der Prozessindustrie und birgt das größte Potential. Folgende Forschungs- und Entwicklungsthemen zeichnen sich auf dem Weg zu diesem Ziel ab:

- Supply Chain, Produktions-Architektur und Plattform-Lösungen (horizontal)
- Prozessentwicklung, Asset-Life-Cycle (vertikal)
- Digitaler Zwilling
- Standardisierte Datenstrukturen

Neben diesen spezifischen Themen sind folgende Querschnittsthemen zu behandeln, die den Erfolg der Digitalisierung beeinflussen:

- Lernprozesse
- Künstliche Intelligenz (KI) und IT-Infrastruktur
- Struktur- und Kulturwandel in Arbeitswelt und Arbeitsprozessen

#### **3.1.1. Supply Chain, Produktions-Architektur und Plattform-Lösungen**

Die Schaffung von digitalen Plattformlösungen in der Supply-Chain zwischen Hersteller, Lieferant, und Kunde ist essentiell für eine Vernetzung mit effizienten Arbeitsabläufen. Herausforderungen für die Vernetzung liegen dabei im gegenseitigen Vertrauen und der Zusammenarbeit beim Austausch von Daten. Hier werden Konzepte zum sicheren Austausch von Daten zwischen Prozessindustrie und ihren Zulieferern durch offene, standardisierte, herstellerunabhängige Schnittstellen erarbeitet.

#### **3.1.2. Prozessentwicklung, Asset-Life-Cycle und Digitaler Zwilling**

An der Entwicklung von „smartem und intelligentem Equipment“ sowie Konzepte der „Modularen Produktion“ oder „durchgehendes Engineering“ wird bereits gearbeitet. Diese Ansätze erhöhen die Effizienz und Flexibilität der Prozessindustrie und reduzieren die Time-to-Market. Der Digitale Zwilling ist ein zentrales Element der Digitalisierung, wird zukünftig an Bedeutung gewinnen und befindet sich derzeit an vielen Stellen in der Entwicklung. Die Arbeitsgruppen 1 und 3 des TAK Dig haben ein Positionspapier zum Digitalen Zwilling erarbeitet und veröffentlicht [8].

Aus den beiden Arbeitsgruppen ist zudem auch das Konsortium entstanden, das den Projektantrag für KEEN im Rahmen eines Calls zu KI vor dem Hintergrund der Anforderungen der Prozessindustrie erarbeitet hat.

Zum Themenkreis Digital Chemical Plant fand das 58. Tutzing-Symposium “Separation Units 4.0 – Trenntechnik in der chemischen Industrie auf dem Weg in die digitale Zukunft“ statt. Im Oktober 2019 trafen sich Vertreter aus Akademia und Industrie auf Einladung der ProcessNet Fachgemeinschaft „Fluiddynamik und Trenntechnik“ zur Statusbestimmung und Weiterentwicklung

des Fachgebiets. Im Gegensatz zu vorangegangenen Veranstaltungen lag der Fokus komplementär auf dem einzelnen Trennapparat und der Fluidverfahrenstechnik selbst. In fünf Themenclustern mit jeweils mehreren Workshops wurden künftige Entwicklungen und sich stellende Trennaufgaben, Chancen, Herausforderungen und Potenziale der fluiden Trenntechnik identifiziert sowie intensiv diskutiert. Darüber hinaus wurden mögliche und notwendige Vernetzungen und Kooperationen mit anderen Branchen und Wissensdisziplinen erörtert, was Basis für weiterführende Konzeptentwicklungen und für die Ableitung notwendiger Aktivitäten darstellt.

### **3.1.3. Standardisierte Datenstrukturen**

Die Digitalisierung erfordert einen umfassenden und effizienten Zugriff auf Daten unterschiedlicher Quellen der vertikalen und horizontalen Wertschöpfungsketten. Um diesen Zugriff zu ermöglichen, sind sogenannte Datenmodelle geeignet, die die eindeutige Adressierbarkeit der Daten ermöglichen. Die unten beschriebene DEXPI-Initiative hat für den Asset Life Cycle einen Anfang gesetzt, es sollten aber Datenmodelle für weitere Bereiche erarbeitet werden.

### **3.1.4. Querschnittsthema: Künstliche Intelligenz (KI) und IT-Infrastruktur**

Für die Gestaltung einer IT-Infrastruktur und den Einsatz Künstliche Intelligenz spielen Trust-Center und die Nutzung sicherer IT-Infrastruktur (ggf. auch unter Einbeziehung von Bundesinstituten) eine grundlegende Rolle.

