



Masterarbeit
zur Erlangung des Grades eines
Master of Engineering (M.Eng.)

**Thema: Industrie 4.0 in der
Prozessindustrie**

Stand der Arbeit: 09.02.2018

Verfasser:

Anton Felix Sparfeld

Inhalt

I Abbildungsverzeichnis	II
II Abkürzungsverzeichnis	III
III Glossar	IV
1 Einleitung.....	1
2 Industrie 4.0 und Digitalisierung	2
3 Aktueller Stand der Industrie	6
3.1 Sicht von Verbänden	6
3.1.1 VDMA.....	7
3.1.2 VDI	9
3.1.3 DECHEMA	12
3.1.4 VCI.....	16
3.1.5 Plattform Industrie 4.0	20
2.2 Sicht von Konzernen.....	25
2.2.1 BASF SE	25
2.2.2 Sinopec	28
2.2.3 SABIC.....	30
2.2.4 Exxon Mobil Corporation.....	34
2.3 Sicht von KMU	36
2.4 Sicht von Technologielieferanten.....	42
2.4.1 Siemens AG.....	42
2.4.2 Robert Bosch GmbH	44
2.4.3 SAP SE	46
2.4.4 Microsoft Corporation.....	47
3 Industrietrends	49
4 Lösungsansätze zur Industrie 4.0 in der Prozessindustrie.....	54
5 Industrie 4.0 im Anlagen-Lebenszyklus	58
6 Fazit	65
7 Literaturquellen.....	66
8 Bildquellen.....	73

I Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zuordnung von Maßnahmen entsprechend des Digitalisierungsstandes [Quelle: VDI ZRE]	12
Abbildung 2: RAMI 4.0 [Quelle: Plattform Industrie 4.0]	22
Abbildung 3: Der Innovationsprozess bei der BASF SE [Quelle: BASF SE]	27
Abbildung 4: Der intelligenteste Handschrauber der Welt [Quelle: Bosch]	46
Abbildung 5: SAP portfolio for digital business framework [Quelle: SAP SE].....	47
Abbildung 6: Verfahrensfließschema der Aminwäsche [Quelle: Philip1307]	49
Abbildung 7: Verfahrensschema zur Herstellung von Hochdruckpolyethylen nach dem Rohrreaktorprinzip [Quelle: Spektrum.de]	50
Abbildung 8: Übersicht der Lebensphasen eine Anlage und der nutzbaren digitalen Technologien [eigene Darstellung]	63

II Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
AGAB	Arbeitsgemeinschaft Großanlagenbau
AIS	Audit Information System
AR	Augmented Reality
BAVC	Bundesarbeitgeberverband Chemie
BIM	Building Information Modelling
BITKOM	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CAD	computer-aided design
CPS	cyber-physisches System
CTM	Centralized Treasury Management
DECHEMA	DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.
EPC	Engineering-Procurement-Construction
ERP	Enterprise-Resource-Planning
GCC	Gulf Cooperation Council
HANA	High Performance Analytic Appliance
HDPE	High Density Polyethylen
IG BCE	Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie
IIC	Industrial Internet Consortium
IoT	Internet of Things
IT	Informationstechnologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LoRa	Long Range Wide Area Network
MES	Manufacturing Execution System
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
RFID	radio-frequency identification
ROI	Return on Investment
SABIC	Saudi Basic Industries Corporation
SAP S/4 HANA	SAP Suite 4 HANA
TBM	Total Budget Management
VCI	Verband der Chemischen Industrie e. V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VR	Virtual Reality
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.

III Glossar

Begriff	Bedeutung
AR	Erweiterung der Realität durch Computerunterstützung
Big Data	Datenmengen, die ohne technische Unterstützung nur schwer ausgewertet werden können
BIM	Digitale Modellierung, Erfassung und Kombination aller betreffenden Daten in virtuellem Modell
CAD	Unterstützung der Modellierung durch Computer
Cloud-Computing	IT-Infrastrukturen über das Internet zur Verfügung gestellt
EPC	Form der Projektabwicklung für Generalunternehmer im Bauwesen
ERP	Materialbedarfsplanung auf Unternehmensebene
IoT	Vernetzung von Gegenständen IT-Infrastruktur
KMU	Unternehmen mit maximal 250 Angestellten oder einem maximalen Jahresumsatz von 50 Mio. €
MES	Produktionsleitsystem mit direkter Anbindung an Prozessautomatisierung
RFID	Objekte mit Hilfe von Radiowellen identifizieren und lokalisieren
ROI	Gibt an, wann sich eine Investition rentiert
Stakeholder	Ein Teilhaber an einem Unternehmen oder Prozess
VR	Darstellung der Realität in computergenerierter und interaktiver Umgebung

1 Einleitung

Industrie 4.0 ist als zukunftsweisendes Thema aktuell in der Prozessindustrie allgegenwärtig. Häufig herrscht jedoch Unklarheit über den tatsächlichen Stand und welche Erwartungen an das Thema gestellt werden. Anlagenbetreiber, Wartungsunternehmen und andere beteiligte Unternehmen sind sich mehr oder weniger im Klaren, wie an die Digitalisierung zu einer Industrie 4.0 herangegangen werden muss.

Diese Arbeit soll dazu Anhaltspunkte und eine Orientierung liefern, wie weit das Thema bereits fortgeschritten ist. Zu diesem Zweck wird zunächst der aktuelle Stand in der Prozessindustrie und der wichtigsten Interessengruppe analysiert. Dabei wird sowohl auf bereits vorhandenen Industrie 4.0, als auch auf aktuelle Bestrebungen der Unternehmen eingegangen. Diese Ansätze werden eingeschätzt und das Potenzial beurteilt. Zudem werden die verschiedenen Trends auf vorhandene Vor- oder Nachteile hinsichtlich der Einführung und dem Nutzen untersucht.

Anschließend sollen die wichtigsten Trends zusammengefasst und bewertet werden. Dabei findet eine Einteilung in die Nutzbarkeit je nach Fortschritt im Anlagen-Lebenszyklus statt. Des Weiteren werden Chancen und Risiken analysiert. Abschließend soll das Thema an einem praktischen Beispiel verdeutlicht und der eventuelle Mehrwert aufgezeigt werden. Dazu sollen die vorhandenen Ansatzpunkte herausgearbeitet und weitere Möglichkeiten beleuchtet werden.

2 Industrie 4.0 und Digitalisierung

Industrie 4.0 und Digitalisierung sind zwei Schlagworte die in keinem größeren Unternehmen mehr unbeachtet sind. Die Themen beschäftigen die gesamte Industrielwelt, beeinflussen die Handlungen der Politik und lenken die Forschungen in völlig neue Richtungen. Dabei muss zunächst festgelegt werden, was diese beiden Begriffe überhaupt bedeuten und wie sie definiert sind oder werden können. Zudem müssen die Ziele einer Digitalisierung klar sein und welcher Erfolg davon ausgehen kann.

Das international renommierte Wirtschaftsmagazin Forbes beschreibt ausführlich, wie Industrie 4.0 ihrer Ansicht nach definiert ist. Dabei bedeutet Industrie 4.0, dass zwischen Apparaten, Sensoren, Menschen und anderen Bestandteilen einer Anlage oder eines Prozesses eine kontinuierliche Interaktion stattfindet.^[1] Durch den ständigen Austausch an Informationen sind diese stets transparent und für jeden ersichtlich. Zudem entsteht so ein digitales virtuelles Abbild der Anlage oder des Prozesses. Oft wird dieses auch als „Digitaler Zwilling“ bezeichnet, auf den später noch näher eingegangen wird. Durch diese digitale Interaktion an den Schnittstellen zwischen Nutzer und Technik kann auch eine Hilfestellung bei Problemen geschaffen werden, welche durch kürzere Kommunikationswege die Entscheidungsfindung und Problemlösung erleichtert und beschleunigt. Die Angestellten werden so deutlich entlastet. Sensoren arbeiten stellenweise autonom und regeln selbstständig bei Unstimmigkeiten. Rechenprozesse finden teilweise durch intelligente, mit Prozessoren ausgestattete, Apparate vor Ort statt.

Das gesamte System wird dezentralisiert und arbeitet selbstständiger. Dies erfordert einerseits eine hohe Systemstabilität und andererseits eine gute Absicherung gegen Cyberangriffe und andere Sicherheitsprobleme, die durch äußere Einflüsse auftreten könnten. Darauf muss bei der Vernetzung genau geachtet werden. Das erfordert einen hohen Aufwand in die eingesetzte IT. Die Belegschaft muss geschult werden und kontinuierlich mit dem System mitlernen. Weiterhin gibt Forbes an, dass durch Industrie 4.0 große Gewinne erzielt werden können. Durch die schnelleren Entscheidungen und Kommunikationswege kann die Effizienz der Produktion gesteigert werden.

Durch die kontinuierliche autonome Überwachung werden Fehler relativ unkompliziert behoben und somit eine bessere Produktqualität erzielt. Die transparenten Daten verbessern die Kommunikation der Beteiligten an der Wertschöpfung und beschleunigen Abläufe zwischen Lieferant und Kunde. Daten stehen kontinuierlich zur Verfügung und Geschäftsprozesse werden beschleunigt. Zuletzt kommt Industrie 4.0 auch den Angestellten zu Gute. Weniger Außeneinsätze durch sich selbst

regulierende Maschinen und Apparate verringern das gesundheitliche Risiko, sich zu verletzen oder schädliche Gase einzusatmen.

Ein wichtiger Bestandteil ist dabei der „digitale Zwilling“, der eine Grundlage der Industrie 4.0 bildet. Dieser soll nun näher erläutert werden. Wie bereits erwähnt, ist diese digitale Kopie eine eins-zu-eins-Übertragung der realen Anlage in die digitale Welt. Alle Abläufe, alle alten und aktuellen Daten werden gebündelt und umgewandelt. Dies betrifft neben Prozessdaten auch Umgebungsdaten der Umwelt. So entsteht ein digitales Profil der Anlage oder des betreffenden Prozesses und es ist virtuell ersichtlich, welche Vorgänge ablaufen.

Auf diese Weise sind genauere Einblicke in die ablaufenden Vorgänge möglich, als dies derzeit der Fall ist. Ungewollte Trends und Leistungsabfälle können erkannt und Prognosen getroffen werden. Der Kreislauf zwischen realer und digitaler Welt beinhaltet fünf Hauptbestandteile ^[2] und folgt einer Grundstruktur. Dies sind Sensoren, Daten, Analysesoftware, das digitale Abbild und die Stellantriebe der Maschinen.

Sensoren nehmen alle notwendigen Daten auf, um das Abbild erzeugen zu können. Diese Sensordaten werden durch leistungsfähige Analytik mit anderen Daten, die die Anlage oder den Prozess betreffen, verknüpft. Dabei können diese auch von anderen Standorten oder sogar Zulieferern und Kunden kommen. Daraus werden Erkenntnisse gewonnen, indem Simulationen und Algorithmen durchlaufen werden. Aus den gesammelten und analysierten Daten wird das digitale Abbild erzeugt. An diesem können Abweichungen frühzeitig erkannt werden, da die Daten korrelieren und zukünftige Verläufe vorhergesagt werden. Neue Einstellungen werden virtuell getestet und an das System übermittelt.

Stellantriebe der realen Anlage setzen diese Befehle um und eine Veränderung tritt mit dem Ziel einer Leistungssteigerung ein. Neue Daten werden gemessen und der Kreislauf schließt sich. Dabei wird auch der größte Unterschied zu herkömmlichen computer-aided design (kurz: CAD) oder Internet of Things (kurz: IoT) Programmen deutlich. Durch die fortgeschrittene Analysesoftware und vernetzten Strukturen sind genauere Auswertungen möglich und Veränderungen werden systemweit in Echtzeit festgestellt. CAD und IoT-Anwendungen sind nicht so systemumfassend und komplex.

Diese relativ allgemeine Beschreibung zur Erzeugung des digitalen Abbilds soll nachfolgend etwas näher erläutert werden, außerdem werden die Vorteile dessen aufgezeigt. Wie bereits beschrieben, beinhaltet das Abbild Daten und Informationen des echten Prozesses, welche in Echtzeit in das digitale Programm integriert wurden. Wichtig ist die notwendigen Verbindungspunkte festzulegen, damit auch unterschiedliche Unternehmensbereiche davon profitieren können. Im Prozessdesign werden diese Verknüpfungen dargestellt. Durch Diagramme sowie andere Visualisierungen können die beinhalteten

Daten veranschaulicht werden. Dort können beispielsweise Übersichten der Betriebskostenverläufe, Effektivitäten oder Temperaturen zu sehen sein.

Diese Vielfältigkeit beruht auf der Vernetzung des gesamten Unternehmens durch den digitalen Faden. Begünstigt wird diese Flexibilität durch die heutigen technischen Standards an hohen Rechenleistungen, zahlreichen unterschiedlichen Analysetechnologien oder unterschiedlichsten Speicherungsmöglichkeiten. Bedingt durch diese technologischen Errungenschaften gelingt die Erzeugung eines umfangreichen und äußerst präzisen Abbildes. Dies ist jedoch nur möglich, wenn auch ein entsprechendes Verständnis des digitalen Zwillings vorliegt, damit dieser auch umgesetzt werden kann.

Nachfolgend soll die Grundstruktur des digitalen Zwillings beginnend bei den Sensoren detaillierter erläutert werden. Die Sensoren messen die Prozessdaten und Umwelteinflüsse, die den Prozess betreffen. Hinzu kommen weitere externe Datenquellen, welche mit dem Prozess in Zusammenhang stehen, sowie Informationen aus Fertigungssystemen (engl. manufacturing execution systems (kurz: MES), CAD, der Rohstoffverteilung (engl. Enterprise-Resource-Planning, kurz: ERP) und dem Versorgungsnetzwerk der liefernden Unternehmen. Diese Menge an Daten wird gesammelt, verschlüsselt und an das digitale Abbild übermittelt. So entsteht eine nahtlose Verbindung zwischen realem und digitalem Abbild.

Die mit Prozessoren ausgestatteten Schnittstellen verbinden die Sensoren und die digitale Plattform. Vor Ort werden die Daten und Signale verarbeitet und anschließend zum digitalen Abbild gesendet. So werden keine hohen Datentransferströme benötigt und die Datenformate werden weniger komplex. Des Weiteren werden Engstellen durch hohe Auslastungen vermieden. In lokalen Servern oder Cloud-Lösungen werden diese Daten nun gesammelt und die Weiterverarbeitung in Analysesoftware geregelt. Je nach Dateninformation werden die Informationen von der Software ausgewertet und visualisiert.

Durch Iteration können variable Modelle und Grafiken erstellt werden, die neue Erkenntnisse liefern und bei der Findung der richtigen Entscheidung unterstützen. Auf diesen Abbildungen, Diagrammen oder Tabellen werden alle Abweichungen zwischen realem Prozess und virtuellem Modell ersichtlich. Abweichungen werden auf Unregelmäßigkeit oder Besonderheiten untersucht und gegebenenfalls Änderungen getätigt. Diese Anweisungen werden an die Steuergeräte der Maschinen und Apparate gesendet. Anschließend wird von diesen die notwendige Änderung umgesetzt. Anhand der neuen Prozessbedingungen und der veränderten Prozesskontrolle können die neuen Einstellungen in Echtzeit auf deren Wirkung betrachtet werden.

Die Vorteile, die sich bei erfolgreicher Erstellung ergeben, sind vielfältig. Das wichtigste Ziel ist die Steigerung der Produktion in Effektivität und Effizienz. Dies gelingt durch genaue Vorhersagen der Verläufe von Prozessdaten und deren Optimierung. Dadurch können Ressourcen eingespart und Fehler frühzeitig erkannt werden. Neue Produkte können vorab virtuell produziert werden, sodass die reale Produktion fehlerfreier und schneller gestartet werden kann. Die Kinderkrankheiten von neuen Prozessen befinden sich dann nur noch im digitalen Abbild und werden vor realer Inbetriebnahme behoben. Mehr Daten zu den eigenen Produkten kommen auch den Kunden und der Kundenbindung zu Gute, da auf diese Weise ein besserer Service geliefert werden kann und die Kundenzufriedenheit steigt.

Damit die Einführung des digitalen Zwillings auch die gewünschten Vorteile bringt, ist es wichtig die Digitalisierung auch in die Firmenstrategie aufzunehmen. Zu betrachten sind vor allem die Marktdynamik, die Erschließung neuer Absatzmärkte, eine bessere Gewährleistung sowie allgemein eine bessere Produktleistung und die schnellere Markteinführung neuer Produkte. Eine Qualitätssteigerung der Produkte ist in jedem Unternehmen ein gewünschtes Ziel. Mit einem digitalen Abbild als Unterstützung gelingt dies. Durch diese frühzeitigen Fehlererkennungen und der Klärung wann und warum ein Problem auftrat, kann das Produktionsniveau angehoben und somit auch eine bessere Produktqualität erzielt werden. Qualitätseinbrüche werden vermieden. Durch die ständige Anpassung der Prozesse kann der gesamte Ablauf effizienter gestaltet werden.

Die Leistungen der Apparate und Maschinen steigen durch weniger Ausfälle und Beschädigungen auf Grund der Früherkennung von Verschleißgrenzen. Dieses proaktive Handeln im Wartungsservice vermindert teure Anlagenstillstände. Ein besseres Prozess- und Anlagenverständnis durch die digitale Unterstützung führt zu einem besseren Einbinden der Mitarbeiter und mehr Produktivität. Notwendige Produktverbesserungen können eher erkannt werden. Die Erforschung neuer Produkte wird zielgerichteter und leichter. Zahlreiche Daten verringern unnötige Arbeit und sparen so Zeit. Neue Produkte können schneller eingeführt und Vorlaufzeiten und der Einfluss auf die Wertschöpfungskette können besser abgeschätzt werden. Zudem können neue Services etabliert werden und die Qualität der Serviceleistungen wird gesteigert. Serienmäßige Teile und wiederkehrende Rohstoffnotwendigkeiten werden digital aufgenommen und abgespeichert. So können Angebot und Nachfrage problemloser gehandhabt werden und Markteinbrüche werden frühzeitig erkannt. ^[3] ^[4] ^[5] ^[6]

3 Aktueller Stand der Industrie

Zum Überblick der aktuellen Bestrebungen und der vorhandenen Kenntnisse wurde nachfolgend zu einigen ausgewählten Verbänden, Konzernen, kleinen und mittelständischen Unternehmen (kurz: KMU) und Technologieanbietern der Stand der Technik zusammengetragen.

3.1 Sicht von Verbänden

In Deutschland existiert eine Vielzahl von Verbänden für die verschiedenen Industriebranchen. Derzeit spielt das Thema Industrie 4.0 in den meisten davon eine wichtige Rolle. In den Branchenverbänden mit Relevanz zur Prozessindustrie werden ihre Empfehlungen und Bestrebungen aufgezeigt. Forderungen sind vorwiegend nach einer besseren Ausbildung und Studienmöglichkeiten im Bereich der digitalen Technologien und der bereichsübergreifenden Arbeit. Die verschiedenen Arbeitswelten in Prozessanlagen müssen stärker verknüpft werden. Derzeit arbeiten Verfahrenstechniker und Informationstechniker häufig getrennt voneinander.

Eine weitere Forderung ist ein einheitlicher Standard für das genutzte Datenformat. Dazu wurde beispielsweise die DEXPI-Initiative gegründet. ^[7] ^[8] DEXPI steht für Data Exchange for the Process Industry und ist Teil der ProcessNet Initiative. Mit dem Ziel ein einheitliches Datenformat für den Datenaustausch zu schaffen, wurde DEXPI von Unternehmen aus vier Bereichen der Industrie gegründet. Dies betrifft Anlagenbetreiber wie zum Beispiel die BASF SE, EPC-Dienstleister wie die Air Liquide S.A., Forschungsunternehmen und -institute wie die TU Berlin und Software- und Systemlieferanten wie die Autodesk Inc. Grundlage des neuen Formates soll die ISO 15926 sein. Dabei wird von allen Verbänden eine einheitliche Herangehensweise gefordert. Das neue Datenformat soll für den kompletten Lebenszyklus einer Anlage nutzbar sein und alle Bestandteile wie beispielsweise Fließbilder oder das Engineering vereinen. Seitens der Verbände besteht die Forderung nach einem einfachen Datenaustausch ohne Informationsverluste für die Industrie.

Der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. (kurz: ZVEI) ist bestrebt, die Arbeitsabläufe reibungsloser und autonomer zu gestalten und einen digitalen Bestandskatalog mit Vorlagen grundlegender Modelle einzuführen. ^[9] Des Weiteren wird eine dezentrale Datenverarbeitung angestrebt. ^[10] Dies wird auch von anderen Verbänden für eine Effizienzsteigerung der Betriebe vorangetrieben. NAMUR - Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie e.V. hat dazu einen eigenen Arbeitskreis gegründet. Unter dem Namen Enabling Industrie 4.0 sollen Unternehmen unterstützt werden die Digitalisierung zu bewältigen. ^[11]

Ähnliche Workshops und Arbeitskreise haben auch andere Verbände auf die im weiteren Verlauf näher eingegangen wird. Ziel der Arbeitskreise ist die Erhöhung der Akzeptanz und Bereitschaft zur Digitalisierung hin zur Industrie 4.0. Dabei werden Best Practice Beispiele aufgezeigt und die Beteiligung an der Entwicklung und Umsetzung neuer Technologien aktiv unterstützt.

Verbände bereiten die Unternehmen auf eine Produktionsveränderung vor, die durch die Forderung der Märkte nach mehr Flexibilität nötig ist. Kleine Losgrößen sind bei einheitlichen Herstellungsprozessen häufig problematisch. Durch Modularisierung kann dies in der Pharmaindustrie und einigen Sparten der Kunststoffherstellung jedoch bereits realisiert werden. Hindernisse bestehen dabei teilweise durch Regularien und Optimierungsdruck, welcher auf der Marktsättigung und dem daraus resultierenden steigenden Wettbewerb basiert. Der NAMUR sieht zudem Vorteile für Unternehmen durch einen regen Datenaustausch mit den Kunden für mehr Produktsicherheit und bessere Instandhaltungsmaßnahmen. Angebote können individueller gestaltet werden. Ein Problem sieht NAMUR in den Datenrechten, da geklärt werden muss um wessen Daten es sich rechtlich handelt. Dazu stellen diverse Verbände eine Reihe von Empfehlungen, Basisverträgen und ähnlichem bereit.^[12]

Ein Knackpunkt sind Sensoren. Diese sind der Grundbaustein für alle Daten, da diese von den Sensoren gemessen werden. Die Verbände fordern von Herstellern für eine effektivere Digitalisierung und reibungslosere Produktionsabläufe möglichst unkomplizierte Sensortechnik. Diese soll von den Betreibern ohne großen Aufwand betrieben werden können. Wichtig ist zudem die Vernetzung der Sensoren einer gesamten Anlage für effektivere Prozessgestaltungen. Auf die Standpunkte weiterer großer Industrieverbände soll nachfolgend näher eingegangen werden.

3.1.1 VDMA

Der Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer e.V. (kurz: VDMA) ist ein Zusammenschluss großer Konzerne mit dem Ziel die Wirtschaft international auf einem hohen Niveau zu halten. Für den großindustriellen Bau von Anlagen ist vorwiegend die Arbeitsgemeinschaft Großanlagenbau (kurz: AGAB) zuständig.

Auf Grund der schwierigen Konjunkturlage und einer allgemeinen Übersättigung des Marktes sind die Auftragsanzahl und der Auftragsumfang in vielen Bereich zurückgegangen oder stagnieren. Dies führt zu einer Umorientierung zu mehr Service- und Dienstleistungen wie beispielsweise Wartungsaufgaben. Vorteil des deutschen Anlagenbaus ist der international sehr gute Ruf. Deutsche Unternehmen sind in Bereichen wie zum Beispiel Innovationsmöglichkeiten, Umweltschutz und Know-How weltweit führend. Viele Auftragnehmer greifen daher auch auf hiesige Firmen zurück, um ihre Mitarbeiter

parallel zum Anlagenbau für diese ausbilden zu lassen und auf digitale Technologien vorzubereiten. Zudem haben sich weltweite Kooperationsnetzwerke gebildet und auch politisch erhält die Wirtschaft viel Rückendeckung durch Wirtschaftsabkommen und andere Vereinbarungen.

Probleme für ein weiteres Wachstum liegen zum einen in zahlreichen nationalen und internationalen Gesetzen und Regelwerken verschiedenster Institutionen wie z.B. vom OECD und der Bundesrepublik Deutschland. Zudem herrscht durch die zahlreichen politischen Unruhen und Unsicherheiten weltweit teilweise keine Investitionsbereitschaft der Banken und anderer Geldgeber um Aufträge zu realisieren. Zuletzt ist ein weiteres Problem für die Wirtschaft der niedrige Rohstoffpreis. Ohne Einnahmen kann keine Industrie expandieren und so führen die niedrigen Preise zu einem fehlenden Investitionsvermögen.