Beforschung von Konzepten der Künstlichen Intelligenz zur Nutzung in den Lebenszyklen von Produkten, Prozessen und Anlagen. Künstliche Intelligenz sollte zur Effizienzsteigerung aber insbesondere auch zur Erhöhung der Anlagensicherheit (Assistenzsysteme) beitragen, da mit ihr komplexe Zusammenhänge schnell analysiert und die Bedienmannschaften der Anlagen entsprechend unterstützt werden können

Im Bereich KI in der Prozessindustrie wurde vom BMWi, Projektträger DLR in Köln, eine Anschubfinanzierung ab dem 15. April 2019 für die TU Dresden, TU Dortmund und FhG-ITMW Kaiserslautern für einen Vollantrag zur Einrichtung von Inkubatorlaboren gewährt. Künstliche Intelligenz in der Prozessindustrie begreifbar machen ist das Ziel des Anschubprojektes KEEN. Das Projekt wurde in der Wettbewerbsphase bis Oktober 2019 gefördert. Ende August 2019 ist das Projekt positiv bewertet worden und startet ab April 2020 als umfangreiches Verbundprojekt in die Umsetzungsphase.

Das Projekt entwickelte in einem Wettbewerb um die besten Ideen bis Ende Juli ein Konzept für den Aufbau einer Plattform zur Förderung der Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz in der Prozessindustrie. Drei ganztägige Kreativworkshop in Frankfurt im DECHEMA-Haus dienten zur Feststellung des Handlungsbedarfs und Generierung von Lösungsansätzen in fünf Säulen:

- KI-basierte Modellierung
- KI-basiertes Engineering & Optimierung
- KI-Lebenszyklusmodelle
- KI-vollautomatisiert
- KI Ausbildung

Daraus sind drei Bereiche zur Modellierung, zum Engineering und zur vollautomatisierten Anlage gebildet worden, die in unterschiedlichen Arbeitspaketen bearbeitet werden.

### **3.1.5. Querschnittsthemen: Lernprozesse; Struktur- und Kulturwandel in Arbeitswelt und Arbeitsprozessen**

Die Digitalisierung wird tiefgreifende Veränderungen in der Arbeitswelt und in den Arbeitsprozessen hervorrufen. Dies umfasst zunächst neue Technologien, aber im großen Umfang auch methodische und strukturelle Veränderungen. Es müssen neue Lernkonzepte sowie Fortbildungsangebote für Industrie, Wissenschaft und Behörden geschaffen werden. Darüber hinaus ist die Implementierung von Change-Management-Konzepten notwendig. Die Bearbeitung dieser Themenkreise erfordert die Einbeziehung nicht-technischer Fachbereiche (z. B. Arbeitspsychologie). Der TAK Dig hat für den Themenkreis eine Arbeitsgruppe etabliert, sieht sich hier in einer Vermittlerrolle und möchte die unterschiedlichen Fachgebiete zusammenbringen.

### **3.2. Bestehende F&E-Programme zur Digitalisierung der Prozessindustrie**

Es existieren vorwiegend Programme zur Automatisierung der Fertigungsindustrie sowie zur Effizienzsteigerung und Modularisierung in der chemischen Prozesstechnik. Kein aktuelles Programm adressiert schwerpunktmäßig und übergreifend die umfassende Digitalisierung der Prozessindustrie, wie unter 3. vorgeschlagen.

#### **3.2.1. Effizienzsteigerung und Modularisierung in der chemischen Prozesstechnik (ENPRO, <http://enpro-initiative.de/> – [9])**

Projektlaufzeit: 03/2015–08/2018

Förderung: BMWi

Das Forschungsfeld Chemische Verfahrenstechnik soll mittelfristig die Bereiche Sensoren und Künstliche Intelligenz noch stärker mit der Effizienz und Modularisierungskonzepten verbinden. Diesbezüglich können auch dort neue Förderrichtungen angebunden werden.

1. Förderphase: ENPRO 1.0: Von 2014 bis 2017 liefen in der ENPRO-Initiative vier Verbundprojekte und ein Begleitprojekt:

- Kontinuierliche Prozesse für Polymerspezialitäten mit Hilfe neuartiger Apparatekonzepte (KoPPonA)
- Smart-Mini Plant zur Entwicklung effizienter kontinuierlicher Trennverfahren (SMekT)
- Modulares Equipment für die energieeffiziente Produktion (Modularisierung)
- Verbesserte Energieeffizienz und Prozessbeschleunigung durch Datenintegration von der Prozessentwicklung bis zur Produktion (Datenintegration).

2. Förderphase: ENPRO 2.0: Seit November 2017 laufen die ersten Projekte aus der 2. Förderphase der ENPRO-Initiative.

- Effiziente Orchestrierung Modularer Anlagen (ORCA, Start: 01.11.2017)  
In dem Projekt EPRO 2.0 ORCA arbeiten Anlagenbetreiber, Modulhersteller, Automatisierer, Systemintegratoren, Behörden und Hochschulen zusammen, um Verfahrenstechnik, Sicherheitstechnik und Automatisierungstechnik integrierende Konzepte für modular aufbaubare, intelligente und flexibel zu gestaltenden Produktionsanlagen abzuleiten.
- Skalenübergreifende Methodik zur Planung und Entwicklung ressourceneffizienter Prozesse (SkaMPi, Start: 01.11.2017)  
Ziel des Projektes SkaMPi (Skalenübergreifende Methodik zur Planung und Entwicklung ressourceneffizienter Prozesse) ist es, inhärent vorhandene Barrieren zu durchbrechen und die bestehende Methodik so zu ergänzen, dass zu einem frühen Zeitpunkt für ein neues Produkt bzw. avisiertes Produktportfolio die Auswahl der optimalen Apparatetechnologien

durchgeführt werden kann. Dabei wird eine optimale ressourceneffiziente Prozessverschaltung berücksichtigt.

- Trennverfahren mit effizienten und intelligenten Apparaten (TeiA, Start: 01.01.2018)  
Aktuell werden Pharma-, Fein- und Spezialchemikalien nach wie vor in Batchfahrweise erzeugt und aufgereinigt, wohingegen eine Umstellung auf kontinuierlich betriebene und modular aufgebaute Anlagen ein vielversprechender Ansatz für Energie- und Zeiteinsparungen sein kann. Hierfür werden im Rahmen des Projektes TeiA diverse Kristallisations- und Extraktionsapparate untersucht, deren Betriebsfenster charakterisiert und für unterschiedliche Stoffsysteme getestet werden. Zudem werden neuartige Sensoren entwickelt, in die Apparate integriert und für ein verbessertes Prozessverständnis verwendet.
- Module im Lebenszyklus einer prozesstechnischen Anlage - Anwendungen für integrierte Modelle (ModuLA, Start: 01.09.2018)  
Im Projekt ModuLA wird die Spezifikation eines durchgängigen und konsistenten Informationsmodells, d.h. eines Digitalen Zwillings, für Module und Anlagen entwickelt. Das Informationsmodell umfasst den gesamten Lebenszyklus von Labor über Planung und Bau bis zu Betrieb, Wartung und Rückbau. Die Ergebnisse des Projektes stellen eine Grundlage dar, um Module informationstechnisch miteinander verknüpfen zu können und relevante Lebenszyklus-Informationen von Modulen und Anlagen einfacher als jetzt verfügbar zu machen.

### **3.2.2. Skalierbares Integrationskonzept zur Datenaggregation, -analyse, -aufbereitung von großen Datenmengen in der Prozessindustrie (SIDAP, <http://www.sidap.de>)**

Projektlaufzeit: 03/2015–08/2018

Förderung: BMWi „Smart Data“

Partner: Bayer AG, IBM Deutschland GmbH, Lehrstuhl für Automatisierung und Informationstechnik TU München, Evonik Industries AG, Gefasoft AG;

Assoziierte Partner: Covestro AG, Krohne Messtechnik, NAMUR, Samson AG, Sick AG, ZVEI;

Kooperationspartner: Interessengemeinschaft Regelwerke Technik (IGR) e.V.

SIDAP entwickelte eine datengetriebene sowie serviceorientierte Integrationsarchitektur, die bereits vorhandene Strukturinformationen und Datenströme in Engineering- und Prozessleitsystemen unter Berücksichtigung ihrer unterschiedlichen Semantik in abstrahierter, integrierter und zugriffsgeschützter Form für interaktive Analysen durch berechnigte Nutzer zugänglich macht. So können Gerätehersteller anhand von Nutzungsdaten ihrer Geräte in den Produktionsanlagen und der Wartung Gerätestörungen analysieren, präventiv Fehler identifizieren und rechtzeitig eingreifen, um Anlagenbetreiber in Zukunft optimal zu unterstützen. Für den Anlagenbetreiber wird eine optimale Nutzung der Geräte und damit einhergehend ein möglichst störungsfreier Betrieb sichergestellt. Der Abschlussbericht ist hier erhältlich [10].

### **3.2.3. Data Exchange in the Process Industry (DEXPI)**

Projektinfo: Arbeitskreis der ProcessNet (<http://dexpi.org/>)

Owner/Operators: Air Liquide, BASF, Bayer, Covestro, Equinor, Evonik, Merck

Technisches Consulting: AixCAPE, pnb plants & bytes

Softwarehersteller: Aucotec, Autodesk, AVEVA, Bilfinger, eVision, Hexagon, PTC, Semantum, Siemens, X-Visual

Forschungseinrichtungen: Kyungpook National University, RWTH Aachen University AVT.SVT, Tecgraf/PUC-Rio, TU Berlin, VTT Finland

Unzureichende Interoperabilität zwischen CAE-Werkzeugen erschwert Planung, Bau und Betrieb von Prozessanlagen über organisatorische Grenzen hinweg, z.B. zwischen unterschiedlichen Unternehmen oder auch Business Units im selben Unternehmen. Deshalb hat der DEXPI-Arbeitskreis zum Ziel, ein herstellernerutrales Austauschformat für Engineering-Daten und Dokumente zu entwickeln und in Schnittstellen existierender CAE-Werkzeuge zu implementieren. Gegenwärtig liegt der Fokus auf dem Austausch von R&I-Diagrammen einschließlich graphischem Layout und Engineering-Daten.