Die größten Herausforderungen stehen den Erbauern von Chemieanlagen sowie metallverarbeitenden Werken bevor. Dort sind die Überkapazitäten so enorm, dass eher zurückgebaut wird. Gefragt sind hier vor allem Modernisierungen für eine bessere Umweltbilanz und effektivere Abläufe. Anders sieht das bei Baustoffanlagen aus. Durch die weltweite Mobilitätssteigerung werden stetig neue Infrastrukturprojekte ausgeschrieben und so steigt auch der Bedarf an Baustoffen. Ebenso ist die Lage bei der Holz- sowie der Papier- und Zellstoffindustrie. Steigende Anforderungen und Ansprüche erhöhen den Bedarf vor allem an Verpackungsmaterialien und Bauholz. Daher wird in diesen Branchen stark investiert und modernisiert. ^[13]

Im September 2017 wurde eine Studie ^[14] in Zusammenarbeit mit dem VDMA herausgegeben. Dabei wurden die aktuellen Trends erforscht und bewertet. In der Studie fiel auf, dass eine Entwicklung zur Industrie 4.0 bisher kaum umgesetzt wurde und entsprechende Technologien kaum existent sind. Auf etliche der wichtigen Trends wird eingegangen und die Unternehmen sind bestrebt diese einzuführen, jedoch ist die vollständige Umsetzung noch nicht vollzogen. Dabei spielen vor allem die Technologien der Echtzeit-Simulation und eine umfassende Sensorik eine bedeutsame Rolle für den Anlagenbau und die befragten Unternehmen. Zusätzlich will die Industrie Kooperationen stärken, um dem wachsenden Druck aus dem Ausland standhalten zu können. Das Thema Big Data ist ebenfalls von großer Bedeutung und bedarf einer zügigen Umsetzung. Dies wird bedingt durch die Menge der erfassten Daten und entscheidenden Parameter. Somit gehen sicherheitsrelevante Aspekte damit einher.

Erstaunlich ist, dass die Wirtschaft laut Studie kaum Wert auf angepasste und neue Aus- und Weiterbildungen legt. Im Widerspruch dazu ist für die Unternehmen die Qualifikation der Mitarbeiter sehr bedeutend. Dabei wird demnach auf eine entsprechende Anpassung der schulischen Bildung und der Studiengänge gesetzt. Ein weiteres wichtiges Thema ist die Erschließung neuer Geschäftsfelder und -modelle. Dies wird allerdings lediglich für neu errichtete und bereits modernisierte Anlagen als

möglich angesehen. Altanlagen können nach Ansicht der Studienteilnehmer nur schwer in neue Geschäftsmodelle integriert werden.

3.1.2 VDI

Der Verein Deutscher Ingenieure e.V. (kurz: VDI) ist einer der größten deutschen Ingenieursverbände. Dementsprechend steht Industrie 4.0 auch als eines der aktuellen Fokusthemen sehr im Vordergrund der Vereinstätigkeiten. Mittels der Abteilung VDI Wissensforum GmbH bietet der Verein Unternehmen eine Vielzahl verschiedenster Tagungen, Weiterbildungen, Konferenzen und vielem mehr an. Zur Digitalisierung existieren außerdem etliche Fachausschüsse zu allen Bereichen dieses Themas. Veranstaltungen sind beispielsweise Seminare zur IT-Sicherheit in den verschiedenen Arbeitsbereichen, eine Fachtagung zur Industrie 4.0, eine Konferenz zu Big Data Technologien in der Produktion und eine Konferenz zu Assistenzrobotern in der Produktion. ^[15]

Der VDI ist der Ansicht, dass durch die Digitalisierung in Zukunft die physische Arbeit, bedingt durch Assistenzsysteme wie Robotik und leistungsfähigere Sensoren, zurückgehen wird. Jedoch steigt dadurch die Komplexität der Tätigkeiten und das Personal muss geistig fit und auf dem neuesten Stand der Informationen sein. Daher sind auch stetige Weiterbildungen und ein lebenslanges Lernen von enormer Wichtigkeit. Darauf muss auch die Bildung reagieren und die neuen digitalen Kompetenzen frühzeitig in die Ausbildungen und Studiengänge integrieren. Der Praxisbezug soll frühestmöglich hergestellt werden.

Interdisziplinarität wird eine große Rolle spielen, da die neuen Arbeitsbereiche eher an den Schnittstellen mehrerer Gebiete liegen werden. Zu diesem Zweck hat der VDI extra ein Gremium eingerichtet, um die digitale Transformation in diesem Bereich gezielt voranzubringen. Ziel ist, neben der Schaffung von einheitlichen Rahmenbedingungen und Standards, auch die aktive Mitgestaltung und Begleitung der Digitalisierung. Des Weiteren gilt es, den Dialog zwischen Wirtschaft und Gesellschaft zu fördern. Mensch, Maschine und IT muss durchgehend über alle Ebenen der Unternehmen verknüpft werden. Die Akzeptanz der Gesellschaft dafür ist zu schaffen. Ebenso betrifft dies die gesamte Wertschöpfungskette beginnend mit der Planung, über den Betrieb und Serviceleistungen bis hin zur Demontage. Selbst bei geringer Nutzung digitaler Technologien ist so bereits eine Produktivitätssteigerung möglich. Dies wird zukünftig ein entscheidender Wettbewerbsfaktor sein.

Der VDI sieht große Vorteile in der Koordination der Logistik in Echtzeit durch neue Steuerungssysteme und mehr Informationen. Transporte können flexibler und effizienter durchgeführt werden. Als

Beispiel dient hier die Verwendung von Bar- oder QR-Codes auf Produktbehältern. Diese Codes enthalten alle wichtigen Informationen zu Material, Verarbeitungsgrad und weiteren Eigenschaften und sind jederzeit online abrufbar. Im Bedarfsfall ist eine individuelle Anpassung schnell möglich. Dies wird auch durch stetig wachsende und neu erschlossene Absatzmärkte bedingt.

Änderungen in Produktionsprozessen liefern neue Produktvielfalten. Ermöglicht wird das durch digitale Analysegeräte wie beispielsweise einer vernetzten Sensorik. Dadurch wird das Nutzerverhalten und besondere Ansprüche schneller erkannt und Verbesserungsvorschläge können dem Kunden unterbreitet werden. Dies führt zu einer effektiveren und angepassten Produktion. Dabei liegt der Fokus aktuell meistens nur auf kurzfristigen Erfolgen. Der VDI ist der Ansicht, dass dadurch digitale Werkzeuge und Methoden zu wenig implementiert werden. Die ökonomische Betrachtung der neuen Technologien muss auf ein breiteres Spektrum erweitert werden und nicht nur begrenzt auf den einzelnen Bereich in dem diese angewandt wird. Smart Factories ermöglichen diese durchgehende Datennutzung und Datenverfügbarkeit.

Ein weiteres Problem, das der VDI angeht, sind die hohen Datenmengen die zukünftig erfasst und verarbeitet werden müssen. Es wird von entscheidender Bedeutung sein, diese richtig zu handhaben und optimal anzuwenden. Dazu muss die Komplexität des Ganzen auf einen nutzbaren Zustand reduziert werden. Dies kann beispielsweise durch Verknüpfung von Daten zu Trends geschehen. Der VDI unterstützt dazu die Kooperation der verschiedenen Arbeitsbereiche. Ziel ist auch die Schaffung von Grundlagen für die Sicherheit, der Bereitstellung sowie den Rahmenbedingungen der Datennutzung. Damit wird eines der Hauptprobleme angegangen. Die mangelnde Sicherheit in den IT-Bereichen führt zu häufigen Störungen. Dies betrifft vorwiegend die Schnittstellen zwischen Apparaten, Maschinen und Systemen, zudem die Datensicherheit und die der digitalen Systeme. Dabei kann ein intensiver Wissensaustausch die Situation aller Beteiligten an der Wertschöpfung verbessern. Ein MES kann dort als Verbindungsstelle dienen. Dabei bedarf es jedoch der vom VDI geforderten Normen und Standards.

Potenzial bietet auch die effiziente Ressourcennutzung. Können Energie und Rohstoffe gespart werden, steigt schnell der Umsatz. Zudem verbessert sich so die Umweltbilanz des Unternehmens, wodurch Kosten für Umweltzertifikate wie beispielsweise für den CO₂-Ausstoß eingespart werden.

Grundlage der Vernetzung der vertikalen und horizontalen Wertschöpfungsketten sind jedoch Sensoren. Durch diese wird die ständige Informationsverfügbarkeit ermöglicht. Vernetzt sind diese mit allen Bereichen von Unternehmen zu Cyber-Physischen-Systemen (kurz: CPS). Diese CPS umfassen alle Sensordaten aus den Prozessen von Produktion bis zur Logistik, die Aktoren, durch welche die physikalischen Prozesse steuerbar sind und die digitale Vernetzung und Verfügbarkeit aller global und

im Betrieb gemessenen Daten. Dabei bestehen CPS aus den Sensoren, Aktoren, Benutzerschnittstellen und der nötigen Datenverwertung.

Für eine bessere Stabilität und weniger anspruchsvolle Rechensysteme bietet es sich an, die Rechenleistung dezentral zu gestalten, dies ist zudem wirtschaftlicher, da keine teuren Großrechner angeschafft werden müssen. Werden die Sensoren smart, können Daten sogar bereits direkt an der Messstelle vorverarbeitet werden. Mittels digitaler Schnittstellen können so die übermittelten Daten auf die gewollte Menge vorreduziert werden und es entsteht eine bessere Übersicht. Die Aktoren wandeln hingegen ein Signal in eine physikalische Tätigkeit um und steuern so die Apparate und Maschinen. Ein Beispiel dafür ist die bedarfsgerechte Befeuerung von Industrieöfen durch Wärmebilanzen in Echtzeit mit Hilfe eines Prozessleitrechners der die Messwerte auswertet. Diese Steuerung geht vom Operator der Anlage aus. Durch die intelligenten Werkzeuge kann dies flexibel gestaltet werden. Dabei spielen alle neuen Technologien eine Rolle.

Als wichtigste nennt der VDI vor allem Cloud-Computing, Big Data, Robotik, CPS und intelligente Fahrzeuge. Letztere verringern nicht nur das Gefahrenpotenzial für das Personal, sondern können Tätigkeiten auch präziser ausführen. Transportwagen werden ferngesteuert bzw. fahren automatisch festgelegte Strecken und sind mit Sensoren ausgestattet, sodass Hindernisse frühzeitig erkannt werden. Die Prozesse können von 3D-Druck und einer additiven Fertigung unterstützt werden. Dabei werden dem Kunden nur noch Daten bzw. Pläne und Rohmaterialien geliefert und die Endmontage findet direkt vor Ort statt, was teilweise Unternehmen bereits praktizieren. Beispielsweise existieren Handelsplattformen bei denen Anlagenbetreiber, Anlagenbauer und Lieferanten zum Austausch von Parametern und Prozessdaten vernetzt sind. So wird nur nach Bedarf gehandelt, anstatt Komplettpakete erwerben zu müssen. ^{[16] [17]}

Der VDI empfiehlt jedoch Maßnahmen nicht zu speziell zu formulieren, damit eine flexible Anpassung an die jeweiligen Gegebenheiten möglich ist. Dazu hat der Verein speziell für KMU eine Übersicht erstellt, mit Hilfe derer eine Einschätzung des Fortschritts der Digitalisierung im Unternehmen möglich ist. Als Problem wird bei KMU häufig die Datennutzung angesehen. Diese findet zu unstrukturiert statt. Wichtiges und Unwichtiges wird selten nach Prioritäten getrennt und die Datenanalyse ist unzureichend. Hier sieht der VDI noch viel offenes Potenzial. ^[18]

In Abbildung 1 ist eine vom VDI entworfene Übersicht im Rahmen einer Studie zum Thema Industrie 4.0 in mittelständischen Unternehmen zu sehen. Aufgelistet werden verschiedene Maßnahmen, welche im Rahmen einer Digitalisierung vollzogen werden müssen. Diese sind mit M1 bis M11 bezeichnet. Je nach Fortschritt in der Digitalisierung teilt der VDI fünf Digitalisierungsstadien ein. Die Anfangsphase dient lediglich der Findung und Planung. Die vier weiter fortgeschrittenen Stadien zeigen

auf, welche grundlegenden Technologien und Neuerungen in die Unternehmen implementiert werden muss, damit das Level erreicht wird. Die Maßnahmen bedingen zudem teilweise einander. So kann beispielsweise ohne die Vernetzung von Sensoren und Aktoren auch keine dezentrale Steuerung implementiert werden. Mit Hilfe dieser Bewertungsübersicht kann jedes Unternehmen selbst einschätzen, wie weit die eigene Digitalisierung entwickelt ist.

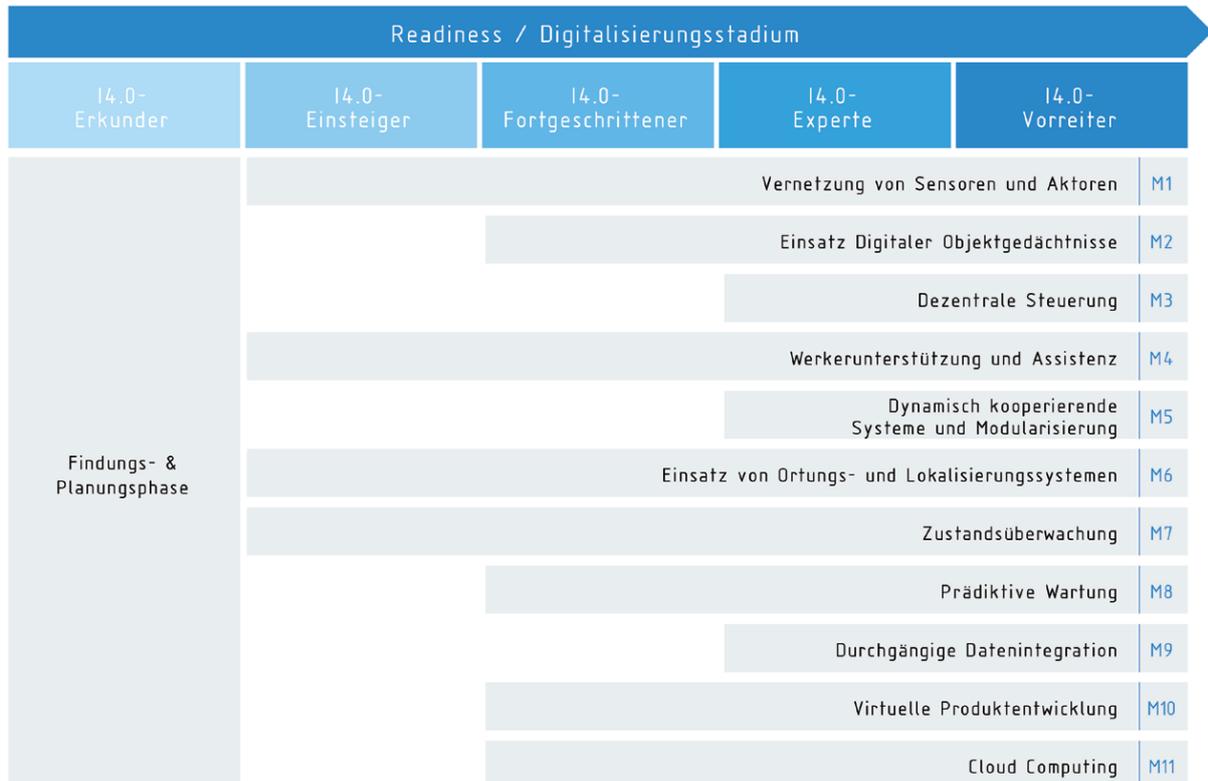


Abbildung 1: Zuordnung von Maßnahmen entsprechend des Digitalisierungsstandes [Quelle: VDI ZRE]

3.1.3 DECHEMA

Die Dechema Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (kurz: DECHEMA) ist ein Verband zur Unterstützung der chemischen Industrie und der Forschung. In Kooperation mit dem VDI wurde zudem die Initiative ProcessNet gegründet, aus der die bereits genannte DEXPI-Initiative hervorgeht.

Von der DECHEMA wurde die Vision einer digitalen Anlage geprägt. Basis davon ist ein 3D-Modell für den gesamten Lebenszyklus einer Anlage, ähnlich dem digitalen Zwilling. Daran können bereits vor Inbetriebnahme alle ablaufenden Prozesse simuliert und getestet werden. Wichtig ist, dass darin alle Informationen wie beispielsweise Betriebsbedingungen, Werkstoffe, Anleitungen und Dokumentationen hinterlegt sind. Dazu sollen eigenständige Sensoren installiert werden, die für die

stetige Kommunikation zwischen den Apparaten und Maschinen der Anlage und dem virtuellen Modell sorgen.

Wartungsaufgaben sollen dabei virtuell geführt und dokumentiert werden. Bei Bedarf kann online Unterstützung hinzugezogen werden. So sollen über den gesamten Anlagenbetrieb die Prozesse optimiert und die bestmöglichen Betriebsbedingungen ermittelt und angesteuert werden. Dies kann entweder durch den Anlagenfahrer oder eigenständig vom Prozessleitsystem durchgeführt werden. Mit diesen Neuerungen sollen bessere Simulationen und Vorhersagen der sich ändernden Prozessbedingungen möglich sein. Daraus resultierend erhofft sich die DECHEMA eine effizientere Prozessregelung.

In der Realität ist derzeit der Stand bei weitem noch nicht so fortgeschritten. Dabei behindern eine Vielzahl von Problemen die vollständige Umsetzung der Vision. Zum einen führt eine fehlende einheitliche Datengrundlage zu häufigen Verlusten bei Wechsel der digitalen Werkzeuge des 3D-Modells. Zum anderen wird dies auch durch eine Vernachlässigung der Modellpflege auf Grund der anfallenden Kosten und einer mangelnden Hard- und Software bedingt. Bei Altanlagen fehlt zudem häufig ein digitales Modell.

Ein anderes extrem sind bei neueren Anlagen die viele verschiedenen Modelle je nach Nutzung und Inhalt wie zum Beispiel Anlagenauslegung, Grundlagenszeichnung oder Regelungen. Ein weiteres Problem, das derzeit besteht, sind Sicherheitsbedenken, die Unternehmen von einer stärkeren Digitalisierung und Vernetzung abhält. Dies betrifft vor allem die starke Verknüpfung der zahlreichen Sensoren und Apparate in Zusammenhang mit einer selbstständigen Fahrweise. Zudem wird hohes Gefahrenpotenzial in der Anbindung externer Schnittstellen gesehen. Für eine bessere Zusammenarbeit verschiedener Unternehmen fehlt zum einen gegenseitiges Vertrauen und zum anderen eine eindeutige Regelung, wie es die DECHEMA anstrebt.

Ein Hauptargument für die Digitalisierung sieht die DECHEMA in der sich verändernden Produktion. Produkte werden individueller und spezifischer. Dies erfordert eine stärkere Vernetzung von Rohstoffen, Hilfsstoffen und Reststoffen. Diese Produktionsanpassung bedarf eines flexibleren Marketings, wodurch eine stärkere Kundenbindung durch die individuellere Kundenproduktion entsteht. Teilweise ist dies bereits umgesetzt worden. Durch diesen Direktvertrieb entstehen jedoch für Dienstleister Probleme, welche sich ihrerseits nach neuen Geschäftsfeldern umsehen müssen. Grundsätzlich kann zur Produktionsänderung gesagt werden, dass je näher das Produkt am Endverbrauchermarkt liegt, umso spezifischer ist es.

Eine Möglichkeit, diese Individualisierung anzugehen, ist die Modularisierung der Produktion. Gut umsetzbar ist dies beispielsweise in der Spezialchemie oder der Pharmazie. Dabei besteht die Anlage aus verschiedenen Modulen, die je nach Anforderung unterschiedlich zusammengeschlossen werden können. So wird eine Produktion je nach Kundenanforderung ermöglicht. In der Pharmaindustrie können auf diese Weise beispielsweise für jeden Patienten individuelle Medikamente zusammengestellt werden. Die Fertigung ist somit flexibel und schnell anpassbar. Von der DECHEMA wird dieses Verfahren „Plug & Produce“ genannt. Um bei geringen Stückzahlen auch ökonomisch produzieren zu können, ist diese Modularisierung und eine Vernetzung von großer Bedeutung.

Eine Neuerung, die die DECHEMA bestrebt ist in den Unternehmen zu etablieren, sind Echtzeitanalysen der Prozessdaten in Kombination mit einer automatischen Prozesssteuerung. Diese Vernetzung führt zu einem besseren Energie- und Prozessmanagement durch die Ermittlung der optimalen Bereiche der Betriebsbedingungen und der Auswertung von Verlusten. Die Kopplung von Analyse und Steuerung fehlt derzeit jedoch noch. Dabei kann eine digitale und autonome Steuerung helfen die Komplexität besser zu handhaben und die Vorgänge effizienter und somit ökonomischer zu gestalten.

Enormes Potenzial bietet zudem die Interaktion mit anderen Unternehmen innerhalb einer Lieferkette. Von der DECHEMA und anderen Forschungspartnern wird dies Supply Chain Management genannt. Ziel ist eine bessere Standortvernetzung innerhalb der Chemieparks und Produktionsverbunde sowie eine allgemeine anlagenübergreifende Optimierung. Die Vernetzung sollte über die Standortgrenzen hinausgehen, um eine höhere Flexibilität zu erreichen. So können regionsspezifische Unterschiede besser ausgeglichen werden. Dadurch entsteht innerhalb der Unternehmen ein guter Überblick über die Verfügbarkeiten und Anforderungen der Fertigung an Ressourcenmengen. Eine standortweite Vernetzung führt zu einem Informationsgewinn aller Beteiligten durch einen regen Austausch, daraus resultierend können die Anlagenbetreiber ihre Prozesse mit Hilfe der eigenen und der erhaltenen Daten effektiver optimieren. Durch Rückkopplungen in den Wertschöpfungsketten können so wertvolle Hinweise und Erkenntnisse gewonnen werden.

Wichtig wird auch die Erschließung und Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und Absatzmärkte. Dort sieht die DECHEMA hohes Entwicklungspotenzial. Teilweise muss eine Umstellung der Lieferungen stattfinden. Anstelle des fertigen Produktes werden zukünftig nur noch Leistungen geliefert. Dafür ist jedoch ein Informations- und Datenaustausch zwischen Unternehmen und Kunde nötig. Dies ist für eine hohe Effektivität und Leistung der Lieferung notwendig. Stellenweise werden daher eine Erweiterung des Know-hows oder neue Kooperationen zwischen Unternehmen erforderlich sein.

Eine andere Möglichkeit der zukünftigen Produktion ist die additive Fertigung. Dabei werden ähnlich der zuvor angesprochenen Variante nur Zwischenprodukte, Materialien oder ähnliches geliefert und

hinzukommend Informationen und Anleitungen zur Fertigstellung vor Ort. Dies spart den teilweise aufwändigen Transport der Endprodukte. Dabei ist auf Grund der Anwendung der digitalen Produkte und Leistungen ein entsprechendes Vorgehen mit Dienstleistern dieser Technologien nicht nur vorteilhaft, sondern notwendig.

Die Anforderungen an den Arbeitsmarkt werden sich nach Ansicht der DECHEMA grundlegend ändern. Völlig neue Tätigkeitsfelder werden entstehen, während alte, bereits lange existierende, Aufgaben verschwinden werden. Dementsprechend sollte der Bildungsfokus abgeändert werden. Hohe Bedeutung hat es zum einen zunächst das vorhandene Personal fortzubilden um den wechselnden Ansprüchen gerecht zu werden und eine Digitalisierung mit Hilfe der gesamten Belegschaft zu ermöglichen. Zum anderen müssen die Mitarbeiter stärker in die Produktentwicklung integriert werden, damit die Fähigkeiten auch selbstständig erweitert werden können.

Für die zukünftige Produktion sagt die DECHEMA eine wesentlich stärkere Kooperation zwischen Mensch und Maschine voraus. Die alltäglichen Arbeitsabläufe werden geprägt sein durch eine gesteigerte Flexibilität, geforderte Kreativität und eine stete Lernfähigkeit der Arbeitskräfte. Dementsprechend ist eine langfristige Arbeitsplanung enorm schwierig, da sich die Bedingungen durch die Variabilität und Vielfältigkeit der Fertigung stetig verändern. Diese neuen Berufsfelder erfordern eine breitere und an die Anforderungen angepasste Bildung in allen Bildungsebenen.