#### **3.2.4. smartLAB (Biotechnologie)**

Projektlaufzeit: 2014–2019

Förderung: Land Niedersachsen (MW und MWK)

Partner: Sartorius, Mettler-Toledo, Eppendorf, Schmidt & Haensch, Noack Laboratorien, labfolder, IGo3D, Presens, Köttermann, Realworld One, Fraunhofer IPA, Institut für Journalistik und Kommunikation HMTMH, Institut für Technische Chemie LUH, Deutsche Messe

Die smartLAB-Initiative besteht seit 2014 und hat sich das Ziel gesetzt, in einem ganzheitlichen Ansatz Technologien für die Digitalisierung im Laborbereich zu evaluieren, entsprechende funktionale und digitalisierte Laborumgebungen zu entwickeln und letztlich ihre Ergebnisse in einem Showroom zu präsentieren, so dass dieses wichtige Thema für die Entwicklung der Laborinfrastruktur anschaulich dargestellt wird, Möglichkeiten für die verschiedenen Akteure identifiziert und weiterentwickelt werden und eine intensive Diskussion zu diesem Themenfeld angestoßen wird.

Das smartLAB präsentiert daher alle 2 Jahre ihre aktuellen Ergebnisse auf einem Highlight-Stand auf der Fachmesse LABVOLUTION, das letzte Mal im Mai 2019. Hier zeigt das smartLAB nicht nur die neuesten Technologien im Laborbereich, sondern führt exemplarische, vollständig digital unterstützte workflows live vor, um die Digitalisierung für die Besucher erlebbar zu machen.

Wichtige Aspekte des smartLABs sind die grundlegende Vernetzung von Laborgeräten mit einem LIMS, flexible und modulare Laborinfrastruktur, Einbindung innovativer Technologien auch aus dem Consumerbereich (z. B. smartphones, 3D-Druck, augmented und virtual reality, etc.), Interaktionsmedien zur Mensch-Maschine-Interaktion (z. B. LabGlasses, Touchbeamer, Sprachassistenzsysteme, etc.) und die Vereinheitlichung von Schnittstellen, Gerätetreibern und Kommunikationsprotokollen.

#### **3.2.5. Digitalisierung in der Industriellen Biotechnologie (DigInBio)**

Projektlaufzeit: 2018–2020

Förderung: BMBF

Partner: Lehrstuhl für Bioverfahrenstechnik TU München, Institut für Technische Chemie LU Hannover, IBG-1: Biotechnologie Forschungszentrum Jülich, labfolder GmbH;  
Unterstützer: Sartorius, TECAN, Eppendorf, 2mag, m2p-labs, Eppendorf Bioprocess Center, Presens, iTiZZiMO, Clariant, Qiagen, Evonik, Mettler Toledo, BRAIN, VCI, IG BCE, Deutsche Messe.

Das Verbundprojekt „DigInBio“ wird für Industrie und akademischen Nachwuchs die zukünftigen Möglichkeiten der Digitalisierung, Automatisierung und Miniaturisierung für die Biotechnologie aufzeigen. Mit dem Aufbau von Demonstratorlaboren wird sichtbar werden, welches Potential die Digitalisierung in diesem Gebiet hat und wie sie konkret ausgestaltet werden kann.

Das Hauptaugenmerk ist die Entwicklung von digitalen Workflows beginnend bei der Auswahl geeigneter Produktionsorganismen bis zur Aufarbeitung des Produkts. Wichtige Aspekte sind hierbei die Beschleunigung der experimentellen Arbeiten durch Automatisierung und Digitalisierung sowie

die Modularisierung der Abläufe verbunden mit intelligentem Datenmanagement über ein LIMS. Dabei stellt die Kommunikation zwischen den Systemkomponenten und Laborgeräten eine große Rolle für die digitale Verfügbarkeit der experimentellen Daten dar und eine zentrale Herausforderung.