Die aufkommenden Datenmengen und Datenvarianten stellen eine zusätzliche Herausforderung dar. Neues Fachpersonal und Mischberufe an den Schnittstellen verschiedener Arbeitsbereiche werden an Bedeutung gewinnen. Dafür sind zusätzlich digitale service-orientierte Geschäftsmodelle zu entwickeln. Ein Vorreiter dessen ist die Agrarbranche. Dort existiert bereits heute eine Bandbreite digitaler Technologien und Unterstützungen.

Beispielsweise wurde ein digitales Assistenzsystem für Landwirte entwickelt, welches in Echtzeit alle Daten liefert, die für die jeweilige Produktion von Belang sind. Über digitale Plattformen und Datenbanken werden auf mobilen Endgeräte Analysen und Empfehlungen angezeigt. Ausgewertet werden dabei aktuelle und vorhergesagte Wetterdaten, Bodenverhältnisse oder ähnliches. Das System ändert dabei selbstständig Zeitpläne entsprechend der gegebenen Notwendigkeiten in der Produktion oder Ernte. Erntemaschinen, wie zum Beispiel Mähdrescher, werden dabei teilweise über GPS gesteuert und der Landwirt kann parallel anderen Aufgaben nachgehen, die nicht vollständig automatisiert durchgeführt werden können. ^[19]

3.1.4 VCI

Der Verband der Chemischen Industrie e.V. (kurz: VCI) ist ein großer Wirtschaftsverband der deutschen Chemieindustrie. Dementsprechend spielt das Thema Industrie 4.0 auch beim VCI eine wichtige Rolle für die zukünftigen Bestrebungen. Der Verband bezeichnet das Ziel der Digitalisierung nicht als Industrie 4.0, sondern als „Chemie 4.0“. Hauptaugenmerke liegen dabei zum einen auf der Digitalisierung, zum anderen aber auch auf der Vollendung der Kreislaufwirtschaft und somit einer vollständigen Verwertung von Reststoffen. Hauptsächlich geht es dabei um die Nutzung von kohlenstoffhaltigen Abfällen wie zum Beispiel Kohlenstoffdioxid. Dabei sind Ziele und Hoffnungen der Digitalisierung ein gesteigerter wirtschaftlicher Erfolg, durch die bessere stoffliche Verwertung von Materialien und Verbindungen, ein höherer Umweltschutz und aus arbeitstechnischer Sicht eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen und dahingehend mehr Sicherheit der Belegschaft. ^[20]

Eines der Hauptziele der Bestrebungen des VCI ist eine Erhöhung der Nachhaltigkeit und des Klimaschutzes der chemischen Industrie. Des Weiteren geht es um eine bessere und effektivere Datenausnutzung und teilweise darauf aufbauend engere Kooperationen im Forschungssektor zwischen Unternehmen und Kunden. Dabei wurden bereits zahlreiche neue Erkenntnisse aus solchen Zusammenarbeiten gewonnen. Dennoch sollten die Arbeiten digital unterstützt stattfinden und neben den klassischen Forschungsmethoden auch neue Wege getestet werden. Für solche engen Partnerschaften ist jedoch ein fundamentales Vertrauen notwendig, damit auch beiderseits die benötigte und vom VCI geforderte Offenheit gewährleistet werden kann.

Eine weitere Veränderung, die die chemischen Betriebe betrifft, ist die notwendige Erweiterung neben der Produktlieferung zusätzlich auch Dienstleistungen anzubieten. Ein Vorreiter ist dabei die Agrochemie. Das Vorzeigeprojekt „Digital Farming“, wie es derzeit genannt und umgesetzt wird, zeigt, dass eine Digitalisierung machbar ist. Das Beispiel wurde im Punkt 2.1.4 DECHEMA bereits ausführlicher erläutert. Aus chemischer Sicht ist das Ziel der effizientere und umweltschonendere Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln.

Der VCI formuliert zehn Grundaussagen, ^[21] wie Industrie 4.0 die chemische Industrie verändern kann, wird und auch sollte. Zudem wird beleuchtet, wo die Anforderungen liegen und welche Perspektiven sich daraus ergeben. Der VCI ist der Auffassung, dass der digitale Wandel die gesamte Wirtschaft verändern wird. Das bedeutet, dass beispielsweise Wertschöpfungsketten zu Wertschöpfungsnetzwerken ausgeweitet werden und neue Wettbewerber in allen Bereichen auftreten können. Der nächste Punkt ist, dass bei den vielen Veränderungen auch ein großes Potenzial und eine nachhaltige Chance für alle Bereiche besteht. Die Arbeit kann sowohl für Kunde als auch für Arbeitnehmer Vorteile liefern und dabei zusätzlich die Umwelt schonen. Durch neue

Implementierungen digitaler Technologien wird die Arbeitswelt sicherer und flexibler. Die Belastung des Anlagenpersonals geht zurück, während dieses zusätzliche Fähigkeiten erlangt. Zudem werden neue Produktionsmethoden wie zum Beispiel Modularisierung ermöglicht.

Die vierte Aussage des VCI zur Industrie 4.0 ist, dass diese keine Eventualität mehr ist. Diese wird definitiv kommen und die einzige Möglichkeit und Notwendigkeit der chemischen Betriebe ist, diese aktiv mitzugestalten. Dabei müssen Unternehmen und Gesellschaft beteiligt sein, damit ein innovatives Umfeld entsteht. In der zukünftigen Industrie besitzt das Thema „Sicherheit“ eine völlig neue Bedeutung. Der Schutz der riesigen Datenmenge muss gewährleistet werden. Dabei ist es wichtig klarzustellen, wem welche Daten gehören und wie die Nutzungsverhältnisse geklärt sind. An solchen Stellen sind die Verbände bestrebt Richtlinien und Musterverträge den Betrieben zur Verfügung zu stellen.

Die Vernetzung innerhalb der Anlage erfordert hohe Anforderungen an die IT-Sicherheit und auch die Speicherung und Transferierung muss entsprechend geschützt sein. Wie auch andere Verbände und Vereine ist der VCI der Auffassung, dass die Digitalisierung die Arbeitswelt in ihren Anforderungen grundlegend verändern wird. Der Bildungssektor wird vor eine neue Herausforderung gestellt, den wechselnden Notwendigkeiten gerecht zu werden. Derzeit ist die Basisausbildung auf einem guten Stand, jedoch muss der Fokus zunehmend auch auf digitalen Technologien gelegt werden. Teilweise bedarf es dabei einer Modernisierung der Ausbildungsberufe und Studiengänge, damit diese auch zukunftsfähig bleiben. Zudem muss das Personal laufend weitergebildet werden. Dabei ist auch Eigeninitiative und das Engagement der Angestellten gefordert.

Eine wichtige Aussage an die gesamte Wirtschaft Deutschlands ist, dass nach Meinung des VCI Deutschland international eine Spitzenposition in der Digitalisierung einnehmen kann. Die Voraussetzungen sind gegeben, lediglich das notwendige Know-how muss erworben werden. Dies sollte eine der Hauptbestrebungen sein, da im digitalen Wandel Geschwindigkeit von entscheidender Bedeutung für Erfolg ist. Dabei kommt es auf jedes einzelne Unternehmen an. Die digitale Souveränität muss trotz Vernetzung gewahrt werden.

Internationale Zusammenarbeit ist für jeden Betrieb von großem Vorteil, da gegenseitiges Unterstützen das Fortschreiten der Digitalisierung aller Beteiligten vorantreibt. Eine Abschottung ist daher nachteilig. Für den erhofften Erfolg fehlen jedoch seitens der Politik und auch der Wirtschaft noch die passenden Rahmenbedingungen. Der VCI fordert klare Regelungen zur Datennutzung und der dazugehörigen Haftung. Ein weiteres Manko besteht in der Infrastruktur. Diese muss sowohl digital als auch verkehrstechnisch und in Sicherheitsaspekten ausgebaut werden.

Als weiteren Punkt an die Politik strebt der VCI die Verbesserung der Innovationslandschaft an. Aufkommende Unternehmen und Start-Ups müssen besser gefördert und entsprechende Spielräume geschaffen werden. Dies erfordert in Wirtschaft und Bildung einen Kulturwandel wie es zum Beispiel in den USA der Fall ist. Dort werden Fehlschläge akzeptiert und neue Ansätze gesucht, in Deutschland ist dies meistens nicht der Fall. Hierzulande wird bei Fehlschlägen weiter finanziert, anstatt das negative Ergebnis zu akzeptieren.

Als letzte der zehn Grundaussagen führt der VCI die Forderung nach Offenheit in der Diskussion über Industrie 4.0 an. Der digitale Wandel muss aktiv beworben werden. Kritische Ansichten und zahlreiche Bedenken im Hinblick auf Sicherheit, Datenschutz oder ähnliche Themen dürfen die Spontaneität oder Innovationsgedanken nicht behindern. Ein ausführlicher Dialog ist wichtig und auch Kritik muss geäußert werden, dies darf jedoch Bestrebungen nicht im Keim ersticken. ^[22] ^[23] ^[24]

Zur Unterstützung der chemischen Unternehmen in Deutschland hat der VCI in Zusammenarbeit mit der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE) und dem Bundesarbeitgeberverband Chemie (kurz: BAVC) die Initiative „Chemie³“ (Chemiehochdrei) ^[25] gegründet. Dies soll die Nachhaltigkeit der Betriebe in den Verbänden stärken. Dabei betrifft dies vor allem die Bereiche Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft. Die Leitlinien ^[26] und Ziele ^[27] der Kooperation sind zum einen die Fixierung von einer nachhaltigen Unternehmensführung in der Betriebsplanung, aber auch eine stetige Nachhaltigkeit bei der Durchführung von Weiterentwicklungen und Investitionen. Umgekehrt soll dies jedoch auch der Fall sein. Jegliche Investitionen sollen stets auch eine Nachhaltigkeit beinhalten und dies sich auch in den Betriebsabläufen widerspiegeln.

Zudem hat die Initiative die Förderung der internationalen Vernetzung und Zusammenarbeit der Unternehmen und mehr Stabilität in diesem Wirtschaftssektor gefordert. Eine weitere Leitlinie der Initiative ist die Sicherstellung der sozialen Verantwortung der Unternehmen sowohl für die Belegschaft, als auch für die Gesellschaft im Allgemeinen. Ebenso muss der demographische Wandel aktiv mitgeformt werden. Fachkräfte sollen zur Vermeidung eines Fachkräftemangels in Folge von Auswanderung eine Perspektive haben. Da das Thema Ökologie eines der drei Schwerpunktfelder der Initiative ist, steht der Schutz von Fauna, Flora und Umwelt in diesem Bereich an erster Stelle. Abläufe sollen dahingehend optimiert werden, sodass die Umweltbelastung auf ein Minimum absinkt. Zusätzlich soll das Klima durch einen effektiven Umgang mit den vorhandenen Ressourcen geschützt werden.

Dies wird zum Beispiel an der Forderung des VCI nach einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft dargestellt. Kooperationen sollen auch auf regionaler Ebene stattfinden und kleinere Unternehmen durch größere unterstützt werden. So ist ein erfolgreiches Vorankommen aller Beteiligten möglich.

Des Weiteren soll der Handel transparenter und stärker in die Chemiebranche integriert werden. Die letzte Leitlinie der Initiative betrifft erneut den gesellschaftlichen Aspekt. Die beteiligten Unternehmen sollen ihre Mitarbeiter, aber auch Außenstehende die unmittelbar betroffen sind, stärker in die Firmenpolitik einbinden, sodass die Akzeptanz auch nach außen hin gesteigert wird.

Dazu hat „Chemie³“ sich selbst fünf Ziele gesetzt. Bei den oben erläuterten Leitlinien sollen möglichst rasch Erfolge erzielt werden. Zur Unterstützung der Umsetzung bietet die Initiative diverse Informationsangebote und helfende Werkzeuge an. Dies umfasst beispielweise Digitalisierungs-Checks. Des Weiteren sollen zusätzlich zu den Unternehmen und Mitarbeitern, die in den drei beteiligten Vereinigungen vertreten sind, weitere Teilhaber zu den Prozessen hinzugezogen werden. Das Ziel ist es Stakeholder aktiv in die Digitalisierungsprozesse einzubinden. An die Politik wird das Ziel gestellt, die Vernetzungen und Interaktionen zwischen den drei Bereiche Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft stärker zu berücksichtigen. Zudem sollten Erfolgsindikatoren entwickelt werden, an denen das Gelingen der Digitalisierung aufgezeigt werden kann. Im November 2016 sind 40 ^[28] solche Indikatoren veröffentlicht worden. Als fünftes und letztes Ziel ist die Initiative bestrebt ihre Unternehmen und andere Beteiligte international stärker zu vernetzen und den Bekanntheitsgrad von „Chemie³“ zu steigern.

Zusätzlich zu dieser Initiative hat der VCI die „Task Force Industrie 4.0“ ^[29] gegründet. Darin sind verschiedene Unternehmen der Chemiebranche zur Strategieplanung verknüpft. Aufgabe dieser Gruppe ist zum einen die gemeinsame Erarbeitung von Handlungsempfehlungen und Rahmenbedingungen, welche an die Politik weitergegeben werden, zum anderen entwickelt die Initiative Anwendungsbeispiele, um Unternehmen das Thema Industrie 4.0 näher zu bringen und besser darstellbar zu machen.

In der Ausbildung für chemische Berufe existiert derzeit eine gute Ausgangsbasis. Jedoch werden sich die Anforderungen verändern, einen Beschäftigungsrückgang sieht der Verband allerdings nicht. Für eine vielfältige Entwicklung und neue Innovationen sind allerdings Start-Up Unternehmen erforderlich. Zudem muss die Politik die Digitalisierung in der Chemiebranche aktiv unterstützen. Gesetzliche Rahmenbedingungen müssen geschaffen werden und der Ausbau der digitalen Infrastruktur ist zwingend notwendig. Dies betrifft aber auch die Unternehmen selbst. Dort ist zwar die Prozessautomatisierung sehr weit, es mangelt aber an einer breiten Vernetzung der verschiedenen internen und externen Geschäftsbereiche. Hinzukommt eine ungenügende Verzahnung von IT-Systemen und den produzierenden Anlagen. Zuletzt müssen die Betriebe auch aktiv die digitale Entwicklung mitgestalten. Dann lassen sich Chancen und Risiken besser abschätzen und eine sachliche Auseinandersetzung mit dem Thema wird ermöglicht.

3.1.5 Plattform Industrie 4.0

Die Plattform Industrie 4.0 ist ein Kooperationsprojekt mehrerer großer Branchenverbände und Ministerien. Dies betrifft die Verbände VDMA, ZVEI und den Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (kurz: BITKOM), sowie auf politischer Ebene das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (kurz: BMWi) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (kurz: BMBF). Gestartet wurde die Zusammenarbeit im April 2013 durch die drei genannten Verbände, im April 2015 kamen die Ministerien und fortschreitend stetig weitere Unternehmen und Vereine hinzu. Ziel der Plattform ist die Erstellung von branchenübergreifenden Konzepten für die Arbeitsfelder Technologie, Standards, Geschäftsmodelle und Orientierungsmodelle.

Im April 2014 wurde von der Plattform Industrie 4.0 ein Thesenpapier mit 17 Aussagen zum Thema Industrie 4.0 herausgebracht. Darin sollte klargestellt werden, wie der Begriff aus Verbandssicht definiert ist und was das Ziel einer Industrie 4.0 ist. Diese wurden zudem in die drei Felder Mensch, Technik und Organisation gegliedert. Zum ersten Gebiet Mensch sagt die Plattform, dass in Zukunft die Arbeit besser an den demographischen Wandel angepasst sein wird.

Die Arbeitsorganisation ist eher an die Mitarbeiter orientiert und diese zudem selbstständiger und autonomer. Das Aufgabenspektrum des Personals wird erweitert und durch erleichterten Zugang zu Wissen können die Angestellten ihre Qualifikationen und Handlungsspielräume erhöhen. Zudem kann die Produktivität der Lehr- und Lernvorgänge durch entsprechende Arbeitsmittel und einen regen Austausch untereinander gesteigert werden. Der Inhalt von Ausbildungen wird zunehmend von IT-Kompetenzen geprägt sein. Sogenannte Lernzeuge vermitteln selbstständig die jeweilige Funktion an das Personal.

Im Bereich Technik ist die Plattform der Ansicht, dass die neuen Systeme anwenderfreundlich sind. Diese können leicht verstanden und intuitiv bedient werden. Die Verlässlichkeit ist hoch und zudem besitzen die Systeme lernförderliche Eigenschaften. Industrie 4.0 kann von vielen gestaltet, umgesetzt und genutzt werden, da die Muster für Industrie 4.0 allgemein zugänglich sein sollen. Dies wird als Industrie 4.0 by Design bezeichnet. Durch die Vernetzung der verschiedenen Geschäftsprozesse mit der Fertigung und einer individuelleren Produktion entsteht hohe Komplexität. Dies ökonomisch zu realisieren bedarf es beispielsweise der Simulation, Modellierung und Selbstorganisation.

Als Ergebnis ergeben sich Vorteile in der Geschwindigkeit der Lösungsfindung und der Problemanalyse. Eine Steigerung findet auch in der Effektivität und Effizienz der Ressourcennutzung statt. Diese kann kontinuierlich geplant, umgesetzt und die aktuellen Bestände kontrolliert werden. Daraus resultierend kann das System autonom die Nutzung optimieren. Die Produkte werden intelligent, indem

Informationen direkt darauf abgespeichert sind. Darüber hinaus ist über alle Lebenszyklusphasen eine Adressierbarkeit und Identifikation gegeben. Dies betrifft ebenso die Systemkomponenten innerhalb der Produktionsmittel.

Die Komponenten unterstützen dabei die virtuelle Planung der verschiedenen Produktionsprozesse und deren Systeme. Hinzu kommt, dass neu implementierte Systemkomponenten grundlegend über alle Fähigkeiten verfügen die das ersetzte Bauteil auch besaß und deren Funktionen vollkompatibel übernehmen können. Zusätzlich wird die Funktionalität durch Dienste erweitert, auf welche andere interne und externe Systeme zugreifen können. Als letzter Punkt aus dem Bereich Technik führt die Plattform Industrie 4.0 eine neue Sicherheitskultur an. Diese sorgt für ein Vertrauen und gesellschaftliche Akzeptanz der Systeme. Hinzu kommt, dass diese durch die hohe Sicherheit gut belastbar sind.

In der Organisation von Unternehmen und den einzelnen Arbeitsbereichen wird es nach Ansicht der Plattform Industrie 4.0 zu einigen Veränderungen kommen. Die Arbeitsteilung wird wesentlich flexibler. Dies wird durch die stärkere Ausprägung von weiten Wertschöpfungsnetzwerken ermöglicht. Aus der Verknüpfung von Produktion, Service und dem eigentlichen Produkt generiert sich ein Mehrwert. Neue Strukturen werden in Betriebswirtschaft und Recht entstehen. Dies ist bedingt durch neue Formen der Zusammenarbeit und den steigenden Wettbewerb. Durch die so entstandenen Rechtsstrukturen können neue Vertragsmodelle entwickelt werden. In den vorhandenen und sich entwickelnden Absatzmärkten der verschiedenen Unternehmen besteht die Chance auf neue Kooperationen. Diese können regionale Unterschiede in der Wertschöpfung der vorhandenen Ressourcen und Produkte effektiver untereinander ausgleichen.^[30]

Die Plattform Industrie 4.0 sieht den Mittelstand als sehr bedeutend für das Gelingen und die erfolgreiche Umsetzung der Vorhaben und den allgemeinen Mehrwert der Industrie 4.0 an. Daher wurde von den verschiedenen Mitgliedsverbänden, Gremien und anderen Vertretern aus Politik und Wirtschaft das Transfer-Netzwerk Industrie 4.0 gegründet. Dieses soll Unternehmen in Bestrebungen zur Digitalisierung durch Beratung und gegenseitigen Informationsaustausch unterstützen. Dafür wurde von der Plattform Industrie 4.0 ein 10-Punkteplan^{[31] [32]} mit Handlungsempfehlungen für eine erfolgreiche Einführung der Industrie 4.0 geschaffen. Dieser wurde im Juni 2017 veröffentlicht und stellt ein erstes Zwischenergebnis der Kooperationsgemeinschaft dar.

Dabei ist das allgemeine Ziel der Zusammenarbeit Deutschland international eine Spitzenposition im Zuge der Digitalisierung zu sichern. Der erste Punkt ist das bereits erwähnte Transfer-Netzwerk Industrie 4.0. Förderungen sollen gezielt am Bedarf der KMU ausgerichtet werden. Zudem soll eine gezielte Vernetzung stattfinden und die Umsetzung von digitalen Vorhaben in die Praxis soll gestärkt

werden. Außerdem soll die Zusammenarbeit innerhalb der Plattform Industrie 4.0 weiter ausgebaut werden.

Neue Themenfelder, die bearbeitet werden, müssen stets auf Schnittstellen mit Bezug zur Industrie 4.0 hin untersucht werden. Ein weiteres Ziel ist die Durchsetzung von Industrie 4.0 als allgemeinen Praxisstandard in industriellen Anwendungen. Für transparente Vorgänge ist jedoch ein einheitliches Referenzmodell nötig. Dafür wurde das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (kurz: RAMI 4.0) als Ausgangsbasis geschaffen. International muss die Standardisierung weiter vorangetrieben werden.

RAMI 4.0 soll eine erste grundlegende einheitliche Struktur darstellen. In Abbildung 2 ist das Modell bildlich dargestellt. Deutlich werden die verschiedenen Ebenen und Bereiche, die betrachtet werden müssen, da diese miteinander vernetzt sind. Gleichzeitig kann es als eine Art Karte verstanden werden, die aufzeigt wie an das Thema herangegangen werden kann. Dabei werden komplexe Strukturen in übersichtliche Teile getrennt. Die vertikale Achse gibt die verschiedenen Ebenen der Vorgänge an übergehend von den digitalen Geschäftsprozessen hin zu den realen physischen Ausrüstungen. Die rechte untere Achse gibt die Hierarchiestruktur auf Fabrikebene an. Der Bereich reicht von der vernetzten Welt, in welche die Prozessanlage integriert ist, bis hin zum gefertigten Produkt. Durch neue intelligente Systeme ist dieses ebenfalls Teil des Wertschöpfungsnetzes. Die dritte Ebene stellt den Produktlebenszyklus dar. Dieser reicht von der Idee und Entwicklung bis hin zur Nutzung, Wartung und dem Recycling. ^[33]

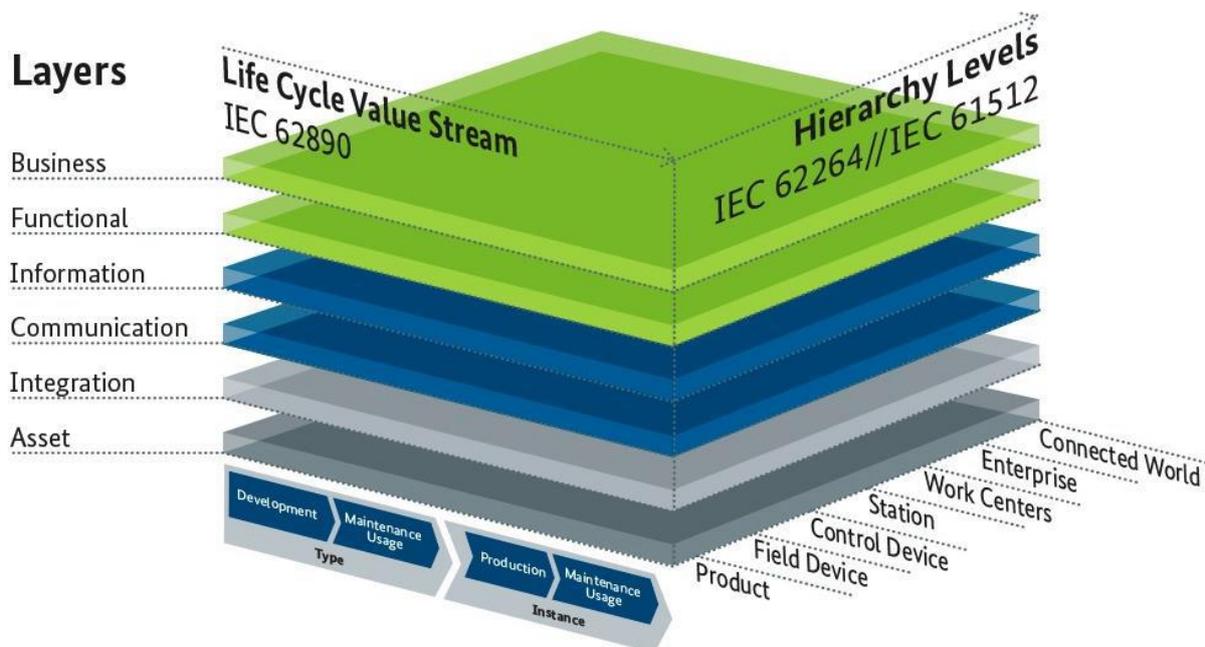


Abbildung 2: RAMI 4.0 [Quelle: Plattform Industrie 4.0]

Im Bereich der Forschung und Entwicklung gibt es weiteren Handlungsbedarf. Neue Ergebnisse müssen schneller umgesetzt werden. Dafür gilt es, geeignete Maßnahmen zu schaffen und diese schnell vom Labor in die Praxis zu transferieren. Bei der Sicherheit muss gerade im IT-Bereich ein generelles Sicherheitsbewusstsein entwickelt werden. Standards sollen unterstützend wirken. Unternehmen müssen ihre eigenen Gefahrenpunkte kritisch bewerten und entsprechende Vorkehrungen treffen. Mitarbeiter müssen hierfür sensibilisiert werden. In den verschiedenen Bildungseinrichtungen kommt dem eine frühzeitige Implementierung praxisnaher Anwendungsbeispiele zugute. Rechtlich hilft ein flexibles AGB-Recht, den Geschäftsbereich modern zu halten.

Speziell im Datenschutz sind entsprechende Kriterien zu etablieren und zusätzlich eine einheitliche Regelung im europäischen und internationalen Raum aufzustellen. Dies muss jedoch stets eine flexible Wertschöpfung ermöglichen. Unternehmen müssen Konzepte für Aus- und Weiterbildungen entwickeln. Dies muss auch mehr Autonomie und Eigenverantwortung der Mitarbeiter beinhalten. Hierfür muss eine Akzeptanz geschaffen werden. Nur wenn alle Beteiligten sich aktiv einbringen ist ein gemeinsames Vorankommen möglich. Kompetenzen sollten dazu gezielt gefördert werden. In Bildungseinrichtungen wie zum Beispiel Berufsschulen und Universitäten ist der Lerninhalt entsprechend den heutigen Bedürfnissen der Industrie 4.0 anzupassen.

Vor allem KMU sollte das Testen neuer Technologien und Ideen in Industrie 4.0 Testzentren ermöglicht werden. Dazu soll der aktuelle Bestand solcher Einrichtungen stärker vernetzt und ausgebaut werden. Zudem werden die vorhandenen Praxisbeispiele stetig erweitert und so Unternehmen der Nutzen von Industrie 4.0 vor Augen gehalten. Abschließend fordert die Plattform Industrie 4.0 mehr Auslandspräsenz der deutschen Wirtschaft und seiner Mitglieder. Ziel ist eine Stärkung der internationalen Kooperationen.

Die Plattform Industrie 4.0 hat eine eigene Definition für Industrie 4.0 entwickelt. Dabei geht es darum, alle Vorgänge intelligent zu verzahnen. Dies betrifft sowohl Fertigung, als auch die Logistik, da beide Abteilungen im selben Produktionsprozess agieren. Betroffen ist dabei der vollständige Lebenszyklus eines Prozesses oder einer Anlage. Von der Idee bis zur Demontage und dem Recycling sollen alle betroffenen Vorgänge vernetzt werden. Zukünftig wird mehr Individualität in der Produktion und den Wartungsaufgaben von Belang sein. Dies bietet gerade für KMU große Chancen neue Geschäftsfelder zu erschließen und so den Profit zu steigern. Dafür soll die Plattform Industrie 4.0 Handlungsempfehlungen liefern. Ein Vorteil daran ist, dass dort Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und die Gesellschaft kooperieren und so einen Mehrwert schaffen.

Dies führt zu vielfältigen Ideen und einer gesteigerten Akzeptanz des Themas. Zentrale Leitpunkte für die Lösungen gefunden werden müssen, sind zum einen die Schaffung von einheitlichen Standards und

Normen für die unterschiedlichen Prozesse und Datenformate. Zum anderen spielt dabei jedoch auch die IT-Sicherheit und der Datenschutz eine wichtige Rolle, was es zu beachten gilt. Abschließend beschäftigt sich der Kooperationsverbund auch mit dem Thema der Arbeitsorganisation und wie diese sich verändern wird. In Anbetracht dessen, dass in Deutschland ca. 15 Millionen Beschäftigte im Sektor der produzierenden Wirtschaft tätig sind hat dies eine hohe Bedeutung. Dabei werden zahlreiche Chancen gesehen. Im Bereich der Einteilung der Arbeitszeiten wird es zu einer besseren work-life-balance kommen. Dies wird auch bedingt durch die Unterstützung zahlreicher neuer intelligenter Assistenzsysteme, die das Arbeitsleben erleichtern und monotone und körperlich anstrengende Vorgänge übernehmen bzw. erleichtern. Wirtschaftlich können durch die Vielzahl neuer Daten vorhandene Angebote erweitert und neue geschaffen werden. ^[34] ^[35]

2.2 Sicht von Konzernen

Große Konzerne haben in Grundzügen bereits digitale Technologien und Grundvoraussetzungen zur Digitalisierung integriert. Steuerungssysteme, die Teilprozesse oder wiederkehrende Aufgaben selbstständig steuern, sind Stand der Technik. Allerdings kann auch bei großen Konzernen ein Unterschied festgestellt werden. Einige gehen das Thema Industrie 4.0 sehr aktiv an, wohingegen andere äußerst zurückhaltend reagieren und neue Errungenschaften eher einkaufen, anstatt diese selbst zu entwickeln. Auch die Offenheit, wie mit dem Thema umgegangen und die Vernetzung mit anderen Unternehmen gelebt wird ist unterschiedlich. Vor allem US-amerikanische Unternehmen sind verschlossen im Verbreiten von Informationen zum aktuellen Forschungsstand oder Projekten bezüglich der Digitalisierung.

Ein allgemeiner einheitlicher Stand ist daher schwer abschätzbar. Die Herangehensweise hängt zudem stark von der Firmenausrichtung ab. Mineralölunternehmen erhoffen sich andere Primärziele als Konzerne der chemischen und pharmazeutischen Branche. Das vornehmliche Ziel, die Betriebskosten zu senken und Gewinne zu erhöhen ist bei allen im Fokus. Des Weiteren soll die Effizienz der Prozesse verbessert und Stillstände minimiert werden. Die Produktionsqualität soll erhöht werden. Weltweite Partnerschaften und Netzwerke sollen gebildet und weitervernetzt werden, sowie neue Absatzmärkte entstehen.

Die weiteren Ziele sind so vielfältig wie die Branche selbst. Von einem intensiven Datenaustausch mit allen Beteiligten der Wertschöpfungskette, über die Arbeitsunterstützung mittels Virtual Reality bis hin zur Fernwartung und Robotik gehen die Lösungsansätze. Daher soll nun auf ausgewählte Konzerne und deren Konzepte und Vorhaben zur Digitalisierung näher eingegangen werden.

2.2.1 BASF SE

Die BASF SE, als einer der umsatzstärksten Chemiekonzerne der Welt ^[36], hat auch eine führende Rolle bei der Digitalisierung und Entwicklung hin zur Industrie 4.0 eingenommen. Verwunderlich ist es daher nicht, dass das Unternehmen derzeit eine Vielzahl eigener Forschungsprojekte zum Thema Digitalisierung und Industrie 4.0 bearbeitet. Nachfolgend soll auf die aktuellen Bestrebungen näher eingegangen werden. ^[37]

Unter dem Begriff „Smart Manufacturing“ ^[38] will die BASF SE ihre produzierenden Anlagen verbessern und die Leistung steigern. Grundlage dieses Projektes ist die Einbindung von mobilen Endgeräten, wie beispielsweise Smartphones und Tablets, in die tägliche Arbeit in den Messwarten, der Instandhaltung

und anderen Arbeitsbereichen. So kann jederzeit durch Apps auf benötigte Daten zugegriffen werden, ohne dass lange in Ordnern handgeschriebene Protokolle durchsucht werden müssen.

Auf diese Weise gelingt zudem eine bessere Verknüpfung der Geschäftsprozesse und der Produktionsvorgänge, da mit den mobilen Endgeräten eine schnellere Verständigung zwischen den verschiedenen Abteilungsbereichen möglich ist. Lange und unnötige Dienstwege können eingespart und Entscheidungen schneller getroffen werden. Dadurch erfolgt eine Steigerung der Effektivität und Effizienz der Arbeitsabläufe. Weiterhin erfolgte die Implementierungen der Augmented Reality. ^[39]

Dadurch werden Wartungsaufgaben enorm erleichtert und können effizienter und sicherer durchgeführt werden. Apparate werden mit Hilfe einer Kamera im mobilen Endgerät erkannt und vom Server werden alle wichtigen und unterstützenden Informationen dazu bereitgestellt. Dies erspart unnötige Zettelwirtschaft, da alle Informationen digital verfügbar sind und nicht vor Arbeitsbeginn zusammengetragen werden müssen.

Zum anderen wird das Prinzip des „Predictive Maintenance“ eingeführt. Eine Fülle an Sensoren und anderen Messeinrichtungen sorgt für eine kontinuierliche Überwachung aller Anlagenprozesse. Daraus resultierend wird sekundlich eine Flut an Daten ermittelt und gespeichert. Aus der Auswertung dieser Daten können die Prozessabläufe genauestens analysiert und über einen langen Zeitraum betrachtet werden. Durch einen Querabgleich des aktuellen Betriebszustandes und gespeicherter älterer Daten kann der Verlauf teilweise vorausgesagt und so Wartungsaufgaben besser geplant werden. Die Arbeiten können zum bestmöglichen Zeitpunkt angesetzt werden und ungeplante Stillstände, sowie Ausfälle verringert und die Produktivität steigt.

Ein weiteres Projekt für eine fortschreitende Digitalisierung der BASF SE ist die „Smart Supply Chain“ ^[40]. Wie dem Wortlaut zu entnehmen ist, handelt es sich um die intelligente Vernetzung der Versorgungskette vom Rohstoff bis hin zur produzierenden Anlage. Grundlage dieses Projektes ist die Vernetzung aller Beteiligten der Lieferkette. Dabei sollen die Versorgungswege transparent und jederzeit nachverfolgbar sein. Zudem werden alle Lieferdaten und Informationen bezüglich des Liefergutes digital und dementsprechend verlustfrei für jeden der diese benötigt zugänglich gemacht.

Dies wird durch Einbindung einer Cloud als gemeinsame Plattform ermöglicht, bei der jeder Beteiligte entsprechend seiner Aufgabe Zugriffsrechte hat. Auf dieser Plattform sind alle notwendigen Informationen hinterlegt. Zudem werden weitere lieferrelevante Daten wie beispielsweise Wettermeldungen oder der Verkehr einsehbar sein. So entsteht eine kompakte und übersichtliche Unterstützung für die Verfolgung von Transportständen.

Unter dem Begriff „Smart Innovations“^[41] will die BASF SE die neuen digitalen Technologien auch in der Forschungs- und Entwicklungssparte vollständig integrieren. Ziel dieses Bestrebens ist die Beschleunigung von Untersuchungen und Tests. Durch den Abgleich von Daten mit denen ähnlicher Versuche und verfügbarer Daten anderer Unternehmen können unnötige und doppelte Arbeiten reduziert oder gar vollständig weggelassen werden. Dies spart Zeit und Geld. Zudem kann durch eine schnellere Entwicklungsarbeit das Repertoire an kundenspezifischen Produkten anpassbarer gestaltet und besser auf spezielle Kundenwünsche eingegangen werden.

Der allgemeine Innovationsprozess für jegliche Neuerung im Betrieb unterliegt einer klaren Struktur. Ausgehend von der Idee wird zunächst das Potential und das interne und externe Interesse an der Umsetzung evaluiert. Dabei wird mit diversen internen und externen Forschungsgruppen das Thema auf unterschiedlichste Sichtweisen betrachtet und Vor- und Nachteile ermittelt und abgewogen. Besteht Interesse an der Umsetzung, werden die nötigen Fähigkeiten und Technologien entwickelt und angeeignet und bei erfolgreichem Erlangen der Kompetenzen erfolgt die Markteinführung und Etablierung in Wachstumsfeldern oder Technologiefeldern. Diese Bereiche können bereits bestehenden oder neu geschaffen werden. Dies wird in Abbildung 3 verdeutlicht.



Abbildung 3: Der Innovationsprozess bei der BASF SE [Quelle: BASF SE]

Das größte Projekt hat der Konzern mit einer Abteilung unter dem Namen „BASF 4.0“ geschaffen. Dort arbeiten 25 Beteiligte an der Schaffung von Industrie 4.0 Strukturen und der Umsetzung in allen Unternehmensbereichen. Der Strukturplan für die schrittweise Einführung der Digitalisierung wurde „Innorate“ genannt und beginnt mit dem Projekt „Digital Plant“, welches in der gesamten Branche angestrebt wird und bei dem die BASF SE eine Vorreiterrolle einnimmt.^[42]

Das Ziel ist klar definiert und soll die Schaffung eines digitalen Abbildes eines jeden Prozesses und einer jeden Anlage erreichen. Ähnlich dem „Predictive Maintenance“ soll diese digitale Struktur die Arbeit

mit der realen Anlage erleichtern und die Produktivität erhöhen. Dazu wird die digitale und die reale Anlage an allen Schnittstellen verknüpft und mit den vorhandenen Informationen versehen.

An jeder Stelle können jederzeit die notwendigen Dokumentationen, Modelle und andere Informationen abgerufen und eingesehen werden. Dies spart Zeit und unnötiges Suchen. Der gesamte Anlagenszyklus von der Planungsphase bis hin zur Außerbetriebnahme soll in Zukunft vollständig digital begleitet werden. Nötig ist dazu zum einen ein fließender Übergang zwischen Verfahrenstechnik und den Informations- und Kommunikationstechnologien und zum anderen ein entsprechender Schutz für die Anlage und die vernetzten Daten. Diese Probleme gilt es zu lösen, um eine vollständige Implementierung der Industrie 4.0 zu ermöglichen.

Sicherheit kann nur durch stetige Entwicklungen und den geschulten und bewussten Umgang der Mitarbeiter garantiert werden. Die BASF ist der Ansicht, dass dabei auch ein wachsender Bedarf an die Umsetzung auf der Baustelle und im Engineering eine entscheidende Rolle spielt. Die Arbeiter müssen ein breiteres Wissen aufweisen und die Gewerke müssen untereinander stärker vernetzt sein. Wenn all dies gelingt, können die Vorteile der neuen Technologien genutzt werden. Fehler und Verzögerungen können reduziert werden und das Personal kann direkt und bereits vor Betriebsbeginn am virtuellen Modell arbeiten und testen. ^{[43] [44] [45] [46] [47] [48]}

2.2.2 Sinopec

Das chinesische Unternehmen Sinopec ist einer der größten Konzerne in der Petrochemiebranche und dementsprechend auch darauf bedacht, seine Spitzenposition zu halten. Am Thema Industrie 4.0 kommt es daher nicht vorbei und hat auch einige Projekte und Systeme eingeführt, die den digitalen Wandel gestalten sollen.

Das erste Projekt, das eingeführt wurde, ist das „Centralized Treasury Management“ (kurz: CTM). Dabei können alle gemessenen Prozessdaten online und in Echtzeit überwacht und ausgewertet werden. Dies verbessert nicht nur die Produktion, sondern sorgt zudem für mehr Transparenz. So können Kosten durch Optimierungen gesenkt werden und auf spezielle Wünsche besser und effizienter eingegangen werden. Außerdem werden Kunden durch den besseren Datenzugriff auf ihre Produktinformationen besser unterstützt und so entsteht eine engere Kundenbindung.

Ähnliche Vorteile besitzt das „Audit Information System“ (kurz: AIS). Das Verfahren ist ähnlich dem CTM jedoch eher auf interne Prozesse ausgelegt und dient zur Verbesserung von engeren horizontalen Wertschöpfungsketten. Dabei werden Prozesse, das Unternehmen und Subunternehmer zur

gemeinsamen Datennutzung vernetzt. Die Abläufe können direkt überwacht und geprüft werden und so eine flüssigere und reibungslosere Koordination stattfinden.

Das dritte Programm das implementiert wurde, ist das „Total Budget Management“ (kurz: TBM). Dies dient der Erleichterung von Kostenaufstellungen und der Kalkulation. Durch transparentere Übersichten können Genehmigungen für Investitionen und andere Ausgaben schneller und leichter erteilt werden. Die Finanzabteilung kann die Verteilung direkt überwachen und auswerten und die entsprechenden Stellen haben einen direkteren Zugang.

Zur konzernweiten Optimierung der Arbeitsprozesse in Förderung, Verarbeitung und den dazugehörigen Abläufen werden alle gemessenen Daten kontinuierlich in Datenbanken erfasst und zusammengeführt. Dies geschieht mit allen betriebenen Ölfeldern. Durch Auswertung dieser Daten können Mängel und Optimierungspotentiale aufgedeckt werden. Grundlage dafür sind jedoch Datenstandards im Engineering und die Entwicklung neuer Technologien. Sind diese vorhanden können Messwerte abgeglichen und korreliert werden.

Diverse digitale Technologien und Arbeitsweisen sind bereits in das Prozesssystem integriert. So zum Beispiel ein Manufacturing Execution System (MES), eine Air Pollution Control (APC) oder das auch in vielen chemischen Betrieben etablierte Labor-Informations- und Management-System (LIMS). Des Weiteren findet eine Echtzeit-Überwachung der Prozessdaten und eine digitale und teilweise automatisierte Steuerung statt. Dadurch können Prozesse optimiert, Rohstoffe eingespart und so die Betriebskosten gesenkt werden. Zudem wird durch den ebenfalls verringerten Energiebedarf die Umwelt geschont.

Eine starke Vernetzung beschleunigt Entscheidungsprozesse und bietet einen besseren und umfangreicheren Kundenservice an. Mehr Effektivität entsteht zudem durch Entwicklungen in Bereichen wie 3D-Modelling, intelligenter Pipeline- und Prozessführung, sowie integrierten Managementsystemen für Prozesse, Engineering und Projektaufgaben. Pilotanlagen, in denen Optimierungssysteme für Teilbereiche getestet werden, existieren bereits für die Ölförderung, den Transport und einen verringerten Wasserbedarf in der Weiterverarbeitung. So sollen Energie und Emissionen reduziert werden und demzufolge Kosten gesenkt werden. ^[49]

Zum Zweck einer umfangreicheren Digitalisierung des Konzerns wurde außerdem ein Kooperationsvertrag mit dem Technologiehersteller Huawei geschlossen. Ziel ist es intelligente Anlagen zu schaffen, in denen die Prozessabläufe relativ autonom gesteuert werden, sodass bestmögliche Ergebnisse erzielt werden. Zu diesem Zweck wurde eine Pilotanlage in Jiujiang

ausgewählt, an der die neuen Technologien erprobt werden. Dabei wird eine kabellose Plattform implementiert, auf der alle Informationen zusammenlaufen und abrufbar sind.

Auf diese Weise können alle Bereiche intelligent und optimal miteinander vernetzt werden. Dazu werden Radiowellen genutzt, da diese ein geringes Gefahrenpotential bieten und zudem weniger von den zahlreichen Rohrleitungen und Bauten gehindert werden. Die Anlage besteht aus drei Teilen mit je acht Produktions- und zwei IT-Systemen in denen alle Arbeiten, wie beispielsweise Produktionskontrolle, Entwicklung und Konstruktion, intelligent und digital gesteuert ablaufen sollen. Zur Unterstützung werden Daten aus anderen Standorten zum Vergleich hinzugezogen.^[50]

Problematisch bei etlichen anderen Anlagen sind die Unterschiede in der Hardware, sodass zunächst ein einheitliches Niveau erreicht werden muss, damit auch ein digitaler Wandel möglich ist. Außerdem muss das Sensorsystem umfassend erweitert werden und durch bessere Datenauswertung wie Big Data die allgemeine Produktionssicherheit erhöht werden.

2.2.3 SABIC

Die Saudi Basic Industries Corporation (kurz: SABIC) ist ein führender Konzern der petrochemischen Branche und produziert vorwiegend Grundchemikalien und Zwischenprodukte. SABIC ist als saudi-arabisches Unternehmen indirekt Teil des Gulf Cooperation Council (kurz: GCC) und somit bereits gut mit lokalen Unternehmen des arabischen Raumes vernetzt. Der GCC ist ein lockerer Staatenbund mehrerer Golfanrainerstaaten mit Regelungen ähnlich dem Schengener Abkommen der europäischen Union. Daher lässt sich stellenweise schlecht zwischen einzelnen Unternehmen und dem gesamten Verbund differenzieren.

Das Interesse zur Digitalisierung und Verbesserung der Produktion ist gegeben, jedoch werden die Ansätze und Prioritäten falsch gesetzt. Der Fokus liegt auf dem Einkauf von neuen Technologien anstatt diese mit zu entwickeln. Zudem liegen viele Unternehmen technologisch zurück und die Arbeiter haben Defizite in der Ausbildung und der Kenntnis von neuen modernen Technologien. Problematisch sind zudem die Infrastruktur und die Regulierung innerhalb der Betriebe. Daher wurde den Unternehmen ein 6-Punkte-Plan^[51] zur effektiveren und effizienteren Digitalisierung vorgeschlagen.

Zunächst müssen die Unternehmen abschätzen, welchen Einfluss die Digitalisierung auf sie hat und welche Erwartungen daran gestellt werden. Dementsprechend muss die Firmenstrategie für dieses Thema aufgestellt werden. Anschließend kann intern der Bereich für den besten Einstieg in das Thema Digitalisierung gesucht werden. Dort sollte die Veränderung die größte Wirkung haben und am besten umsetzbar sein. Wenn der Einstieg gelungen ist, muss der Prozess auf das ganze Unternehmen als

Einheit ausgeweitet werden. Dazu sind jedoch enorme Investitionen nötig, damit die digitalen Technologien sinnvoll entwickelt und verstanden werden können.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Vernetzung mit anderen Betrieben und dem gegenseitigen Austausch von Informationen und Entwicklungen für einen gemeinschaftlichen Fortschritt. Dieser ist durch den GCC bereits in Grundzügen gegeben und auch die Unterstützung seitens der Regierungen ist vorhanden. Wichtig ist auch eine internationale Zusammenarbeit mit bereits fortgeschrittenen Konzernen für ein schnelleres Vorankommen wie es SABIC durch die Kooperation mit Airborne International getan hat. ^[52] Als letzter Punkt des Plans ist es wichtig, dass die Unternehmen der Golfstaaten ihre Investitionen geschickt und durchdacht tätigen, anstatt einfach Unmengen in neue Technologien zu finanzieren.

Gelingt dies, kann das niedrige Digitalisierungslevel der Wirtschaft auf das hohe der Regierung und Gesellschaft angehoben werden. Werden Vorteile richtig erkannt, Investitionen rasch getätigt und das Verständnis entwickelt, können große Verbesserungen erzielt werden. Derzeit verstehen rund dreiviertel die Digitalisierung als reine Implementierung neuer Soft- und Hardware und nicht als den Prozess welche die Digitalisierung eigentlich ist. Zudem werden bei der Hälfte der Unternehmen neue Technologien kaum bzw. gar nicht genutzt.

Dabei liegen die Hauptaugenmerke meist auf dem Internet of Things, der Vernetzung und neuer Software. Kleinere Unternehmen haben dort auf Grund der geringeren internen Breite Vorteile, die Digitalisierung schneller zu bewältigen. Wichtig wäre es zunächst, die Mitarbeiter entsprechend in den neuen Bereichen der Industrie 4.0 und Datensicherheit zu schulen und die digitale Strategie in das Unternehmen aufzunehmen. Dann kann das Problem der Cyberkriminalität wegen mangelndem Sicherheitsbewusstsein und fehlender Sicherheitsmaßnahmen rasch behoben werden. Dabei sind Ausbildungen und Studiengänge inhaltlich häufig veraltet und es wird zu wenig Wert auf neue Entwicklungen gelegt.

Die Mitarbeiter müssen sensibilisiert werden und die Gefahren und Potenziale besser erkennen. Eine entscheidende Rolle spielt auch die IT, diese ist häufig extern eingegliedert und wird von ausländischen Unternehmen eingekauft. Lokale IT-Unternehmen und Start-Ups existieren kaum. SABIC dient bei der Digitalisierung im GCC als Vorbild und Vorreiter.

Der Konzern hat ein eigenes Partnerschaftsnetzwerk unter dem Namen „Home of Innovation“ gegründet. Dieses soll der gemeinschaftlichen Forschung und einer effektiveren Weiterentwicklung dienen. Mitglieder sind diverse internationale Unternehmen, sowie Forschungseinrichtungen und Universitäten der GCC-Staaten. Zudem betreibt der Konzern eine Forschungs- und

Entwicklungsabteilung für digitale Technologien und treibt so die Digitalisierung aktiv voran. Damit steht SABIC im krassen Gegensatz zu anderen Betrieben der Region. Diese sind oft darauf bedacht in interne Prozesse zu investieren, um eine Datenauslagerung zu vermeiden. Oft treffen dort einzelne Personen die Entscheidungen über digitale Maßnahmen, sodass die Belegschaft nur begrenzt Mitspracherecht und Einfluss hat, wie die Digitalisierung vollzogen werden soll. Die Regierungen begünstigen jedoch den digitalen Wandel durch Ziele und Pläne für das Wirtschaftswachstum, um die intelligente Infrastruktur und die Lebensqualität zu verbessern.