#### **4. Aktuelle Verbände und Arbeitskreise, die die Digitalisierung der Prozessindustrie gestalten**

##### **4.1. Industrieverbände**

###### **4.1.1. NAMUR Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie**

Internet-Auftritt: <https://www.namur.net/de/>

Die NAMUR ist ein internationaler Verband der Anwender von Automatisierungstechnik der Prozessindustrie mit Mitgliedsfirmen der Prozessindustrie mit Schwerpunkt Deutschland/Europa. Die Arbeit der NAMUR stützt sich hauptsächlich auf Arbeitsfelder, die für bestimmte Themengruppen eingerichtet wurden: AF 1 Planung und Errichtung (Projektmanagement, Qualitätsmanagement, der Projektierung und Errichtung), AF 2 Prozess- und Betriebsführungssysteme (Prozessleit- und Betriebsleitebene), AF 3 Feldgeräte (Messtechnik („Sensorik“) und der Stellgerätetechnik („Aktorik“)), AF 4 Betrieb und Instandhaltung (Instandhaltung, E-Technik, Schulung und Sicherheit von Prozessleit-Einrichtungen).

Die von der NAMUR erstellten Empfehlungen und Arbeitsblätter erläutern Vorgehensweisen, bieten Arbeitshilfen wie Checklisten und legen Anforderungen an Geräte und Systeme fest. Diese Dokumente beschreiben den Stand der Technik und dienen häufig als Grundlage für Gespräche mit Herstellern und beeinflussen Normungsvorhaben.

Das Voranbringen der Digitalisierung ist in sehr vielen Arbeitsgruppen zu Hause (vgl. Webauftritt). Aktuelle übergreifende Projekte (teils in Zusammenarbeit mit dem ZVEI) sind:

- **Automatisierung modularer Anlagen**  
Die Verwendung von sogenannten Module Type Packages (MTP) ist ein Lösungsansatz, heutige Automatisierungssysteme zu modularisieren und somit die Flexibilität der Produktionsanlagen zu steigern. Es beinhaltet eine herstellernerneutrale, funktionale Beschreibung der Automatisierung von Prozessmodulen zur Integration in Orchestrierungssysteme, beispielsweise konventionelle Prozessleitsysteme. Das MTP wird im Engineering-Werkzeug des Modullieferanten erstellt und kann in das des Anlagenbauers importiert werden
- **NAMUR Open Architecture**  
Das Konzept NAMUR Open Architecture (NOA) bietet sowohl für Bestands- als auch für Neuanlagen Möglichkeiten, Anlagen effizient für kommende Innovationen zu ertüchtigen. Die Kernidee ist, die Daten der bisherigen Kern-Automatisierungswelt durch offene Schnittstellen wie beispielsweise OPC UA in die Systemwelt für Monitoring- und Optimierungsaufgaben zu exportieren und dabei die Kernautomatisierung weitgehend unverändert zu belassen.
- **Asset Life Cycle Datenmodell**  
Dieses soll zukünftig die Entwicklung, die Planung, den Betrieb und die Instandhaltung von Anlagen der Prozessindustrie auf Basis internationaler Standards verbessern.
- **5G in der Prozessindustrie**  
NAMUR steht derzeit im intensiven Austausch mit Verbänden, Industrieanwendern, der Politik und der Bundesnetzagentur und stellt dadurch sicher, dass die Anforderungen der Prozessindustrie bei der Entwicklung und Implementierung von 5G berücksichtigt sind. NAMUR unterstützt damit den zukünftigen adäquaten und wirtschaftlichen Einsatz von 5G

Technologie im industriellen Umfeld und gestaltet aktiv den Weg der Digitalisierung der Prozessindustrie.

Kürzlich haben das American Chemistry Council (“ACC”) als Vertreter seiner Process Automation Users Group (“PAUG”) und NAMUR der Verband von Anwendern der Automatisierungstechnik in der Prozessindustrie, eine Vereinbarung zur Zusammenarbeit in den Fachgebieten der Automatisierungs- und Instrumentierungstechnologie unterschrieben.

Die Vereinbarung konzentriert sich auf den Austausch, die Verbesserung und Weiterentwicklung von Prozessen, Strategien, Richtlinien und Standards, zu den in der Prozessindustrie eingesetzten Instrumenten und Systemtechnologien. Beide Organisationen verfolgen – im Namen ihrer Mitglieder – abgestimmte Lösungen, um technologische Weiterentwicklungen global voranzutreiben.

#### **4.1.2. ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.**

Internet-Auftritt: <https://www.zvei.org>

Die Mitgliedsunternehmen im ZVEI beschäftigen rund 90 Prozent der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Elektroindustrie in Deutschland. Der ZVEI und seine Mitgliedsunternehmen sind dabei Schrittmacher des technischen Fortschritts. Überall im Fokus: die Digitalisierung. Die Elektroindustrie treibt die Vernetzung voran, in den eigenen Unternehmen, bei Lieferanten, Kunden, aber auch im privaten Umfeld. Als Innovationsmotor der Industrie gestaltet sie in den fünf Leitmärkten Industrie 4.0, Energie, Mobilität, Gesundheit und Gebäude sowie in den Themen Cybersicherheit, Gesellschaft & Umwelt und Bildung & Forschung den digitalen Wandel aktiv mit.