Beim wichtigen Faktor der Unternehmensstrategie gibt es diverse Möglichkeiten diese anzugehen. Ein Ziel kann es sein, die Produktionszeiten oder die Betriebskosten zu reduzieren und so die Geschäftsabläufe zu verbessern und die Arbeit effizienter zu gestalten. Eine andere Möglichkeit der Strategiewahl ist die Erschließung neuer Absatzmärkte und die Erweiterung bestehenden Marktanteile. Dadurch werden vornehmlich Umsatzsteigerungen erreicht.

Eine dritte Variante ist eine Art „Reset des Unternehmens“ auf die ursprünglichen Grundlagen und eine anschließende Neuausrichtung mit Hilfe der digitalen Technologien. Demzufolge wird dabei der gesamte Betrieb neu strukturiert und umgebaut, mit dem Ziel effizientere Abläufe zu schaffen und die Produktion zu optimieren. Fortgeschrittene Konzerne wie SABIC kombinieren diese Ziele und passen diese entsprechend der aktuellen Situation an. Wichtig dabei ist, neue Technologien aktiv einzubinden. Dies betrifft beispielsweise den 3D-Druck von Modellen oder serienmäßigen Bauteilen, für die dies möglich ist, die Integration eines ERP-Systems oder der Prozessautomation.

Hauptaugenmerk muss jedoch auf drei kritischen Bestandteilen liegen: Big Data und Analytik, Cloud-Computing, sowie digitale Kundenvernetzung. Im Bereich Big Data geht es vor allem darum, die Datenerstellung maximal zu automatisieren. Die Unternehmen müssen Verwaltungssysteme und Plattformen integrieren, damit die erhaltenen Daten auch effektiv gehandhabt und ausgetauscht werden können. Entscheidend ist dabei die technische Kontrolle, den Datenschutz und das Benutzerverhalten entsprechend anzupassen. Zudem müssen umfangreiche Analysesoftware die Daten auswerten und visualisieren.

Zum effektiven Austausch bieten sich Cloud-Lösungen an. Auf diese Weise kann von jedem Ort mit entsprechendem Zugang zugegriffen werden. So ist ein einfacher und schneller Datenaustausch möglich. Zu prüfen sind lediglich die Einbindungsmöglichkeiten in das Unternehmen und die verschiedenen internen Prozesse. Clouds erhöhen die Flexibilität und Kundenbindung durch schnelleren Support. Dessen System muss jedoch kompatibel sein. Auf Sicherheit und Privatsphäre muss dabei stets geachtet werden. Der letzte der drei kritischen Bestandteile ist die digitale Kundenvernetzung. Diese wurde beim Cloud-Computing bereits angesprochen, hat jedoch zur

Grundlage, zunächst die besten Schnittstellen mit dem Kunden herauszufinden. Die Wertschöpfungskette muss als Ganzes in den Prozess mit einbezogen werden. So können die Arbeitsprozesse flexibel gehalten werden und Entwicklungen kontinuierlich über den ganzen Produktionsprozess durchgeführt werden.

Die Zusammenarbeit von IT-Abteilungen und verfahrens- und anlagentechnischen Abteilungen soll zunehmend aufgebaut werden, damit die betriebsinterne Vernetzung effektiv umgesetzt werden kann. Ein weiteres bestehendes Problem ist die Sicherheit. Dabei kann diese in drei Bereiche gegliedert werden, in denen Fortschritte erzielt werden sollen. Dies betrifft die Prävention, die Erkennung und die Reaktion auf Störungen. Gerade in Raffinerien sind besonders kritische Systeme und Bereiche, die geschützt werden müssen. Dazu soll ein umfangreiches und stabiles Modell entwickelt werden, damit auch die Fortbildung der Mitarbeiter für neue Fähigkeiten im digitalen Bereich genutzt werden kann.

Das nächste bestehende Problem betrifft getätigte Investitionen. Diese werden oft nicht ganzheitlich, sondern nur punktuell betrachtet. Dadurch werden die Einsparungen und Gewinne oft nicht richtig erkannt und nur als kurzfristiger Erfolg oder gar als Verlust gewertet. Ebenso verhält sich dies bei Weiterentwicklungen. Diese werden nur bereichsweise aber nicht unternehmensweit angesehen. Wenn zum Beispiel ein neues Verwaltungssystem von Rohstoffen eingeführt wird, spart dies nicht nur Aufwand in der Produktion, sondern erleichtert auch die Arbeit der Finanzabteilung und spart Arbeitszeit.

Die Investitionen können dabei grundlegend in zwei Bereichen getätigt werden. Zum einen in Wartungsaufgaben und die bestehende Anlage zur Verbesserung der Laufleistung, erhöhter Sicherheit oder bedienerfreundlicheren Steuerungen, zum anderen Investitionen in Risikobereiche wie neu entstehende Technologien. Diese können bei Misserfolgen Verluste einbringen, bieten jedoch großes Potenzial. Sinnvoll sind daher viele kleine Investitionen und die Pilotierung aussichtsreicher Projekte zur Ermittlung von möglichem Mehrwert.

Am Beispiel von SABIC ist gut zu erkennen, dass eine Vernetzung mit Forschungseinrichtungen in den Technologiezentren viele Vorteile bringt. Entwicklungen können vor Ort stattfinden und zeitnah getestet und implementiert werden. Eine Vernetzung mit regionalen und internationalen Unternehmen bringt ebenfalls Vorteile durch einen regen Wissensaustausch und gegebenenfalls Vorrechte auf neue Entwicklungen eines Partners.

Zusammenfassend kann für die Unternehmen im GCC festgestellt werden, dass zwar der Wert der Digitalisierung erkannt wurde, jedoch zahlreiche Hindernisse den Fortschritt derzeit verzögern. Dies sind vor allem die noch mangelnden digitalen Fähigkeiten der Betriebe und ihrer Mitarbeiter, zudem

schlechte interne Organisation und Mittelverteilung. Das Umfeld ist durch etliche Krisen und Probleme sehr instabil, dadurch können viele Bestrebungen rasch zunichtegemacht werden. Diese Punkte zu bewältigen, kann Unternehmen schnell überfordern, sodass die Bestrebungen eingestellt werden, auch wenn die Voraussetzungen prinzipiell bereits gegeben sind. Wichtigster Punkt, die Digitalisierung zu meistern und einen Industrie 4.0-Status zu erreichen, ist eine strukturierte Vorgehensweise zu entwickeln. Gelingt dies, können zeitnah Erfolge sichtbar werden.

2.2.4 Exxon Mobil Corporation

ExxonMobil ist ein US-amerikanisches Unternehmen aus der petrochemischen Branche. Hauptgeschäfte sind somit die Förderung, Verarbeitung und der Verkauf von Erdöl- und Gasprodukten. Wie bereits im einführenden Text zu Punkt 2.2 erwähnt, sind viele Unternehmen verschlossen in der Informationsverbreitung von internen Forschungsrichtungen und Zielen. ExxonMobil ist dabei keine Ausnahme. Nur wenig ist öffentlich über das Engagement des Konzerns im Bereich Digitalisierung zur Industrie 4.0.

In einem Interview^[53] mit einem hochrangigen Mitarbeiter des Unternehmens wurde die allgemeine Sicht auf das Thema erläutert. Dabei wird ein klarer Vorteil durch eine Digitalisierung gesehen, jedoch kann ein genauer Wert nicht abgeschätzt werden. Daher sind große Investitionen auch sehr risikobehaftet. Probleme werden in der Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den Arbeiten von Ingenieuren, insbesondere Verfahrenstechniker und Informationstechnikern gesehen. Dies beruht vor allem auf der inhaltlichen Distanz der jeweiligen Arbeitsgebiete. Zudem sind die gewonnenen Daten oft für den gewollten Nutzen teilweise ungenügend. So fehlen beispielsweise wichtige physikalische Einflussgrößen.

Hinzu kommt, dass die Daten schlecht strukturiert und ausgenutzt werden. Viele Daten werden gar nicht genutzt. Hier kann nach Ansicht des Konzerns die Digitalisierung greifen. Ein weiterer Vorteil der Industrie 4.0 wird in der Gewinnsteigerung gesehen. Diese resultiert aus der Erschließung neuer Ölfelder und einer effektiveren Fördertechnik. Neue Technologien liefern Erkenntnisse über die Lage, die Größe und die Erreichbarkeit von Öl- und Gasvorkommen.

Einen ersten öffentlich verkündeten Schritt hat ExxonMobil durch einen Kooperationsvertrag^[54] mit Invensys (heute Teil der Schneider Electric SE) getätigt. Ziel dieser Zusammenarbeit war die vollständige Einbindung eines Enterprise Control Systems zur Prozessautomatisierung. Dieses System sollte diverse Aufgaben selbstständig durchführen. Dazu zählen die Verwaltung aller gesteuerten

Prozesse, die Planung der benötigten Rohstoffe und die Abfüllung und der Versand der Produkte, wie beispielsweise Benzin oder Öl in Fässer und Tankkraftwagen.

Diese autonome Steuerung der verarbeitenden Prozesse in Echtzeit ermöglicht eine höhere Flexibilität durch kurzfristig ins System eingegebene Änderungen und die automatische Anpassung. Zudem werden die Arbeitsabläufe flüssiger, da keine Kommunikation zwischen Außendienstmitarbeiter und Leitwartenpersonal mehr stattfinden muss. Somit können unnötige Kommunikationszeiten und Wegzeiten deutlich reduziert werden. Daraus resultierend erhofft sich der Konzern durch die Digitalisierung die Einsparung von menschlicher Arbeit durch eine Automation dieser in Bereichen der häufig wiederkehrenden und monotonen Aufgaben.

2.3 Sicht von KMU

Die Ausgangssituation in den KMU ist eine völlig andere, als bei großen Konzernen. Etliche Probleme die bei internationalen Unternehmen auftreten, können im Mittelstand relativ einfach gelöst werden.

Im Mittelstand treten einige Besonderheiten auf, die ihn von größeren Unternehmen unterscheiden. Bedingt durch die wesentlich geringere Beschäftigtenzahl ist die Bindung zwischen Geschäftsführer und Mitarbeiter viel höher. Weniger Angestellte im Betrieb führt zudem zu kürzeren Wegen und einem geringeren Verwaltungsaufwand für das Personal und das Unternehmen. Viele KMU sind Privatunternehmen. Daraus resultiert häufig eine geringe Verfügbarkeit von Eigenkapital. Nach Ansicht einer Studie ^[55] des VDI fehlen den eher technisch als wirtschaftlich ausgebildeten Geschäftsführern die notwendigen Kenntnisse eine gezielte und methodische Strategie für das Unternehmen aufzustellen.

Produktqualitäten basieren vor allem auf der Unternehmensphilosophie, welche die Mitarbeiter leben. Strukturierte Maßnahmen für Qualitätssteigerungen sind dahingegen eher selten. Veränderungen und Umstrukturierungen sind daher eher problematisch. Den Unternehmen mangelt es an spezifischen Qualifikationen und Kapazitäten. Fördermittel sind für KMU häufig umständlich zu beantragen und erfordern relativ viel bürokratischen Aufwand. Dies ist der Hauptgrund, weshalb solche Maßnahmen meist gar nicht erst angegangen werden.

Geringe Mitarbeiterzahlen und wenig Eigenkapital bieten wenig Raum für flexible Ressourcenverfügbarkeiten. Daraus resultierend haben Marktschwankungen einen großen Einfluss auf die KMU. Anpassungen innerhalb der Unternehmen an verändernde Marktsituation sind langwierig und problematisch. Häufig werden geringe Losgrößen produziert. Dies ist bei einer notwendigen Flexibilität und einer kundenspezifischen Produktion sehr vorteilhaft. Jedoch wirken sich Skalierungseffekte bei Produktionserweiterungen auf Grund der kleinen Stückzahlen kaum aus. Dabei ist die Flexibilität eines der wichtigsten Erfolgsmerkmale mittelständischer Unternehmen. Diese Flexibilität bedingt einer hohen Kundennähe und auf Grund der flachen Hierarchien, schnelle Entscheidungen für eine besser angepasste Produktion.

Das geringe Eigenkapital führt zu Problemen bei Fehlinvestitionen. Je nach Investitionsvolumen kann ein Fehlschlag kaum bis gar nicht kompensiert werden. Dabei sind gerade auf Grund der flachen Unternehmenshierarchie Innovationen und ein langfristiges Denken und Handeln gut möglich. Nachhaltigkeit ist im operativen Handeln jedoch die Ausnahme.

KMU stehen eine Menge kleiner und großer Herausforderungen bevor, wenn sie die zunehmende Digitalisierung und den stattfindenden Wandel erfolgreich bestehen wollen. Zunächst wäre dafür die

allgemeine Globalisierung der Wirtschaft zu nennen. Diese erfordert neue Strukturen im Handel und der Warenlogistik. Hinzukommen notwendige Aktivitäten im Bereich der Forschung und der Entwicklung. Dies stellt die Unternehmen finanziell oft vor Probleme. Dabei werden stetig neue Innovationen benötigt, um auf die ändernden Bedürfnisse des Marktes zu reagieren.

Auf dem Markt ändern sich sowohl die Anforderungen an die Unternehmen und deren Produkte, als auch die allgemeine Dynamik. Diese notwendigen Innovationen führen zu immer komplexeren Fertigungsvorgängen. Zudem müssen die unterschiedlichen Abteilungen der Betriebe stärker untereinander kommunizieren, damit diese auftretenden Schwankungen ausgeglichen werden können. Ein weiterer wichtiger Punkt, der die KMU herausfordert, ist der richtige Umgang mit den verfügbaren Ressourcen. Diese müssen effizient genutzt und geplant werden. Dabei darf die Variabilität jedoch nicht verloren gehen, die für die flexible Produktion benötigt wird. Die ablaufenden Produktionsprozesse des verarbeitenden Gewerbes in den chemischen, metallurgischen oder anderen Industrien müssen dabei kontinuierlich optimiert und verbessert werden.

Eine große Herausforderung wird für die KMU die Schließung neuer Partnerschaften und Kooperationen mit nationalen und internationalen Unternehmen. Bereits bestehende müssen ausgebaut und vertieft werden. Grundlage dafür ist eine stetige Kommunikation. Diese sollte effektiver und weiterreichender gestaltet werden, eine Möglichkeit dafür wären gemeinsame Plattformen. Darüber wäre auch der effiziente Austausch von Daten und Informationen zum gemeinschaftlichen Fortschritt möglich.

Die Bereiche, in denen die KMU umdenken und sich weiterentwickeln müssen, sind vielfältig. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass selbst bei geringen Ausgaben für Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten hohes Innovationspotenzial in kleineren Unternehmen steckt. Priorität haben dabei vor allem Neuerungen mit einer kurzen Entwicklungsdauer und Zielen die möglichst kundennah sind.

Ein Erfolg der Investition soll zeitnah erreicht werden. Produkte die neu eingeführt werden, müssen entweder ein Alleinstellungsmerkmal aufweisen oder eine vorhandene Marktlücke schließen. Problematisch dabei ist, dass die KMU in der Regel kaum bis gar keine Grundlagenforschung betreiben und auch das vorhandene Budget für Forschungsarbeiten niedrig ist. Zudem sind die genutzten Methoden und Technologien in der Produktion und der Entwicklungsarbeit häufig veraltet und überholt. Hier sind Investitionen nötig.

Kundennähe ist auch für den Handel und die dazugehörige Logistik entscheidend. Hier spielen vor allem kurze Lieferzeiten und ein entsprechendes Serviceleistungsangebot zusätzlich zum Produkt eine

wichtige Rolle. Weitere Bestrebungen der KMU sind zum einen eine Bestandsminimierung, um Lagerkosten gering zu halten und das Kapital nicht zu binden und zum anderen eine Auslastungsmaximierung. Die Produktion soll mit höchster Effektivität laufen. Dabei treten Herausforderungen vor allem durch die steigende Komplexität der genutzten Apparate und der produzierten Güter auf.

Die KMU haben im Vergleich zu großen Konzernen stark mit saisonalen Schwankungen in Ressourcenverfügbarkeit und Produktnachfrage zu kämpfen. Zudem steht auch die Instandhaltung bei den Unternehmen unter starkem Druck, da keine direkte Wertschöpfung gesehen wird. Ebenso werden das Qualitätsmanagement und die Instandhaltung nicht zur Verbesserung von Produktionsprozessen und der Anlage genutzt und auch diese Möglichkeit nicht erkannt.

Generell wird das Qualitätsmanagement selten systematisch zur Verbesserung, sondern lediglich sporadisch für Kontrollen zum Erhalten der aktuellen Qualität eingesetzt. Dies wird vor allem dadurch bedingt, dass für die Erhöhung der Produktionssicherheit und der Anlagenverfügbarkeit bereits gute Lösungen vorhanden sind. Gerade bei der Digitalisierung reicht dies jedoch nicht aus. Neue Arbeitsfelder und Technologien werden aufkommen. Um dies zu bewältigen müssen die KMU unterstützt werden und sich selbst stärker einbringen. Der bereits bestehende Fachkräftemangel spielt dabei ebenfalls eine entscheidende Rolle. Durch die Veränderungen in der Arbeitswelt müssen die Beschäftigten stetig fortgebildet werden und zusätzliche Qualifikationen erlangen.

Das Auftreten der KMU auf dem Absatzmarkt bietet zwar Potenzial, jedoch wird dieses selten erkannt oder ist mit unverhältnismäßig hohem Aufwand verbunden. Ein Problem ist die häufig vorhandene Einbindung der Unternehmen in die Lieferkette von großen Unternehmen. Dies führt zu einer Abhängigkeit und bietet wenig Flexibilität für die KMU. Dies liegt auch teilweise an den KMU selbst, da das Supply Chain Management als unwichtig angesehen wird und kaum Beachtung findet. Ein weiteres Problem ist die Einbindung neuer Zulieferer in die Wertschöpfungskette von Unternehmen. Dies erfolgreich zu gestalten und alle Prozesse und Vorgänge entsprechend anzupassen ist mit einem hohen Aufwand verbunden und bedarf viel Know-how seitens der Unternehmen. Daher gelingt die Integration neuer Zulieferer selten.

Im Service fehlt zudem bisher ein Umdenken, aus bereits angebotenen Serviceleistungen mehr Wertschöpfung zu ziehen. Ein Bereich wäre der After-Sales-Markt. Dabei ist dieser derzeit, falls überhaupt vorhanden, nur mit dem Anbieten von Reparaturen und Ersatzteillieferungen verbunden. Diese Angebotspalette muss erweitert und auch beispielsweise zusätzlich zum Produkt technische Informationen oder Produktionsdaten aus dem Prozess geliefert werden.

Dabei bietet die Digitalisierung und die neuen Technologien enorme Chancen für die KMU. So können die Materialkosten in der Produktion gesenkt werden, indem zum Beispiel die erhaltenen Prozessdaten ausgewertet werden und der Prozess entsprechend angepasst wird, um den Ausschuss zu reduzieren. Die Fertigungskosten können ebenfalls gesenkt werden. Dies kann durch eine Optimierung der Planungsabläufe geschehen. Beispielsweise kann durch permanente Produktionsüberwachung die Effizienz verbessert und die Verfügbarkeit gewährleistet werden. Automatisierte Logistikprozesse fördern die Flexibilität der Unternehmen.

Die höhere Datenverfügbarkeit und hinzukommend eine Vernetzung von Bestandsdaten mit den Systemen zur Planung und Steuerung der Produktion, bietet die Möglichkeit die Bestandskosten zu verringern, da die Ressourcenbedarfe besser kalkuliert und geplant werden können. Mit Hilfe von kundenspezifischen Daten kann der Produktionsprozess individueller gestaltet werden. Eine Anpassung der einzelnen Schritte entsprechend den Anforderungen wird ermöglicht. Eine Qualitätssteigerung erhöht zudem die Umsatzpotenziale.

Eine weitere Bestrebung der KMU sollte es sein die Informationswege zu verkürzen. Dies bietet Potenzial das Treffen von Entscheidungen innerhalb des Unternehmens zu beschleunigen. Zur Steigerung der Effektivität kann ein zugrundeliegendes System implementiert werden, mit welchem bestimmte routinemäßige Entscheidungen und Freigaben für die Produktion automatisiert ausgeführt werden können. Hilfssysteme bieten zudem die Möglichkeit Instandhaltungsaufgaben effizienter zu gestalten. Dem Wartungspersonal kommen die Unterstützungssysteme zu Hilfe, sodass diese ihre Arbeiten schneller und genauer ausführen können.

Zusätzlich kann die Instandhaltung zustandsabhängig durchgeführt werden. Schnellere Entscheidungen führen zu kürzeren Standzeiten und somit sind die Produkte schneller fertiggestellt. Demzufolge verkürzen sich die Lieferzeiten. Neue Systeme bieten die Möglichkeit zur Erweiterung des Service- und Produktportfolios, da ein Mehrwert an Daten vorliegt und diese besser ausgewertet sind. Durch eine genauere und umfassendere Auswertung von Kundendaten ist zudem die Erschließung neuer Absatzmärkte und Produktionswege möglich. Generell gilt für die KMU stärker Daten aus den verschiedenen Unternehmensvorgängen und Prozessen zu erfassen. Aus einer gezielten Auswertung und dem entsprechenden Ableiten von Erkenntnissen ist ein effektiveres Handeln möglich.

Auch die Industrie 4.0-Schwerpunktbereiche bieten Möglichkeiten, aber auch Herausforderungen für die KMU. Zur Verbesserung der Datenerfassung und weitergehender Verarbeitung muss zunächst die Akzeptanz dies umzusetzen erhöht werden. Voraussetzung dafür ist die Erhöhung der Datensicherheit. Weiterhin müssen entsprechende Schnittstellen und Standards geschaffen und festgelegt werden, damit die Nutzung der Daten auch effektiv ist. Erst dann ist die sinnvolle Datenzusammenführung auch

möglich. Außerdem ist eine Erweiterung der betrieblichen Fort- und Weiterbildungsangebote zwingend erforderlich.

Im Bereich der Assistenzsysteme sind die grundlegenden Voraussetzungen und die Technologien zwar geschaffen, jedoch fehlt die entsprechende Anpassung an die Besonderheiten der KMU. Zusätzlich sollten die Systeme vereinfacht werden, damit eine Implementierung ohne übermäßigen Aufwand und entsprechend des geringen Eigenkapitals durchführbar ist. Die Assistenzsysteme sollten außerdem für den mobilen Gebrauch ausgestattet werden. Gelingt dies, ist eine Steigerung der derzeit geringen Nutzung von Assistenzsystemen in KMU möglich.

Die Vernetzung und Integration verschiedener Unternehmensabteilungen untereinander und in die Produktionsprozesse ist bisher so gut wie nicht vorhanden. Das große Potenzial, welches sich in diesem Bereich verbirgt wird nicht erkannt und genutzt. Ebenso könnten neue Geschäftsmöglichkeiten daraus entwickelt werden. Um dieses Potenzial umzusetzen sind die entsprechenden technischen und organisatorischen Voraussetzungen zu schaffen. Ziel sollte sowohl eine firmeninterne, als auch eine übergreifende Vernetzung sein.

Im Bereich der Dezentralisierung und Serviceorientierung gilt es, wie bereits erwähnt, neue Geschäftsfelder zu erschließen. Zusätzlich sollten aber auch die bestehenden Geschäftsfelder weiterentwickelt werden. Als weiteres Ziel der Digitalisierung sollte auch eine stärkere Kundenbindung angestrebt werden. Die Themen Selbstorganisation und Autonomie in der Produktion sind eher langfristig umsetzbar. Dort besteht derzeit noch ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Grundsätzlich sind gute Einsatzmöglichkeiten für autonome Systeme gegeben, jedoch mangelt es dafür an Eigenkapital der Unternehmen. Da das Kosten-Nutzen-Verhältnis nicht klar ist, kann ein wirtschaftlich sinnvoller Einsatz solcher Systeme nicht gewährleistet werden. Für die meisten KMU ist dies daher noch uninteressant. Lediglich einige mittelständische Unternehmen in der Prozessindustrie mit komplexen Produktionsstrukturen und -abläufen könnten von solchen autonomen Steuerungen profitieren, da dort meist auch das notwendige Kapital vorhanden ist.

Dies wird beispielsweise in einem vom Bund geförderten Projekt ^[56] getestet. Mit dem Titel „Assistenzsysteme für die Prozessindustrie auf Basis von cyber-physischen Produktionssystemen“ soll ein Assistenzsystem geschaffen werden. Entsprechend dem Titel ist die Grundlage dafür ein zu schaffendes CPS für die Produktion. Die Ziele des Projektes sind typischerweise die Reduzierung ungeplanter Stillstände, sowie eine höhere Effektivität und Effizienz der Prozesssysteme. Zudem wird daran gearbeitet, dass durch das CPS die Dokumentation von Wartung und Instandhaltung automatisch geschieht. Dementsprechend soll die Industrie einen vollständigen IT-Support erhalten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein Großteil der KMU noch am Anfang der Entwicklung zur Industrie 4.0 steht. Lediglich in Logistikunternehmen und der Prozessindustrie sind bereits erste grundlegende Schritte getan. Die Prozessindustrie kann dabei als Vorreiter im Thema Industrie 4.0 im Mittelstand angesehen werden, da dort arbeitsbedingt bereits viele Daten, wie zum Beispiel Prozessparameter, gesammelt werden. Dies stellt eine Voraussetzung für den erfolgreichen Wandel zur Industrie 4.0 dar. Die Auswertung ist allerdings auch im Industriesektor noch mangelhaft.

Ebenso ist es bei Assistenzsystemen. Die Verbreitung ist hoch, die maximale Ausnutzung gering. Das volle Potenzial wurde von KMU dahingehend noch nicht erkannt. Somit ist die vollständige Umsetzung der Industrie 4.0 in der vertikalen und horizontalen Unternehmensstruktur noch in weiter Ferne. Dabei bietet die Einführung der verschiedenen neuen Technologien und Systeme hohes Potenzial für die Wirtschaft und den Wettbewerb. Die notwendigen Anwendungen und Technologien sind zum Großteil bereits entwickelt, nur die Nutzung ist mangelhaft. Dies liegt zum einen am fehlenden Eigenkapital und einem fehlenden offensichtlichen Mehrwert, zum anderen am hohen Aufwand diese zu implementieren.

Die KMU gehen insgesamt zurückhaltend an das neue Thema heran, bei einer aktiveren Rolle wäre eine schnellere Entwicklung durchaus denkbar. Beispielsweise ist seitens der Verbände eine stärkere Beteiligung in Gremien für Normungen und Standards gewünscht, da diese gerade bei KMU oft ein Problem darstellen. Um Hemmnisse abzubauen sollten sich die Unternehmen zudem frühzeitig mit Themen der IT-Sicherheit befassen.

Die Einbeziehung von externen Sachberatern kann dies unterstützen. Zudem kann ein Zusammenschluss verschiedener kleiner und mittlerer Betriebe zu einem Verbund mit entsprechender Kostenteilung viele Vorteile bringen. So können zum Beispiel teure Ausgaben für Entwicklungen oder Forschungsaufträge durch mehrere Unternehmen getragen werden und auch trotz eines geringen Eigenkapitals ist ein Fortschritt möglich. Zunächst sollte die Digitalisierung allerdings in den innerbetrieblichen Strukturen vollzogen werden. Für eine erfolgreiche Entwicklung zur Industrie ist eine stärkere staatliche Förderung zwingend notwendig.

Als Wegweiser können beispielsweise die entstehenden Kompetenzzentren dienen. Dort können Unternehmen neue Technologien testen und sich den Nutzen veranschaulichen. Generell sollten wissenschaftliche und öffentliche Einrichtungen, die sich mit dem Thema beschäftigen stets beratend für KMU wirken, um diese aus ihrer passiven Rolle herauszuholen. Dann gelingt es auch die Unternehmen für die neuen Technologien zu sensibilisieren und Vorteile und Gefahren aufzuzeigen. Bestehende Vorurteile und Hemmnisse werden abgebaut. Zusätzlich muss der Aufwand für das Stellen von Anträgen erleichtert werden, damit die KMU den Aufwand nicht scheuen müssen.

2.4 Sicht von Technologielieferanten

Für eine Industrie 4.0 sind zahlreiche neue Technologien notwendig. Dabei existieren verschiedene Spezialisten, je nachdem welche Technologie betrachtet wird. Einige große Konzerne sind allerdings auch im Bereich der Technologielieferanten weltweite Spitzenreiter. Andere wiederum haben Kooperationen mit Konzernen und kleineren Unternehmen der Industriebranche geschlossen. Beispielsweise hat, wie bereits in Punkt 2.2.3 erwähnt, das Technologieunternehmen Airborne International B.V. einen Kooperationsvertrag mit dem Konzernriesen SABIC abgeschlossen.

Dieser dient der Entwicklung von vollautomatisierten und digitalisierten Produktionsprozessen. Ein anderes Beispiel ist die Partnerschaft aus Punkt 2.2.2 zwischen dem Petrochemiekonzern Sinopec und dem Technologiehersteller Huawei zur Vernetzung verschiedener Unternehmensbereiche. Hauptthemen der Technologieunternehmen sind häufig offene Standards und die Schaffung von Schnittstellen oder das Einbinden von RFID- oder QR-Codes. Das Unternehmen Schneider Electric SE, welches auch mit ExxonMobil einen Vertrag geschlossen hat arbeitet zusätzlich beispielsweise an der vollen Konnektivität der Webserver. QR-Codes will das Unternehmen dahingehend dynamischer machen, damit eine schnellere Anpassung stattfinden kann. ^[57]

Zusätzlich spielt bei den Technologielieferanten die entsprechende Kompetenzsteigerung der verschiedenen Industrieunternehmen eine wichtige Rolle. Die eigenen Mitarbeiter sollen stetig die IT-Kompetenzen entsprechend der neuen Entwicklungen ausbauen und diese an die Kunden weitergeben. Auf die Bestrebungen ausgewählter bedeutender Technologiekonzerne soll nachfolgend näher eingegangen werden.

2.4.1 Siemens AG

Die Siemens AG zählt zu den größten Konzernen der Informations- und Elektrotechnologiebranche. Schwerpunkte sind zum einen der Maschinen- und Apparatebau, zum anderen aber auch die digitale Vernetzung, Automatisierung und Software für die Industrie. Daher spielt Industrie 4.0 auch für Siemens eine große Rolle.

Eine derzeitige Bestrebung ist die freie Skalierung der Anlagenverfügbarkeit, damit bei Erweiterungen der Produktion keine ständigen Probleme auftauchen. Zudem sollen interne Netzwerke in den verschiedenen Industriesektoren durch Switche und Regeleinrichtungen stärker verknüpft und gesteuert werden. Dabei soll dies vor allem redundante Netzwerke betreffen. Zusätzlich soll unternehmensweit stets eine durchgängige Kommunikation gegeben sein. Dazu hat Siemens eine eigene Software mit dem Namen Profinet ^{[58] [59]} zur Verbindung zwischen der Anlage in der Feldebene

und der digitalen Cloud geschaffen. Diese bietet die flexible, sichere und vor allem einfache Möglichkeit zur Einbindung von Geräten an das interne System. Dabei entstehen durchgängige Datenmodelle über die gesamte vertikale Unternehmenskette. Zusätzlich ist eine virtuelle Anlagensimulation möglich. Eine gute Grundlage für eine erfolgreiche Digitalisierung ist somit bereits möglich. Der Aufwand zur Implementierung eines solchen Systems kann abhängig von der Unternehmensgröße hoch sein.

Zur Entwicklung einer umfassenden Industrie 4.0-Suite hat Siemens einen Kooperationsvertrag mit dem Softwareunternehmen Bentley System, Inc. geschlossen. Dieses entwickelt 2D und 3D-Programme für beispielsweise CAD. Dabei soll das Problem der fehlenden Informationen oder unterschiedlichster Datenformate bei bestehenden Anlagen angegangen werden. Als Engineeringtool soll das von Siemens entwickelte System COMOS dienen. Dieses dient dem zentralen Datenmanagement und bietet einen Datenzugriff in Echtzeit, wobei ein objektorientierter und gleicher Datenpool für alle Bereiche vorliegt.

Als grundlegendes Datenformat ist .xml gedacht. COMOS beinhaltet selbst jedoch nur 2D-Anwendungen. Zur Erweiterung wird das 3D-Programm OpenPlant des Partners Bentley Systems hinzugezogen. Somit soll mittels Drohne die bestehende Anlage aufgenommen und kartographiert werden. Anschließend wandelt OpenPlant diese Daten in ein 3D-Modell um und mit COMOS ist das virtuelle Modell für beispielsweise virtuelle Rundgänge nutzbar. ^[60]

Zusätzlich bietet Siemens Toolangebote für eine Erweiterung der Möglichkeiten und andere digitale Technologien. Diese Tools bieten mehr Effizienz in den Prozessen, sowie effektivere Betriebsabläufe. Zudem können neue Produkte schneller am Markt eingeführt werden. COMOS liefert dazu den digitalen Zwilling der Prozessanlage. Dieser ist dank des Datenpools mit etlichen Daten, Modellen und zusätzlichen Informationen versehen. An dieser virtuellen Anlage können dann jederzeit Tests und Ausbildungen durchgeführt werden. Dies ist unabhängig davon, ob sich die reale Anlage noch in der Bauphase befindet oder bereits in Betrieb genommen wurde.

Bei Problemen können die Anlagenfahrer so über das System Meldungen an die Servicemitarbeiter durchgeben. Automatisch liefert das digitale Abbild zusätzlich alle notwendigen Informationen, sowie den Standort des Problems. Wartungsarbeiten können auf diese Weise, wie es von den großen Konzernen und Verbänden auch angestrebt ist, schnell, effizient und sicher ausgeführt werden. Monteure und Anlagenpersonal können beim Austausch von Maschinen und Apparaten oder anderen Änderungen relativ einfach die Anlagendokumentation aktuell halten. Dies muss dann lediglich im System angegeben werden und automatisch übernimmt dieses entsprechende Daten. Zur besseren Auswertung liefert Siemens mit der „XHQ Operations Intelligence Plattform“ ein Tool, welches die

Unternehmens- und Prozessdaten in Echtzeit analysiert und in beliebiger Form grafisch darstellen kann.

Als Komplettpaket für alle digitalen Technologien hat Siemens die „Digital Enterprise Suite“ entwickelt bzw. zusammengestellt. Darin enthalten ist ein „Product LifeCycle Mangement“ und ein „Manufacturing Operations Management“. Eine Steuerung über den gesamten Lebenszyklus des Produktes in der Anlage ist damit möglich. Damit bietet die Suite eine komplette Automatisierung der Produktionskette. Hinzukommt das Programm „MindSphere“, welches sowohl als Cloud, als auch als Betriebssystem für ein Internet of Things dient.

Die Vorteile, die sich aus der Kombination dieser Systeme ergeben, sind vielfältig. Zum einen existiert so ein Datenmodell für die gesamte Wertschöpfungskette, zum anderen ermöglicht dieses Paket allen Beteiligten einen direkteren Zugriff. Die Daten sind durchgehend konsistent. Der erzeugte digitale Zwilling bietet die Möglichkeit der digitalen Simulation von Prozessen und daraus folgend eine Optimierung der ablaufenden Vorgänge in der Prozessindustrie. ^{[61] [62] [63]}

2.4.2 Robert Bosch GmbH

Die Robert Bosch GmbH ist in der Prozessindustrie hauptsächlich durch ihre Tochterfirma Bosch Rexroth AG vertreten. Das Unternehmen hat als Systemlösung das Programm „IT Shopfloor Solutions“ herausgebracht. Mit diesem ist eine Überwachung und Analyse der Produktionsprozesse in Echtzeit möglich. Auf Feldebene agiert zudem eine Sensor Cloud. Darin werden alle Sensoren und anderen Datenquellen eingebunden und verwaltet. Abschließend unterstützt ein „Production Performance Manager“ die erhaltenen Informationen auszuwerten und weiterführend anzuwenden. So wird ein virtuelles Echtzeitabbild geschaffen. Damit gelingt ein effizienter und automatisierter Datenaustausch zwischen den verschiedenen Systemen einer Anlage und den ausführenden Maschinen und Apparaten.

Zusätzlich unterstützen diverse Tools die Mitarbeiter bei der Prozessanalyse. Die Energy Plattform hilft bei einer intelligenten Energiesteuerung der Prozesse und überwacht diese gleichzeitig, sodass fehlerbedingte Schwankungen oder Abweichungen zeitnah bemerkt werden. Wartungsarbeiten können mit dem „Remote Service Manager“ effektiv und gegebenenfalls auch sicher per Fernwartung durchgeführt werden. Den Anlagenfahrern dient ein IoT Gateway als sichere Schnittstelle zwischen den verschiedenen Steuerungsplattformen und den betriebenen Maschinen. Für die Logistik bietet Bosch einen „Transport Data Logger“ an. Mit Hilfe dessen wird die Logistik transparent für alle Beteiligten. Produktinformationen sind über mobile Endgeräte aus diesem Logger jederzeit abrufbar.

Zudem kann mittels „Track and Trace“ die weltweite Position bestimmt werden. Der Kunde weiß somit jederzeit wo sich seine Lieferung befindet. Für das große Industrie 4.0-Gebiet der Assistenzsysteme hat Bosch einen Assistenzroboter APAS entwickelt. Von diesem kann je nach Produktionsschritt eine andere Klasse eingesetzt werden beispielsweise zur Überwachung der Vorgänge, dem ausführen monotoner Arbeiten oder der Prüfung von Zwischen- und Endprodukten.

Zusätzlich wird dadurch die Sicherheit der Mitarbeiter erhöht und die körperliche Belastung auf Grund monotoner oder schwerer Arbeiten geht zurück. Zum gefahrenlosen Umgang mit APAS ist dieses mit einem Sensornetz ausgestattet, sodass die Tätigkeit gestoppt wird, sollte ein Mitarbeiter zu nah an den Roboter kommen. In die Fertigung kann dieses System durch eine modulare Bauweise mit wenig Aufwand integriert werden. ^[64] ^[65] ^[66]

Ein weiteres Beispiel für die Arbeit von Bosch für eine Industrie 4.0 ist der intelligente Akkuschauber Nexo. Dieser wurde ebenfalls von der Tochterfirma Bosch Rexroth entwickelt und enthält diverse Technologien die Grundvoraussetzung für Industrie 4.0 sind. Durch ein integriertes WiFi ist eine direkte Kommunikation mit den Sensoren und den verschiedenen Unterstützungssystemen möglich. Ein Barcodescanner kann schnell alle notwendigen Daten für das zu bearbeitenden Bauteil abrufen. Die Verarbeitung ist durch intelligente Hardware gegeben. Dadurch kann das Gerät die sonst vom Monteur einzustellenden Parameter wie zum Beispiel Drehmoment oder Drehwinkel selbstständig einstellen. Zur Überwachung und Informationsausgabe dient ein integriertes Display. ^[67]

Im Vergleich zu einem handelsüblichen Akkuschauber können so Bedienfehler reduziert werden. Zudem müssen notwendige Parameter wie zum Beispiel das Drehmoment nicht erst aus den Unterlagen der entsprechenden Schraubverbindung herausgesucht werden, da der Nexo diese Informationen selbstständig aus dem Netzwerk erhält. Müssen bei herkömmlichen Akkuschaubern alle Tätigkeiten aufwändig dokumentiert werden, erledigt der Nexo dies vollautomatisch und lädt die Daten auf die entsprechende Plattform. So ist eine direkte Erfassung der Abweichungen und Fortschritte möglich.

Zur Veranschaulichung ist nachfolgend eine Abbildung des Akkuschaubers dargestellt. Dabei sind die Varianten mit Mittelgriff und als Winkelschauber zu sehen.



Abbildung 4: Der intelligenteste Handschrauber der Welt [Quelle: Bosch]

2.4.3 SAP SE

Die SAP SE ist ein deutsches Software-Unternehmen und zählt in dieser Branche zu den weltweit größten. Daher spielt das Thema Industrie 4.0 auch für den Konzern eine wichtige Rolle in Bezug auf Kunden aus der internationalen Industrie.

Dafür hat die SAP SE ein umfangreiches Programm entwickelt. Dieses besitzt zudem Schnittstellen zu anderen Diensten je nach Anforderung. Unter dem Namen SAP S/4 HANA ^[68] ^[69] wurde die Suite veröffentlicht. Darin wird ein ERP-System und die Möglichkeit zur Echtzeit-Abbildung der ablaufenden Prozesse vereint. Als Grundlage dient die Plattform SAP HANA. Zusätzlich kann das gesamte System cloudbasiert eingesetzt werden, sodass die Komplexität stark reduziert wird. Das System implementiert ein Security Monitoring Center, sodass jegliche Gefahren wie zum Beispiel Schwachstellen in der IT oder Brände sofort registriert werden. Dabei wird die Überwachung der Suite an SAP ausgelagert, sodass für das nutzende Unternehmen kein zusätzlicher Aufwand entsteht.

Hinzukommen können private und öffentliche Clouds, sowie mobile Anwendungen, die mit dem System verknüpft werden. Durch die Dienste SAP Connected Manufacturing und SAP Manufacturing Execution Suite kann SAP S/4 HANA und das beinhaltete ERP direkt mit dem Einkauf verbunden werden, sodass Bestellungen automatisch je nach Bedarf und Notwendigkeit durchgeführt werden. SAP Leonardo kann ebenso hinzugefügt werden, dadurch lernt die HANA Suite automatisch aus den Big Data Services und negative Trends können automatisch erkannt und gemeldet werden.

Bestände, Aufträge und Transaktionen können mit der Suite in Echtzeit überwacht werden. Zu diesem Zweck ist eine Logistikverwaltung und eine Anwendung zum Projektmanagement integriert. Auf der nachfolgenden Abbildung ist der volle Umfang von SAP S/4 HANA dargestellt. Dabei sind die

Grundanwendungen in der Mittel dunkelblau unterlegt, hellblau unterlegt sind Erweiterungen die optional hinzugefügt werden können. In der vollständigen Suite sind zudem die oberen Elemente implementiert. Entlang der line-of-business (kurz: LoB) kann mit weiteren SAP-Produkten das System erweitert werden. [70] [71] [72]



Abbildung 5: SAP portfolio for digital business framework [Quelle: SAP SE]

2.4.4 Microsoft Corporation

Als einer der weltweit größten Soft- und Hardwarekonzerne ist Microsoft daran interessiert zum aktuellen Trend der Digitalisierung einen eigenen Beitrag zu leisten. Dazu hat das Unternehmen den umfangreichen Dienst Microsoft Azure entwickelt. Dieser ist weltweit verfügbar und soll eine Komplettlösung für den Bereich Cloud und Vernetzung darstellen. Darin enthalten sind zahlreiche Anwendungen, die für eine Digitalisierung notwendig sind. Ebenso können eigene Anwendungen je nach Anforderung entwickelt und verwaltet werden.

Azure verbindet Cloud-Computing und die Nutzung lokaler Anwendungen und sorgt für einen konsistenten Datenfluss und deren Verfügbarkeit. Dabei ist die Nutzung nicht nur auf Windows beschränkt und auch mobile Anwendungen können eingebunden werden. Als Benutzeroberfläche

dient ein individuell mit Panels anpassbares Dashboard. Dort sind alle gewünschten Daten in Echtzeit abbildbar. Viele Datenbanken anderer Microsoft-Produkte und externer Anbieter, wie zum Beispiel von Oracle können in Azure eingebunden werden. Zudem bietet Azure Tools zur Analyse von Big Data und kann dadurch selbstständig lernen. Durch die Einbindung in das gesamte System eines Unternehmens können die Sensoren, Apparate und anderen Geräte intelligent verknüpft werden, sodass ein IoT im nutzenden Betrieb entsteht. ^[73] ^[74]

3 Industrietrends

Wie soll die Produktion und andere inner- und außerbetriebliche Abläufe verändert werden und welche Veränderungen sind in verschiedenen Branchen gewünscht. Wo sind gemeinsame Ansatzpunkte und weitreichende Trends der verschiedenen Industrieunternehmen, Verbände oder Zulieferer. Welche Besonderheiten gelten dabei für die Prozessindustrie. Darauf soll nachfolgend näher eingegangen werden.

Die Anforderungen in der Prozessindustrie sind extrem vielfältig. Einige Produkte werden synthetisiert, andere wiederum werden lediglich aus Mischprozessen gewonnen. Die Aufarbeitung von solchen Produkten ist in jedem Fall aufwändig und durch zahlreiche Regularien und Vorschriften geregelt. Ein grundlegendes Prozessschema lässt sich daher nur schwer darlegen. Zwei beispielhafte Darstellungen sind nachfolgend dargestellt. Die Abbildung 4 zeigt den Prozess einer Aminwäsche. Der Prozess folgt dem Prinzip einer Kreuzstromextraktion. Das Fließbild ist übersichtlich und beinhaltet wenige Schritte. Im Gegensatz dazu steht das Verfahrensschema aus Abbildung 5. Dieses beinhaltet wesentlich mehr Prozessschritte. Dargestellt ist das Verfahren zur Hochdruckpolymerisation von Ethen zu Polyethylen. Die Komplexität und die Vielzahl unterschiedlicher Arbeitsschritte wird im Vergleich dieser beiden Schemata deutlich.

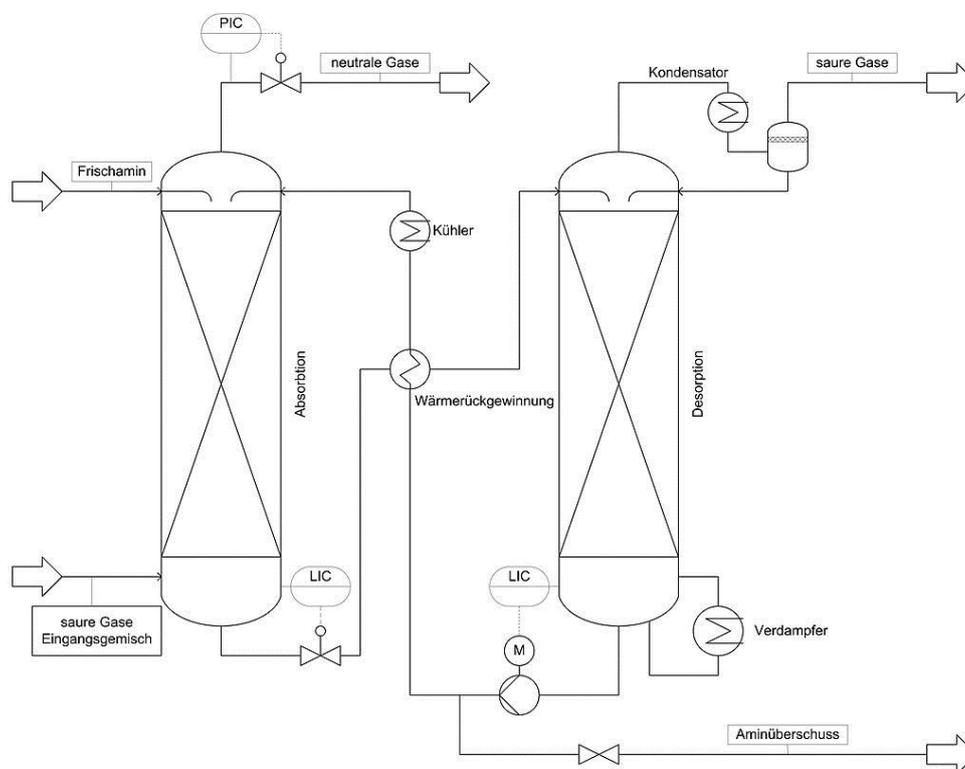


Abbildung 6: Verfahrensfliesschema der Aminwäsche [Quelle: Philip1307]

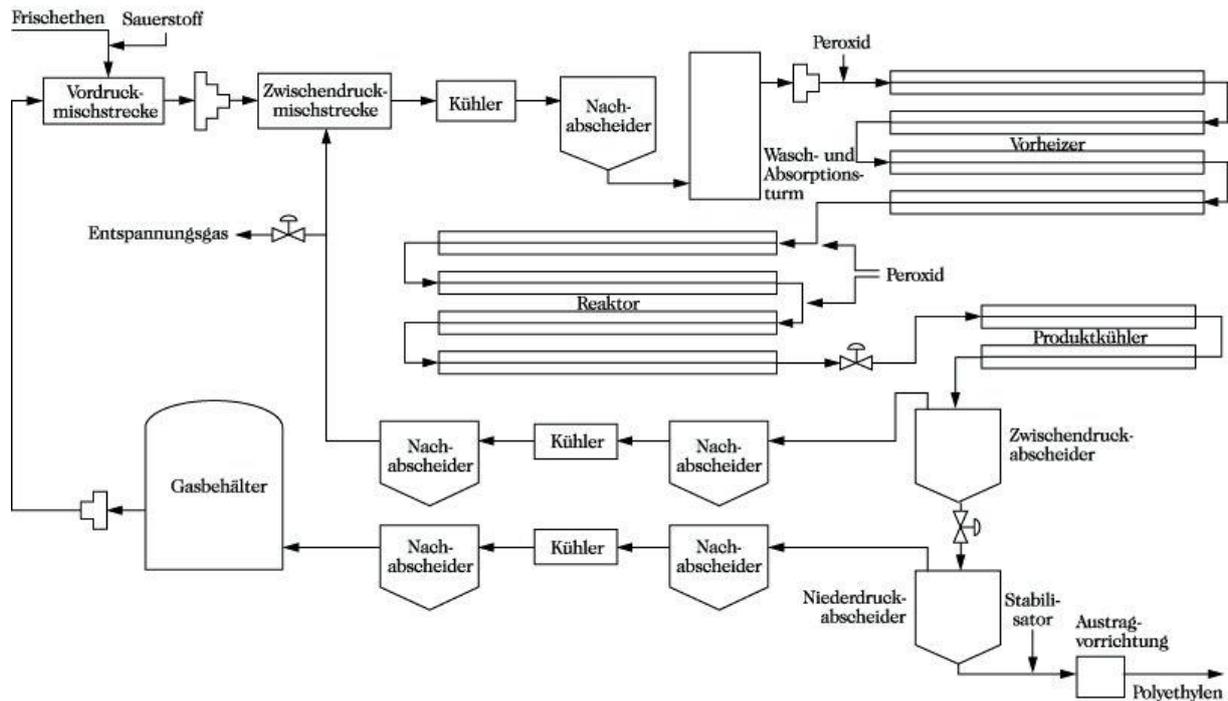


Abbildung 7: Verfahrensschema zur Herstellung von Hochdruckpolyethylen nach dem Rohrreaktorprinzip [Quelle: Spektrum.de]

Eine einheitliche Basis zu finden scheint daher schwer. Digitale Technologien zu integrieren und Systeme intelligent zu verknüpfen erweist sich von Fall zu Fall völlig unterschiedlich umsetzbar. Dennoch sind die Vorteile klar ersichtlich. Das Problem ist offensichtlich nur die Umsetzung.