Der Fachverband Automation im ZVEI bildet mit über 330 Mitgliedsunternehmen und einem Umsatz von rund 54,7 Mrd. Euro (2018) in Deutschland die Plattform für alle Unternehmen der Automatisierungstechnik, der industriellen Informations- und Kommunikationstechnik sowie der zugehörigen industrienahen Dienstleistungen.

Das Thema Digitalisierung wird innerhalb des Fachverband Automation in verschiedenen Arbeitskreisen bearbeitet, teils interdisziplinär mit der NAMUR: (Auswahl)

Arbeitskreis Modulare Automation, Arbeitskreis Energieeffizienz durch Prozessautomation, Arbeitskreis CE-Kennzeichnung, Arbeitskreis Technische Dokumentation, Technischer Ausschuss Automation, Forschungsgemeinschaft Automation, Lenkungskreis Industrielle Kommunikation, Lenkungskreis Automation Security, Arbeitskreis Systemaspekte, Arbeitsgemeinschaft Manufacturing Execution Systems, Technischer Ausschuss Sicherheitssysteme in der Automation, oder der Arbeitsgemeinschaft 5G-ACIA.

#### **4.1.3. VDMA**

Internet-Auftritt: <https://industrie40.vdma.org/>

Der VDMA hat mehrere Broschüren und Informationsschriften zum Thema Digitalisierung herausgegeben, die auch für Unternehmen in der Prozessindustrie interessant sind. Beispiele dazu sind:

Neuer VDMA-Leitfaden Selbstlernende Produktionsprozesse: Machine Learning Schritt für Schritt erfassen, September 2019. Der neue VDMA-Leitfaden unterstützt beim Thema Machine Learning und zeigt Schritt für Schritt auf, wie die Einführung im eigenen Unternehmen ablaufen kann.

Neuer VDMA-Leitfaden Interoperabilität durch standardisierte Merkmale, August 2019. Der Leitfaden „Interoperabilität durch standardisierte Merkmale“ beschreibt, wie Signale und Werte zwischen Fertigungseinheiten ausgetauscht werden und folgt so der Industrie 4.0-Idee. Das

Schlüsselwort ist "Standardisierung". Produkte, Einzelteile Baugruppen oder Anlagenelemente sind durch Merkmale beschrieben, die in einem Format übertragen werden.

VDMA-Leitfaden "Industrie 4.0 trifft Lean" auf Deutsch und Englisch. Die Verschmelzung von Industrie 4.0 mit Lean Management bietet großes Potenzial, Unternehmen erfolgreich weiterzuentwickeln. Der VDMA-Leitfaden soll Firmen dabei unterstützen.

Industrie 4.0 konkret – Neuauflage 2019, Industrie 4.0 ist in der Breite der Unternehmen angekommen. Die Publikation zeigt aktuelle Lösungen aus der industriellen Praxis und bietet einen Überblick über die VDMA-Aktivitäten rund um das Thema.

Ich denke, dass hier eine gute Informationsplattform zu finden ist und viele Anregungen und Kooperationsmöglichkeiten sich auch für Unternehmen der Prozessindustrie bieten.

## **4.2. Wissenschaftliche Arbeitskreise**

### **4.2.1. ProcessNet Fachgemeinschaften (DECHEMA und VDI)**

Internet-Auftritt: <https://processnet.org/Fachgemeinschaften.html>

Die neun Fachgemeinschaften bilden die übergeordnete Struktur von ProcessNet.

- Chemische Reaktionstechnik
- Fluidodynamik und Trenntechnik
- Partikeltechnik und Produktdesign
- Prozess-, Apparate- und Anlagentechnik
- Anlagen- und Prozesssicherheit
- Sustainable Production, Energy and Resources
- Werkstoffe, Konstruktion, Lebensdauer
- Bildung und Innovation
- GeCatS - German Catalysis Society

Den Fachgemeinschaften sind die fachlich relevanten Fachgruppen, Arbeitsausschüsse und Temporären Arbeitskreise zugeordnet. Ziel der Fachgemeinschaften ist der übergreifende Austausch in den jeweils zugeordneten Gremien sowie die Erarbeitung und Vertretung forschungspolitischer Aussagen für die übergeordneten Themenbereiche.

Die Koordination der Aktivitäten der Fachgemeinschaften erfolgt durch einen Lenkungskreis, dem die Vorsitzenden der zugeordneten Gremien angehören.

### **4.2.2. DFG und die Nationale Forschungsdateninfrastruktur NFDI**

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert seit dem Frühjahr 2019 die Errichtung fachlich orientierter Dateninfrastrukturen, zu dessen Zweck am 4. Juli 2019 ca. 30 Konsortien ein Konzept eingereicht haben.