Die Technologien die neu integriert werden sollen sind dabei ebenso vielfältig wie die Prozesse. Nachfolgend sollen die wichtigsten aufgezeigt werden. Einer der Haupttrends ist das Industrial Internet of Things. Dadurch sollen zahlreiche neue Erkenntnisse gewonnen, sowie Prozesse und Verfahren optimiert und an neue Gegebenheiten angepasst werden. Dabei dient das IoT als System zur Datenverknüpfung und verbindet die verschiedenen Unternehmensbereiche, Maschinen und Apparate. Vor allem die Technologieanbieter sehen darin eine der Grundlagen der Digitalisierung.

Alle Interessenvertreter wollen eine weitreichende Automatisierung interner Unternehmensabläufe, der Entscheidungsfindungen und der vollständigen Prozessstrecken. Dies soll diese resistenter gegen Bedienfehler und äußere Einflüsse machen. Zudem kann durch die schnelleren Entscheidungen und Datenübermittlungen die Effektivität und Effizienz der gesamten Wertschöpfung optimiert werden. Unterstützend sollen schrittweise Assistenzsysteme implementiert werden. Dies kann in Form von Robotik oder künstlicher Intelligenz geschehen.

Steuerungen erhalten durch Mikrochips und Prozessoren die Möglichkeit einer autonomen Regelung und erleichtern somit den Mitarbeitern die Prozesssteuerung. Bosch Rexroth hat dies in ihrem Werk in Homburg in die Praxis umgesetzt. Nach eigenen Angaben konnte die Prozessleistung um 10%

gesteigert und zusätzlich die Lagerhaltung um beinahe ein Drittel gesenkt werden. Eine weitreichende Vernetzung kann somit einen guten Beitrag zur Einsparung von Kosten liefern. ^[75]

Assistenzroboter werden vor allem von Verbänden gefordert, um die Arbeitsqualität des Anlagenpersonals zu verbessern. Zusätzlich können so schwere und monotone Aufgaben leichter durchgeführt werden. Dies begrüßen die Unternehmen. Umgesetzt wird dies beispielsweise seit Jahren in der Automobilindustrie am Fließband. Aber auch Arbeitsplätze sollen mit Robotik individuell ausgestattet werden. Technologielieferanten arbeiten bereits an mobilen Lösungen.

Ein vom BMBF gefördertes Projekt unter dem Titel „Entwicklung eines selbstnavigierenden, sensitiven und ergonomischen Industriebodens“ ^[76] zielte darauf ab, den Hallenboden zur Navigation zu nutzen. Ergebnisse dazu sind jedoch noch nicht verfügbar. Überlegung der Projektgruppe war es, den Boden mit Sensorik und RFID-Tags auszustatten, sodass zum Beispiel jederzeit eine Positionsbestimmung möglich ist.

Ein weiteres Beispiel ^[77] ist ein Pilotprojekt von Bosch Rexroth in Zusammenarbeit mit Firmen des US-amerikanischen IIC. Dies ist ein Wirtschaftszusammenschluss ähnlich der deutschen Plattform Industrie 4.0. Dabei soll die Möglichkeit zum Track and Trace von Objekten in Montagehalle verbessert werden. Bosch Rexroth liefert dabei seinen Akkuschauber Nexo, der als Testobjekt fungiert. Das intelligente Gerät sammelt und speichert sämtliche Daten aus der Nutzung des Akkuschaubers. Diese werden kontinuierlich per Funk in das zugrundeliegende IoT gesendet. Dafür stellt Bosch Software Innovations die Bosch IoT Suite zur Verfügung. Dort werden die Daten verarbeitet und aufbereitet.

Zur Vernetzung der zahlreichen Sensoren und anderen Geräte untereinander trägt die Firma National Instruments bei. Zusätzlich hat das Unternehmen Tech Mahindra eine entsprechende Anwendung entwickelt, welche die gewonnenen Daten verarbeiten kann und in der IoT Suite agiert. Das Technologieunternehmen Cisco Systems wertet die Funksignale des Akkuschaubers Nexo aus und sorgt so für eine Positionsbestimmung. Dabei wurden bereits erste Erfolge in diesem Projekt erzielt. Die Position von Akkuschaubern konnte innerhalb der Halle sehr genau bestimmt werden. Zudem wählten die intelligenten Akkuschauber automatisch anhand der erkannten Aufgabe die entsprechenden notwendigen Einstellungen selbstständig aus. Bedienfehler durch Unachtsamkeit können so gerade bei monotonen und wiederkehrenden Arbeiten stark verringert werden. Zusätzlich kann das System dank der offenen Standards die verwendet wurden leicht angepasst und an andere Geräte adaptiert werden.

Durch die Entwicklung einer noch besseren und schnelleren Analytik von Stoffen und Daten kann das Level der Forschung und Qualitätssicherung auf eine neue Stufe gehoben werden. Auf Grund dieser

Steigerung profitieren auch die Kunden von den Neuerungen. Unternehmen erhoffen sich daraus die Erschließung neuer Märkte, begründet durch die Entwicklung von Nischenprodukten und der Verbesserung der bestehenden Produktionspalette. In der Branche herrscht Einigkeit darüber die Produkte deutscher Unternehmen international auf einem hohen Niveau halten zu müssen. Dazu sind stetige Verbesserungen erforderlich.

Die Verbände fordern zudem von der Industrie eine aktivere Beteiligung an internationalen Bestrebungen zur Industrie 4.0 und zu einheitlichen Standards. Vor allem die Prozessindustrie ist stark an die internationale Wirtschaft gekoppelt, durch Partnerschaften und Verträge sind Zielstellungen zu erfüllen. Grundlage dafür müssen jedoch an die aktuelle Situation angepasste Verträge sein, in denen auch die Digitalisierung eine Rolle spielt. Fortschritt ist nur möglich, wenn alle Beteiligten mitarbeiten, ansonsten können die Unternehmen keine Erfolge erzielen.

In jedem Unternehmen treten betriebsbedingt Datenmengen auf. Gerade in der Prozessindustrie können diese Datenmengen extrem umfangreich und vielfältig sein. In Prozessen werden sekundlich Daten gewonnen und gespeichert, genutzt werden diese dahingehend zu einem nur geringen Anteil. Dabei kann es entscheidende Vorteile bringen größere Mengen Daten intelligent zu verknüpfen. Die Branche erkennt, dass aus der großen Menge Daten viele Erkenntnisse zu Prozessen und Fehlerquellen gewonnen werden können. Ein Beispiel ist die Vorhersage bestimmter Ereignisse, wie zum Beispiel von Maschinenausfällen oder ungewollten Prozessparameteränderungen. Ist der ungefähre Zeitpunkt solcher Ausfälle bekannt können Wartungs- oder Instandhaltungsmaßnahmen besser in den täglichen Produktionsprozess eingebunden werden. Ungewollte Stillstände und somit auch Produktionsausfälle kann die Branche damit verringern. Dabei treiben sowohl Verbände, als auch die Unternehmen selbst die Fortschritte in der umfangreichen Datenauswertung voran.

Ein weiterer Vorteil in diesem Bereich der Big Data ist eine Dezentralisierung der Datenverarbeitung. Die Verbände versuchen die enormen Vorteile zu vermitteln, welche diese bietet. Unternehmen fürchten jedoch um die Datensicherheit und äußere Einflüsse. Eine dezentrale Verarbeitung der Daten, wenn möglich direkt vor Ort im Sensor, der die Daten aufnimmt, spart dahingegen enorme Rechenkapazitäten und es genügen weniger leistungsfähige Rechner als dies derzeit der Fall ist. Dadurch kann die Industrie hohe Investitions- und Betriebskosten einsparen. Zudem erleichtert ein vorverarbeiteter und gefilterter Datenfluss die Auswertung für die Mitarbeiter und den Umgang mit den gewonnenen Daten.

Zur außerbetrieblichen Vernetzung können gemeinsame digitale Plattformen dienen. Dies können zum Beispiel Cloud-Anwendungen oder Foren, mit anderen Partnern entlang der Produkt- und Wertschöpfungskette sein. Dort ist ein intensiver Daten- und Informationsaustausch möglich. Diese

neue Tiefe der Kooperation führt auf allen Seiten zu einer Verbesserung der Bedarfsabdeckung und der Entwicklung neuer Geschäftsfelder durch bessere Serviceleistungen. Auf individuelle Ansprüche und Forderungen kann besser und schneller eingegangen werden und so steigt auch die Bindung zwischen Lieferant und Kunde. Eine wichtige Rolle kann dies nach Ansicht der Verbände auch in der Prozessindustrie spielen. Wird zum einen nach Bedarf produziert und werden zum anderen immer kleineren Chargen gefordert, können kostenintensive Lagerhaltungskosten verringert werden. Weniger Produktlager senken zudem das Gefahrenpotenzial, welches häufig von großen Chemikalienlagern ausgeht. ^{[78] [79] [80] [81]}

Für diesen Austausch über die Betriebsgrenzen hinweg ist jedoch ein einheitliches Datenformat, sowie transparente Vorgänge notwendig. Zudem spielt gegenseitiges Vertrauen eine immense Rolle. Daher sind die Unternehmen aufgefordert aktiv an die Veränderung heranzugehen und diese nach ihren Vorstellungen mitzugestalten. Wichtig ist nach Ansicht der Verbände dabei auch die Festlegung von Rahmenbedingungen für den internationalen Austausch und der Unterstützung durch die Politik.

Ein weiteres wichtiges Thema für die Branche ist die verstärkte Nutzung und Implementierung von Virtual Reality und Augmented Reality. Dies wird bereits von großen Unternehmen und diversen Verbänden vorangetrieben und bestärkt. Vorteil ist die Unterstützung der Mitarbeiter bei der täglichen Arbeit, wie beispielsweise Wartungen. Durch diese Hilfe werden Fehler minimiert und die Tätigkeiten können schneller durchgeführt werden. Zudem kann Virtual Reality unterstützen das Personal der Prozessindustrie am Computer zu schulen und Gefahrensituationen und das richtige Verhalten dabei zu testen. Das Risiko der Angestellten wird auf diese Weise zum einen durch bessere Kenntnisse der Anlage und ihrer Prozesse und zum anderen durch weniger Aufenthalte in gefährlichen Bereichen verringert. Die Unternehmen sehen aber auch Kosteneinsparungen durch kürzere Reparaturzeiten und eine effizientere Instandhaltung.

Eine erste Praxisanwendung zur Augmented Reality wurde bereits im September 2016 von der thyssenkrupp AG umgesetzt. Mit Hilfe der Microsoft HoloLens kann der Servicetechniker seine Reparaturen und Instandhaltungen von Aufzügen gezielter und schneller durchführen. Durch die Augmented Reality Technologie werden dem Techniker alle notwendigen Informationen zum betrachteten Objekt, wie zum Beispiel dem Motor, angezeigt und er kann sich vor Ort und ohne zeitintensives Belesen in diversen Handbüchern alles Notwendige hinzuziehen. Bei Problemen kann er zudem jederzeit über die Brille eine Videotelefonie starten und einen Experten oder eine weitere helfende Person hinzuziehen, die durch der AR-Brille die gleiche Sicht wie der Techniker hat. So können Aufgaben schneller und gezielter ausgeführt werden.

4 Lösungsansätze zur Industrie 4.0 in der Prozessindustrie

Nachdem die zahlreichen Technologien und Veränderungen klar sind, damit eine Industrie 4.0-Fähigkeit erlangt werden kann, muss geklärt werden, wie eine Umsetzung möglich ist. Wichtig ist, dass ein ganzheitlicher Ansatz angegangen wird. Dabei beginnt die Digitalisierung bereits im Basic Engineering und endet erst bei der Demontage und dem Recycling der Altanlage. Die zahlreichen Neuerungen gilt es hierbei zu priorisieren und zu bewerten. Dies betrifft zum einen den aktuellen Umsetzungsgrad und zum anderen die mittel- und langfristige Sicht auf die Veränderungen.

Als die grundlegendsten und umfangreichsten Technologien und Veränderungen werden vor allem der digitale Zwilling, eine vollständige Automatisierung, Assistenzsysteme, wie zum Beispiel Roboter, die Einbindung von VR und AR-Technologien und die Vernetzung mittels Cloud-Lösungen, Plattformen und innerbetrieblichen IoT-Lösungen. Diese sollen nun bewertet und die Umsetzungsmöglichkeit eingeschätzt werden. Dabei wird zwischen der Prozessindustrie im speziellen und der allgemeinen Wirtschaft, welche beispielsweise auch die Logistikbranche oder den Maschinen- und Fahrzeugbau umfasst, unterschieden.

Das wohl umfangreichste dieser Themen ist der digitale Zwilling. Dieser vereint und beinhaltet viele der anderen Schwerpunkte, wie beispielsweise die VR oder eine ganzheitliche Vernetzung innerhalb der Unternehmen. Entsprechende Software für die Implementierung eines digitalen Zwillings wird bereits von einigen wenigen Technologieunternehmen angeboten. Fragwürdig ist jedoch die Massentauglichkeit, da dieses Angebot speziell auf die Prozessindustrie zugeschnitten ist. Siemens hat ein Programm entwickelt, welches vielversprechende Ergebnisse liefert. Einige Praxispartner nutzen dieses bereits. Ob es auch für KMU geeignet ist, ist zu bezweifeln, da der Kosten-Nutzen-Effekt nicht abgeschätzt werden kann und das ROI somit nicht bestimmt werden kann. Die Einbringung in bereits bestehende Anlagen gestaltet sich schwierig, da ein genaues Abbild aller Bestandteile und Abläufe notwendig ist. Dieses liegt häufig nur unvollständig oder in nach Abteilungen getrennten Ausführungen vor.

Ein digitaler Zwilling bietet zudem nur in der Prozessindustrie Vorteile, in anderen Branchen dürfte das Potenzial eher gering sein, sodass eine Einführung nicht lohnenswert erscheint. Die Marktreife und eine industrieweite Einführung des digitalen Zwillings sind eher mittelfristig umsetzbar. Zunächst gilt es eine einheitliche Lösung zu entwickeln und diese auch für mittelständische Unternehmen attraktiv zu machen. Großen Konzernen nützt eine vollständige Digitalisierung wenig, wenn die Partner in den Lieferketten diese Technologie nicht anwenden können und daraus keine Vorteile generiert werden.

Bevor ein digitaler Zwilling etabliert werden kann, ist ein einheitlicher Standard in den verschiedenen Datenstrukturen notwendig. Hier setzt DEXPI einen guten Ansatz, wichtig ist allerdings auch KMU mit einzubeziehen, da diese in der Regel nicht das Kapital besitzen um kurzfristig interne Software-Umstrukturierungen vorzunehmen. Hierbei müssen Kooperationen geschlossen werden. Findet eine Investitionsteilung zwischen mehreren Unternehmen statt, sollte ein guter Fortschritt möglich sein. Zudem muss die Politik unterstützend wirken und gezielt fördern, um die Wirtschaft international auf dem hohen Niveau zu halten, auf dem diese derzeit noch ist.

Ein wichtiger Aspekt der Industrie 4.0 sind Assistenzsysteme durch Einbindung von Robotik und Automatisierung in die verschiedenen Prozesse. Dieses Gebiet bietet enormes Potenzial, welches zum Beispiel im Maschinenbau und vor allem in der Automobilindustrie bereits breitflächig und mit hoher Effizienz eingesetzt wird. In der Prozessindustrie hingegen ist eine Automatisierung lediglich in den Prozessleitsystemen und den damit verbundenen Maschinen vorhanden. Änderungen in der Produktion und den Abläufen müssen vom Betriebspersonal eingestellt werden.

Bedienfehler und ungewollte Prozessbedingungen erzeugen viel personellen Aufwand. Hier die Prozesse mit allen Sensoren und Apparaten zu vernetzen und die Steuerung teilweise autonom zu gestalten sollte die Arbeit für die Belegschaft enorm erleichtern. Zudem können durch weniger Eingriffe in das System auch weniger Bedienfehler entstehen. Häufig müssen derzeit Zusatzstoffe manuell in Behälter gefüllt werden, dort könnte für Robotik ein vorteilhafter Einsatzbereich sein. Für die Mitarbeiter verringert sich die Gefahr eine Verletzung zuzuziehen und die Genauigkeit, welche Roboter erreichen ist wesentlich höher als ein Mensch manuell dosieren kann.

Die Themen Augmented und Virtual Reality spielen eine große Rolle in der Industrie. Vor allem die Bereiche Instandhaltung und Training sollen dadurch enorm profitieren. Die Virtual Reality ist derzeit bereits weit entwickelt. Gerade im Bauwesen und der Unterhaltungsbranche gibt es viele Anwendungen. Eine Einbringung in die Industrie erscheint daher wichtig und sinnvoll. Werden die Mitarbeiter im Vorfeld an der virtuellen Anlage geschult, vermeidet dies spätere Bedienfehler und Panikreaktionen bei ungewünschten Zwischenfällen. Zudem können die Angestellten die Anlage besser kennenlernen ohne das Gefahrenrisiko zu erhöhen. Lediglich in die digitalen Arbeitsplätze und entsprechenden Programme muss entsprechend investiert werden. Diese Ausgaben stehen aber in keinem Verhältnis zum Nutzen. Weniger Bedienfehler und eine bessere Kenntnis der Anlage sollte die Anzahl der ungeplanten Stillstände und unerwünschter Vorgänge deutlich verringern.

Ähnlich verhält sich dies bei der Augmented Reality. Diese ist im Planungssektor und bei Unterhaltungsmedien bereits stark implementiert. Kann dies auf die Prozessindustrie erweitert werden, können Arbeiten beschleunigt und erleichtert durchgeführt werden. Ein Beispiel dafür ist die

bereits im Punkt 3 erwähnte Nutzung einer AR-Brille zur Aufzugswartung. Dies sollte auch für Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben in der Industrie eingesetzt werden. Zum einen verringert sich die Gefahr, dass der Techniker einen Fehler macht, da eine Live-Anleitung stattfindet. Zum anderen kann unnötige Papierarbeit und das Heraussuchen von Akten, Bedienanleitungen und ähnlichem vermieden werden. Bei Nachfragen kann direkt der entsprechende Profi herangezogen werden, ohne dass lange Laufwege oder das funken mittels Walkie-Talkie notwendig sind. So sollten die Arbeiten wesentlich effizienter gestaltet werden können. Alle notwendigen Informationen hätte der Techniker direkt vor Ort und erhält zudem technische Unterstützung durch das Assistenzsystem. Verwechslungen können ausgeschlossen werden, da die Brille erkennt wo die Arbeit stattfinden soll.

Der Nutzen dieser beiden Technologien ist offensichtlich hoch. Nicht nur, dass die Mitarbeiter weniger Gefahren ausgesetzt sind und effektiver arbeiten können. Zusätzlich kann Papierarbeit und unnötige Zeit für das Suchen von unterlagen stark reduziert werden. Dies lässt mehr Raum für wichtige Arbeiten und eine ordnungsgemäße Anlagenüberwachung.

Ein weiteres wichtiges Themengebiet das die Industrie angehen sollte ist die Vernetzung. Diese muss sowohl innerbetrieblich, als auch über die Unternehmensgrenzen hinweg geschehen. Dafür müssen derzeit noch nicht ausreichend vorhandene Sicherheitsbedingungen und entsprechende Verträge geschaffen werden. Zudem müssen die Unternehmen den Willen entwickeln und Hemmnisse überwinden, die derzeit noch zu einem Zögern führt. Findet diese Vernetzung statt können unnötige Laufwege und Wartezeiten stark reduziert werden, da die entsprechende Stelle die Information sofort erhält. Eine solche innerbetriebliche Vernetzung ist derzeit bereits häufig vorhanden und der Erfolg ist spürbar. Daher sollten auch kleine Betriebe dies umsetzen. Entsprechende Programme existieren von zahlreichen Anbietern.

Eine Vernetzung mit anderen Unternehmen stärkt zudem die Kooperation und kann zu neuen gemeinsamen Errungenschaften führen. Diese Zusammenarbeit kann auch über gemeinsame Plattformen geschehen. So können sich alle Beteiligten einer Wertschöpfungskette effektiv und schnell verknüpfen. Aufträge werden auf diese Weise wesentlich effizienter durchgeführt. Jeder hätte jederzeit alle für ihn notwendigen Daten verfügbar. Solche Kontraktoren-Portale existieren bereits stellenweise. Setzt sich dies flächendeckend durch, erleichtert dies für die Auftragnehmer die Arbeit wesentlich. Entscheidend dafür sind allerdings einheitliche Standards in den Datenformaten oder eine vollständige Nutzbarkeit der Programme unabhängig vom vorhandenen Datenformat.

Hinzukommt ein IoT, welches die Unternehmen der Prozessindustrie einführen sollten. Von größeren Softwareunternehmen gibt es dazu bereits fertige Endlösungen. Diese können sich jedoch die wenigsten KMU leisten, sodass die Programme zunächst in der Breite etabliert werden müssen. Zudem

muss eine bedarfsgerechte und bezahlbare Variante entwickelt werden. Entscheidend für ein nutzbares IoT ist, dass eine entsprechende Vernetzung vorhanden ist. Gelingt diese Vernetzung von Mensch und Maschine in den Anlagen kann durch den wesentlich effektiveren Daten- und Informationsfluss die Arbeit beschleunigt und erleichtert werden. Diese umfangreiche Vernetzung birgt natürlich Gefahren, welche durch entsprechende Sicherheitsmaßnahmen seitens der IT verhindert werden müssen. Die Zeitersparnisse und daraus resultierende Steigerungen im Umsatz sollten diese Ausgaben jedoch deutlich übertreffen.

Abschließend ist zu einer Vernetzung ein entsprechend flexibler Speicherort notwendig. Zentrale Server oder Großrechner sind teuer und benötigen entsprechendes Personal für Sicherheit und Wartung. Eine gute Alternative ist daher das Cloud-Computing. Dort existieren zahlreiche Lösungen für private Clouds, gemeinsame Lösungen mit Kooperationspartnern oder für Chemieparcs. Das entsprechende Know-How und die Verantwortung liegt zudem nicht bei den Unternehmen der Prozessindustrie, sondern beim entsprechenden Technologiepartner. Dies spart Aufwand und sorgt für eine gewisse Absicherung, da sich diese Firmen auf die IT spezialisiert haben und kein zusätzliches Personal oder weitere Schulungen notwendig sind. Die Kosten für ein Outsourcen der Datenspeicherung in Clouds ist zudem wesentlich kostengünstiger, als die Anschaffung von entsprechenden Mengen Speicherkapazität und Rechenleistung. In der Industrie sollte dieser Schritt, weg von lokalen Speichern und hin zu Cloud-Lösungen, demnach gegangen werden.