[www.dfg.de/foerderung/programme/nfdi](http://www.dfg.de/foerderung/programme/nfdi)

Im Bereich Prozesstechnik ist bislang kein eigenes Konsortium aufgestellt worden. Die DecHEMA ist Koordinatorin des Konsortiums NFDI4cat, welches sich mit Katalyse, Reaktionstechnik und auch verbundene Prozesstechnik kümmert. Weitere Verbünde mit Nähe zur Prozesstechnik und technischen Chemie sind NFDI4 sind NFDI4chem (Chemie), FAIRmat (Materialwissenschaft), NFDI4ing (Ingenieurwesen mit Schwerpunkt Fertigungstechnik) und NFDI4mse (mse steht für Material Science & Engineering). Im Oktober 2019 soll ein Vollertrag zur Förderung weitere Aktivitäten eingereicht werden.

## 5. Wichtige Veranstaltungen zur Gestaltung der Digitalisierung der Prozessindustrie

### 5.1. Sensorik für die Digitalisierung Chemischer Produktionsanlagen – Anforderungen, Technologien und neue Lösungsansätze“, Workshop in der am 18. Juni 2019

Am 18. Juni 2019 fand im DECHEMA-Haus in Frankfurt am Main ein Workshop zur Erarbeitung von Anforderungen, Technologien und neuen Lösungsansätze für Sensoren im Umfeld einer digitalen chemischen Produktion mit etwa 100 Teilnehmerinnen und Teilnehmern statt. Das Treffen wurde organisiert von den Fachverbänden AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V. sowie der ProcessNet „Wanted Technologies“ (die seit 2010 verschiedene Fachgruppen der ProcessNet-Fachgemeinschaft Fluidodynamik und Trenntechnik unterstützt). Die Digitalisierung in Chemieanlagen ist derzeit gerichtet auf eine Betriebsplanung auf Basis komplexer Daten und durch die intelligente Analyse großer Datenmengen auf Basis einer wachsenden Computerleistung und maschinellem Lernen. Flexibilisierung von Anlagen, Veränderung der Rohstoffbasis, Energetisches Lastmanagement oder kürzeres „Time-to-Market“ sind einige zukünftige Herausforderungen für Prozessdesign und Anlagenbetrieb. Daraus ergeben sich Einsatzgebiete neuer und verbesserter Sensorik für die Anlagenüberwachung, Räumlich und zeitlich engere Überwachung kritischer Prozessgrößen oder die engere Überwachung von Produkt- und Eduktströmen.

Ziele des Workshops waren die Identifikation des F&E-Bedarfs zu den Themenkreisen

- Sensorik für die Zustandsüberwachung und prädiktive Wartung von Betriebsanlagen
- Sensorik für die Erfassung von stoffbezogenen Größen
- Sensorintegration in Anlagen
- Kommunikation, Datenmanagement, Datenanalyse und Prozessautomatisierung

sowie die Förderung der Zusammenarbeit und der Vernetzung zu dem Thema. Aus den Ergebnissen des Workshops ist im Januar 2020 ein Positionspapier entstanden [11]. Bis Mai 2020 hat der Initiativkreis Ideen für konkrete Forschungsprojekte und -konsortien gesammelt, um diese an die Forschungsförderung heranzutragen.

### 5.2. „Field instruments supporting digital transformation“, 81. NAMUR-Hauptsitzung, Bad Neuenahr, 08.–09.11.2018

Bei der NAMUR-Hauptsitzung am 08. und 09. November 2018 stand das Thema Feldgeräte im Vordergrund der von 650 Teilnehmern besuchten Veranstaltung in Bad Neuenahr. „Field instruments supporting digital transformation“ lautete das Motto, das Anwender von Automatisierungstechnik in der Prozessindustrie, eingeladene Experten und Manager von Herstellern und Verbänden ausgiebig diskutierten. [7] So wurden Anforderungen an den Wandel der Prozessanalysetechnik von heute und in Zukunft dargestellt. Auch mit den derzeitigen betreuungsintensiven PAT-Installationen lassen sich durch Digitalisierung Informationen da bereitstellen, wo sie gebraucht werden. Und der Spezialist muss nicht unbedingt vor Ort sein. Um zukünftig mehr Digitalisierung erfolgreich einzuführen zu können, ist die Komplexität zu kapseln, damit der Anwender den Nutzen leicht und unmittelbar spüren kann.

### 5.3. „100 % digital: Überlebensstrategien für die Prozessindustrie“, 57. Tutzing-Symposium der ProcessNet-Fachgemeinschaft PAAT, Tutzing, 15.–18.04.2018 [5]

Im April 2018 wurde von rund hundert Experten und Entscheidern aus der Chemie- und Prozessindustrie drei Tage lang mit Vorträgen und Kreativworkshops erkundet, welche speziellen Anforderungen die Prozessindustrie an digitale Innovationen hat, welche davon bereits umgesetzt wurden und wo noch Handlungsbedarf besteht. Dazu wurde der gesamte vertikale Asset Life Cycle von der Verfahrensentwicklung über die Produktion bis zum Rückbau sowie der horizontale Supply

Chain Life Cycle vom Lieferanten bis zum Kunden in der chemischen Produktion in Bezug auf die Chancen und Risiken der Digitalisierung betrachtet. Ebenso wurden Anforderungen an intelligente Apparate und Anlagen, Sensoren und Automatisierung sowie die Themen Datenkonzepte, Datenanalyse, Big Data und Künstliche Intelligenz erörtert. Die Perspektiven wurden zunächst in 12 Thesen zusammengefasst sowie in einer Reihe von Berichten in CITplus zusammenfasst [6].

## Referenzen

- [1] Verband der Chemischen Industrie e. V., Anker des Industriestandorts, Politikbrief, S. 10, Frankfurt am Main, Mai 2018
- [2] Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, Brancheninfo 5/2015: INDUSTRIE 4.0 AUF DEM VORMARSCH, Trend, Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 in der chemisch-pharmazeutischen Industrie, Hannover, September 2015
- [3] M. Bäumler, M. Morawietz, I. Herrmann: Die chemische Industrie: Branche im Wandel, <https://www.strategyand.pwc.com/reports/die-chemische-industrie> (28.05.2018)
- [4] N. Malanowski, J. Brandt: Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie? Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co., Expertise im Auftrag von VDI TZ, Hans-Böckler Stiftung und IG BCE, Düsseldorf, 2014
- [5] 57. Tutzing-Symposium: „100 % digital: Überlebensstrategien für die Prozessindustrie“, Veranstaltung der ProcessNet-Fachgemeinschaft Prozess-, Apparate-, und Anlagentechnik PAAT, eine gemeinsame Initiative von DecHEMA und VDI, Tutzing, 15.–18.04.2018
- [6] Teil 1: L. Woppowa: 12 Thesen für das Überleben – Tutzing-Symposium 2018 thematisiert die Digitalisierung in der Prozessindustrie, CITplus 2018(6), 6–8.  
Teil 2: N. Kockmann, J.-U. Repke, A. Bamberg: Vertikale Integration: Prozessentwicklung, Planung, Produktionskonzept und Genehmigung, CITplus 2018(7–8), 2–4.  
Teil 3: R.-H. Klaer, A. Wagner, M. Maiwald: Datenkonzepte, Datenanalyse, Big Data und künstliche Intelligenz, CITplus 2018(9), 6–9.  
Teil 4: L. Urbas, F. Stenger, L. Woppowa: Smart Equipment: Intelligente Apparate und Anlagen, Sensoren und Automatisierung, CITplus 2018(10)  
Teil 5: R.-H. Klaer, M. Rittmeister: Arbeiten 4.0: Einfluss der Digitalisierung auf die Arbeitswelt, CITplus 2018(12)  
Teil 6: N. Kockmann, H.-R. Lausch, D. Schmalz: Horizontale Wertschöpfungskette: Vom Rohmaterial bis zum Kunden, Supply Chain und neue Geschäftsmodelle, CITplus 2019(3)  
Teil 7: N. Kockmann, M. Wilk, L. Woppowa: Bildung 4.0: Bedeutung der Digitalisierung für Bildung und Lehre, CITplus 2019(7–8)
- [7] NAMUR e.V., Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie, Presse-Information, NAMUR-Hauptsitzung 2018 „Field instruments supporting digital transformation“, November 2018
- [8] A. Bamberg, S. Bröcker, N. Kockmann, M. Bortz: Was den Digitalen Zwilling zum genialen Kompagnon macht, Chem. Ing. Tech. 2020, 92(3), 192–198, <http://dx.doi.org/10.1002/cite.201900168>
- [9] Initiative ENPRO 2.0: Energieeffizienz und Prozessbeschleunigung im Lifecycle - modular, intelligent und vernetzt, Förderaktivitäten des BMWi zu Energieeffizienz und Ressourcenschonung für die Prozesstechnik, 2018, <http://enpro-initiative.de/>

- [10] Vogel-Heuser, Birgit: „Produktions- und Verfügbarkeitsoptimierung mit Smart Data Ansätzen“ (Tagungsband der öffentlichen SIDAP-Abschlussveranstaltung), Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme, Technische Universität München, 2018 – <http://doi.org/10.14459/2018md1455466>, <http://doi.org/10.14459/2018md1455466>, ISBN 978-3-86844-998-3.
- [11] Initiative Wanted Technologies der ProcessNet sowie AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V., Positionspapier Sensorik für die Digitalisierung chemischer Produktionsanlagen, Frankfurt a. M., Februar 2020, <https://dechema.de/Sensorik-path-123212,124930.html>