Hinzukommt das wichtige Thema Big Data. Diese Unmengen Daten müssen genutzt werden. Dies ist nur möglich, wenn die Sensoren diese bereits vorverarbeiten und das System Daten zusammenführt. Eine entsprechende Analyse und Aufarbeitung muss gewährleistet sein. Dazu sind Programme auf dem Markt und große Unternehmen wenden dies bereits gewinnbringend an. Aus der Auswertung durch maschinelles Lernen und das Betriebspersonal können Rückschlüssen getroffen werden. So ist eine Steigerung der Leistung der Prozesse und Anlagen möglich. Eine Überforderung bei nicht ausreichender Vorverarbeitung durch das System ist schnell denkbar. Daher ist ein ausgereiftes und an die jeweiligen Gegebenheiten angepasstes Netzwerk und System grundlegend. Wird dies von der Industrie umgesetzt stellt sich ein positiver Trend ein. Ausschuss, Kosten für Abfallprodukte oder Umweltauflagen können gesenkt werden. Zudem kann Qualität und Quantität erhöht werden.

5 Industrie 4.0 im Anlagen-Lebenszyklus

Der Lebenszyklus einer Anlage ist weitreichend und vielfältig. Beginnend bei der reinen Idee, über ein Grundkonzept, wird im Planungsprozess das Basic Engineering und anschließend das Detail Engineering durchgeführt. Dabei werden alle grundlegenden Eigenschaften, wie zum Beispiel die notwendige Anlagenkapazität, die benötigte Fläche oder der Standort genau festgelegt. Dabei sollten bereits digitale Technologien genutzt und eingeplant werden. Ohne diesen wichtigen Grundstein, wird eine Industrie 4.0-Fähigkeit stark erschwert.

Noch während der Planungsphase beginnt der Anlagenbau, da sich die Phasen zur Zeiteinsparung überschneiden können. Im Projektmanagement sollte dies alles bereits von Anfang an bedacht werden. Dafür sind heutzutage zahlreiche Programme vorhanden. Unterstützt wird dies durch CAD-Programme und virtuelle Technologien, welche eine Grundlage für die Industrie 4.0 schaffen. Dort werden wichtige Informationen und Modelle erstellt, mit Hilfe derer der spätere Anlagenbetrieb effektiver gestaltet werden kann. Dabei ist zu beachten, dass eine einheitliche Datengrundlage geschaffen wird. Durch Funktechnologien und Cloud-Services können die Arbeiten der beteiligten Unternehmen am Bau der Anlage intelligent verknüpft und effizienter gestaltet werden.

Digitale Technologien und gemeinsame Plattformen für alle Beteiligten finden hier den Grundstein. Die verschiedenen Baufirmen können durch ein gemeinsames Portal ihre jeweils benötigten Informationen austauschen und erhalten. Zudem können die Arbeitsabläufe besser koordiniert und zeitlich aufeinander abgestimmt werden. Die Fortschritte werden dort hinterlegt, sodass der aktuelle Stand in Echtzeit verfügbar ist. Ebenso verhält sich dies mit einem einheitlichen Datenmodell. Jede Änderung eines Beteiligten der entsprechenden Gewerke wirkt sich augenblicklich auf das gesamte Modell aus. Auf diese Weise hat jeder Zugriff auf die aktuellste Version und Verwechslungen durch unterschiedliche Modellversionen werden vermieden.

Diese weitreichende Kooperation durch ein einheitliches Modell wird auch BIM (Building Information Modelling) genannt und findet bereits auf großen Baustellen Anwendung. Dabei ist zu beachten, dass zwar die unproduktive Zeit stark reduziert wird. Der Anspruch an die Planung und die Beteiligung aller Gewerke ist jedoch hoch. Dies wird vor allem dadurch verursacht, dass alle das oder die entsprechenden Programme und einen eigenen Zugang zur Cloud oder der Plattform benötigen. Ein besserer Umsatz lässt sich daher aktuell nur auf größeren Baustellen oder bei generellem Vorhandensein der Programme erzielen. Vorteilhaft daran ist, dass Pläne nicht mehr aufwändig besprochen und ausgebreitet werden müssen.

Mit mobilen Endgeräten soll bereits an dieser Stelle die Baustelle vernetzt werden. Darauf lassen sich alle gewünschten Modelle abbilden und mit individuellen Anmerkungen versehen. Durch Zoom können zudem Details wesentlich besser erkannt werden, als dies auf einem ausgedruckten Plan möglich ist.

Ein weiterer Vorteil dieses virtuellen Modells ist, dass das später in der Anlage arbeitende Personal bereits vor Inbetriebnahme daran geschult werden kann. So verkürzt sich die Zeit der Einarbeitung und Störfälle können erprobt werden, bevor der Ernstfall eintritt. Verbesserungen in den geplanten Prozessen sind demnach bereits vor eigentlichem Anfahren der Anlage möglich. Vorteilhaft wäre es, wenn die entsprechenden Programme teilweise selbsterklärend wären oder die Bedienung speziell zugeschnitten und entsprechend auf das Notwendige reduziert ist.

Dieses stetig wachsende Modell, sollte die Grundlage für den späteren Anlagenbetrieb darstellen. Ist die Anlage fertiggestellt, folgt die Inbetriebnahme durch das Personal und der alltägliche Betrieb. Dabei können zahlreiche neue Technologien eingebunden werden. Zum Teil sollten diese bereits in den vorhergehenden Phasen implementiert worden sein und nun weitergehend angewandt werden. Während des Anlagenbetriebs spielen Assistenzsysteme und eine weitreichende Vernetzung eine entscheidende Rolle. Die Automatisierung der ablaufenden Prozesse und Sensoren, die alle notwendigen Daten aufnehmen, sind heutzutage bereits Standard. Problematisch ist jedoch noch die Auswertung und eine weitreichende Analyse dieser Prozessdaten.

Diese Big Data müssen besser ausgewertet werden. Außerdem sollte dies im Zusammenspiel mit dem virtuellen Modell aus der Bau- und Planungsphase geschehen. Dazu ist jedoch ein entsprechend geschultes Personal nötig. Dies kann zum einen wie bereits erwähnt vor Inbetriebnahme geschehen oder zum anderen in entsprechenden Weiterbildungen und der Ausbildung. Während die Anlage in Betrieb ist, spielt des Weiteren die kontinuierliche Nutzung der vernetzten Systeme eine Rolle. Nicht nur die Sensoren und die Messwerte, sondern alle Bereiche des Unternehmens müssen zusammen agieren. Können dazu autonome Steuerungssysteme implementiert werden, steigert dies den Umsatz. Die Zeit für Entscheidungen und Freigaben wird verkürzt und die Prozesse laufen flüssiger.

Grundlage dafür ist, dass das Unternehmen auch innerhalb der Anlage mit den anderen Bereichen vernetzt ist. Dies bereitet häufig Probleme, auf Grund von kritischen Bereichen oder notwendigen Funktechnologien. Ein aktuelles Beispiel, welches derzeit noch in der Erprobungsphase ist, ist LoRa. LoRa ist ein Funknetzwerk, welches extrem energiesparend funktioniert und daher eine lange Batterielebenszeit besitzt. Dennoch hat die Technologie eine hohe Reichweite von mehreren Kilometern. Grundlegend entsteht ein IoT durch die Vernetzung der zahlreichen Zugriffspunkte mit einem einheitlichen offenen Standard. Dabei besteht die Möglichkeit dieses Netzwerk relativ

unkompliziert durch entsprechende Router und Trackinggeräte an den Apparaten und Bauteilen einzubinden. Derzeit existieren bereits fertige Industrielösungen von beispielsweise Bosch. Dadurch ist je nach Anwendung das Lokalisieren mittels verschiedener Funktechnologien möglich. Zudem können diese Geräte Daten direkt in das System übertragen.

Die Instandhaltung und die regelmäßige Wartung sind zum einen gesetzlich verpflichtet, zum anderen will natürlich das Unternehmen einen maximalen Gewinn erzielen und unnötige und ungeplante Stillstände vermeiden. Digitale Technologien können auch diese wichtigen Bestandteile des Lebenszyklus einer Anlage unterstützen und verbessern. Aus den intensiv analysierten Datenmengen, die während der Prozesse anfallen, können Rückschlüsse auf etwaige Fehler oder ungünstige Einstellungen geschlossen werden. So können die Aufgaben besser geplant und aufeinander abgestimmt werden. Die Zeiten, in denen Arbeiten an der Anlage stattfinden werden reduziert und die Anlage läuft konstanter.

Eine wichtige Rolle bei der Verbesserung und der zukünftigen Wartung spielen zudem VR und AR. Diese beiden Technologien helfen dem Wartungspersonal ihre Arbeit ordentlicher, zeiteffizienter und sicherer durchzuführen. Durch die Einführung solcher Technologien entstehen zwar zunächst Kosten für die Geräte und eine eventuelle Anleitung zum richtigen Umgang damit, jedoch sollten diese zeitnah ausgeglichen werden können. Dies wird bedingt durch sinkende Ausgaben für Arbeitsstunden und weniger Ausschuss durch falschen Umgang mit den Ersatzteilen.

Ein weiterer Vorteil daran ist, dass die Arbeitsfortschritte in Echtzeit durch die Geräte registriert und im System angegeben werden. Mittels mobiler Endgeräte kann das Personal entsprechende Fortschritte vermerken und genehmigen, sodass die Produktion schneller wieder fortgeführt werden kann. Hilfreich für das Personal ist die Nutzung von Barcodes oder ähnlichen Datenbankverknüpfungen anstelle von Plomben und handschriftlichen Beschriftungen. Dadurch können Apparate wesentlich schneller identifiziert werden. Verwechslungen werden so ausgeschlossen.

Im virtuellen Modell kann der Techniker sich den Standort und den richtigen Zugang zum zu wartenden Gerät aufzeigen lassen. Langwierige Suchvorgänge werden auf diese Weise minimiert. In der Instandhaltung sprechen offensichtlich viele Vorteile für die Einführung der digitalen Technologien für eine Industrie 4.0. Eine zusätzliche Rolle spielt dabei auch das Tracking von Geräten mittels verschiedenen Funktechnologien oder Scannern. Dadurch können Suchzeiten stark verkürzt und Informationen teilweise direkt hinterlegt werden.

Ist die Anlage zu veraltet und erzielt keinen gewinnbringenden Nutzen mehr folgt die Abstellung. Dabei können ebenfalls einige digitale Technologien weiter angewandt werden. Anlagen der Prozessindustrie

müssen sorgfältig heruntergefahren und abgeschaltet werden. Unterstützt kann dieser Vorgang durch das digitale Abbild werden, da dort die Auswirkungen bei Abschaltung und Demontage verschiedener Bestandteile der Anlage im Vorfeld evaluiert werden können. Mobile Endgeräte und die Hilfe von VR und AR zeigen in der Anlage, welche Teile zuerst abgeschaltet werden müssen, da nicht alle Vorgänge digital steuerbar sind.

Sind entsprechend autonome Systeme installiert ist zu beachten, dass diese abgeschaltet sind oder eine Programmierung vorliegt, die eine ungewollte Reaktion auf das Abschalten verhindert. Intelligente Systeme erleichtern den Betreibern jedoch das Abfahren der Anlage deutlich. Steht die Anlage still beginnt die Demontage. Dabei ist eine Unterstützung durch VR und AR möglich. Dadurch kann gewährleistet werden, dass alle Teile in der richtigen Reihenfolge zerlegt und entfernt werden.

Durch mobile Endgeräte und entsprechende Plattformen, ähnlich der Bauphase, können in der Demontagephase alle ablaufenden Vorgänge genauestens protokolliert werden. Geschieht dies mobil reduziert sich zum einen der zeitliche Aufwand und zum anderen verkürzen sich Wartezeiten der beteiligten Unternehmen aufeinander. Dies spart letztendlich dem Betreiber der ehemaligen Anlagen Geld bei den Demontagekosten.

Da auch Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung eine wichtige Rolle in der Prozessindustrie spielen, liegt der Fokus bei der Demontage von Altanlagen auch auf dem Recycling der Bestandteile. Diese können einer erneuten Nutzung zugeführt werden. Ist dies nicht möglich werden die Bestandteile entsprechend entsorgt oder aufbereitet. Die Möglichkeit digitale Technologien zu nutzen endet hier nicht, da auch in der Abfallwirtschaft Automatisierung, Prozesssteuerung und andere Systeme gut anwendbar und gewinnbringend sind, jedoch liegt der Fokus dieser Arbeit auf der Prozessindustrie.

Zusammenfassend werden die wichtigsten Technologien und Trends in Abbildung 8 aufgelistet und den verschiedenen Stufen des Lebenszyklus zugeordnet. Dabei wird aufgezeigt ab wann bzw. bis wann eine Nutzung möglich ist. Dabei fällt auf, dass etliche Trends und Technologien nur während des Betriebs der Anlage nutzbar sind. Die Einbindung einer Cloud ist bereits ab der ersten Phase möglich, sobald der Bau der Anlage beschlossen wurde. Diese kann anschließend durchgängig genutzt werden. Lediglich der Zugriff ändert sich vom Planungsunternehmen auf das Betreiberunternehmen.

Zudem ist ersichtlich, dass Plattformen durchgängig als Basis für die Verknüpfung der verschiedenen Gewerke bei Bau und Demontage der Anlage nutzbar sind. Dort sind alle notwendigen Informationen hinterlegt und damit kann die Übergabe der fertigen Anlage realisiert werden, ohne aufwändige Dokumentationen auf Papier weiterzugeben. Hinzukommt das digitale Modell in der Planungsphase. Dort wird dieses beim BIM erstellt und stetig erweitert. Anschließend wird dieses Modell der Anlage

fortgeführt und als digitaler Zwilling weitergenutzt. Die Anwendungsmöglichkeiten wurden einführend in diese Arbeit und in den Kapiteln weiterführend erläutert.

Mobile Endgeräte können daran gut angebunden werden. Dies bedarf jedoch entsprechender Vernetzung oder gekoppelten Plattformen. Ist dies vorhanden, ist die Anwendungspalette vielfältig. So können die mobilen Endgeräte sowohl auf der Baustelle zur Koordination und Übersicht, als auch während des Betriebs zur Erleichterung von Datenaufnahme und Kontrolle genutzt werden.

Auffällig ist, dass die Nutzung von VR bereits frühzeitig zur Arbeitsunterstützung möglich scheint. Die Einbindung von AR bietet sich jedoch erst an, wenn die Anlage in Betrieb ist, da der Nutzen vorher eher gering ist. Eine Möglichkeit der früheren Nutzung ist lediglich für den Planer das Modell in der Außenwelt zu zeigen, anstatt dieses lediglich auf einem Computer zu präsentieren.

Die Nutzung von Trackingtechnologien ist offensichtlich nur in bestimmten Phasen einer Anlage nutzbar. Dies betrifft zum einen den Bau und zum anderen den Betrieb. Während des Baubetriebs kann mit Hilfe der Trackingtools die Übersicht über die Lage der Maschinen und Bauteile wesentlich besser gehandhabt werden. Zudem sparen die Unternehmen Zeit, die durch unnötiges Suchen verschwendet wäre. So kann auch das Problem behoben werden, dass auf Baustellen teilweise unklar ist, wo sich benötigte Baufahrzeuge befinden.

Während die Anlage anschließend in Betrieb ist können durch Trackingtechnologien die Wartungsabläufe wesentlich beschleunigt werden. Die Techniker müssen nicht lange auf Plänen nach dem zu wartenden Gerät suchen, sondern können sich die Position direkt aufzeigen lassen. Dies kann im Büro oder auf mobilen Endgeräten geschehen. Hinzukommend kann das Personal aus den Trackinggeräten je nach Modell zusätzlich Daten erhalten oder wichtige Informationen direkt vor Ort erhalten.

Anlagenphase	Notwendige Technologien für eine Industrie 4.0
Basic Engineering	Nutzung von Cloud und Plattformen zur Vernetzung
Detail Engineering	BIM (inklusive VR und digitalem Abbild) für einheitliches Datenmodell Nutzung von Cloud und Plattformen zur Vernetzung
Bau und Montage	BIM (inklusive VR und digitalem Abbild) für einheitliches Datenmodell Nutzung von Cloud und Plattformen zur Vernetzung mobile Endgeräte und Tracking für gezielteres Arbeiten und Systemanbindung
Inbetriebnahme und Übergabe	Automatisierung für reibungslosen Ablauf Nutzung von Cloud und Plattformen zur Vernetzung Digitales Abbild und VR zur Schulung und Früherkennung von Problemen
Betrieb	Assistenzsysteme und Robotik zur Arbeitserleichterung und Zeiteinsparung autonome Steuerungen und Automatisierung für reibungslose Produktion Big Data zum Erkenntnisgewinn und zur Optimierung der Abläufe Nutzung von Cloud und Plattformen zur Vernetzung Digitales Abbild zur Schulung und Übersicht Mobile Endgeräte und Tracking zur kontinuierlichen Überwachung
Instandhaltung und Wartung	AR und VR zur digitalen Unterstützung und Zeiteinsparung Digitales Abbild zur Datenübersicht und Lokalisierung mobile Endgeräte und Tracking für gezielteres Arbeiten und Systemanbindung
Außerbetriebnahme und Demontage	AR und VR zur digitalen Unterstützung und Zeiteinsparung Digitales Abbild zur Übersicht und genauen Planung Nutzung von Cloud und Plattformen zur Vernetzung

Abbildung 8: Übersicht der Lebensphasen einer Anlage und der nutzbaren digitalen Technologien [eigene Darstellung]

Abschließend soll die Industrie 4.0 an einem praktischen Beispiel verdeutlicht werden. Dabei ist das Ziel, anhand eines Flanschs aus der realen Anlage, die Möglichkeiten digitaler Technologien zu testen und einen wirtschaftlichen Nutzen daraus abzuleiten. Die geplante Kooperation mit einem Praxispartner kam jedoch nicht zustande, sodass das praktische Beispiel lediglich theoretisch betrachtet werden kann.

Flansche sind in der Prozessindustrie in großen Mengen vorhanden, da diese Apparate, Rohrleitungen und anderen Geräte miteinander verbinden. Dabei bieten sich zahlreiche Möglichkeiten einen Flansch zu digitalisieren und zusätzliche digitale Technologien zu nutzen. Dies sollte bereits bei dessen Montage beginnen. Der Flansch sollte mit einem digitalen Code versehen werden. Umsetzbar ist dies mittels Trackingtools, RFID oder eines QR-Codes. Letzteres ist allerdings durch die auftretende Verschmutzung eher ungeeignet. So kann die Position jederzeit bestimmt werden. Zudem können

notwendige Informationen zum Flansch entweder direkt auf dem Chip hinterlegt oder aus dem IoT abgerufen werden.

Wird der Flansch zusätzlich mit einer Intelligenz oder Sensoren ausgestattet, können so automatisch und direkt Informationen an das System übertragen werden. Während des Betriebes sind so direkt Rückschlüsse bei Störungen möglich. Beispielsweise könnte die Position einer Leckage anhand der Prozessdaten der Flansche eingegrenzt werden, da die Werte zwischen zwei aufeinanderfolgenden Flanschverbindungen stark variieren würden.

Die digitale Einbindung eines Flansches ist auch notwendig, um ein vollständiges digitales Abbild der Anlage zu schaffen. Dabei wird die Zeichnung bereits in der Planungs- und Bauphase erstellt. Dort ist sicherzustellen, dass der gezeichnete Flansch und der reale Flansch über entsprechende Sensorik oder andere Verknüpfungspunkte miteinander verbunden werden. So können die Bauunternehmen bei der Montage auf dem digitalen Plan jederzeit einsehen, welcher Flansch an welche Position soll. Zudem sind dort die notwendigen Informationen, wie zum Beispiel zum Anzugsmoment der Schrauben, hinterlegt.

Im Anlagenbetrieb soll nun bei notwendigen Instandhaltungsarbeiten die Position des Flansches direkt aus dem digitalen Modell herausgesucht werden können. Vor Ort kann mittels mobilem Endgerät der Flansch erkannt werden. Dadurch ist der Monteur in der Lage alle wichtigen Informationen direkt auszulesen bzw. abzurufen. Dies sollte ursprünglich in dem Praxisprojekt getestet werden. Hinzukommt eine Unterstützung durch ein AR-Gerät, wie beispielsweise die HoloLens von Microsoft. Hierdurch ist eine zusätzliche Informationsübersicht möglich und gleichzeitig hat der Arbeiter beide Hände zur Verfügung. Es werden auf diese Weise keine Zettel oder Anleitungen auf Papier mehr benötigt.

Auf der AR-Brille sollte im Praxisprojekt eine Checkliste oder entsprechende Anleitung für die zu erledigenden Aufgaben zu sehen sein. Wenn beispielsweise eine Dichtung gewechselt werden muss wären alle Schritte die notwendig sind dort zu sehen gewesen. Ein intelligenter Akkuschauber wie der Nexo von Bosch hätte dazu vom System die entsprechenden Einstellungen erhalten, sodass der Techniker theoretisch keine Fehler mehr machen könnte. Durch Pfeile oder andere Markierungen kann zudem auf das aktuell zu bearbeitende Bauteil hingewiesen werden.

6 Fazit

Abschließend soll nun ein Fazit der vorangegangenen Arbeit folgen. Dabei kann festgestellt werden, dass die Industrie bereits ein breites Spektrum an digitalen Technologien und Trends umgesetzt hat oder daran arbeitet mit diesen eine Nutzbarkeit zu erzielen. Dabei sind die Trends sehr vielfältig und betreffen alle Abschnitte des Lebenszyklus einer Anlage. Risiken und Nutzen der verschiedenen Bestrebungen konnten abgeschätzt werden. Das Ziel die Vor- und Nachteile der Trends zu analysieren konnte erfüllt werden.

Besonders vielfältig sind die Anwendungsmöglichkeiten der virtuellen Technologien in den verschiedenen Lebenszyklen. Ebenso sind Cloud-Anwendungen bereits vielfältig nutzbar. Dabei gibt es Anwendungen wie CAD-Programme bereits häufig wahlweise cloudbasiert oder lokal auf dem Computer. AR-Anwendungen und vollumfassende Programme sind derzeit noch in der Entwicklung und nicht massentauglich, dies sollte sich jedoch mittelfristig ändern.

Digitale Anwendungen und Technologien werden häufig zwiespalten betrachtet. Die Vorteile werden zwar erkannt, jedoch besteht häufig eine große Hemmschwelle zur Datenweitergabe und Kooperation mit anderen Firmen. Dieses befürchtete Risiko des Datenmissbrauchs oder äußerer Angriffe ist nicht unbegründet kann aber mit einer entsprechend ausgebauten IT leicht minimiert werden.

Dabei wurden diverse Schnittstellen und Ansatzpunkte aufgezeigt und das Thema aus mehreren Ansichten erläutert. Hierbei wurde strukturiert vorgegangen und die verschiedenen Industrie 4.0-Themen entsprechend geordnet und nähergehend erläutert.

Aus organisatorischen Gründen konnte das Praxisprojekt nicht umgesetzt werden, daher konnte die geplante Vorgehensweise nur theoretisch erläutert werden. Eine sinnvolle Abschätzung war nicht möglich, da keine fundierten Zahlen zugrunde gelegt werden konnten.

Weiterführend an diese Arbeit sollte das Thema Industrie 4.0 und die Digitalisierung kontinuierlich betrachtet und der Fortschritt der verschiedenen Bereiche beobachtet werden. Der praktische Nutzen sollte, wenn möglich, an verschiedenen Praxisprojekten erprobt werden. Des Weiteren könnte der Fokus zusätzlich auf andere Bereiche der Wirtschaft gelegt werden. So spielen etliche andere Gewerke auch für die Prozessindustrie eine wichtige Rolle, sodass die Industrie 4.0 übergreifend betrachtet werden kann.

7 Literaturquellen

- [1] Marr, B. (Juni 2016): „What Everyone Must Know About Industry 4.0“. URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#7bab50d2795f> [Stand 02.06.2017]
- [2] Parrott, Aaron / Warshaw, Lane (Mai 2017): „Industry 4.0 and the digital twin“. URL: <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html> [Stand 12.06.2017]
- [3] Scheuermann, Armin (Oktober 2015): „Industrie 4.0 in der Prozessindustrie“. URL: <http://www.chemietechnik.de/industrie-4-0-in-der-prozessindustrie/> [Stand 14.09.2017]
- [4] Schmitz, Andreas (Juni 2017): „Digital-Gipfel 2017: Was die Digitalisierung noch bremst“. URL: <https://news.sap.com/germany/digital-gipfel-2017-digitalisierung/> [Stand 14.09.2017]
- [5] Brecht, Claudio (Juni 2017): „Chemie 4.0: die Prozessindustrie erfolgreich digitalisieren“. URL: <https://news.sap.com/germany/chemie-digitalisierung/> [Stand 14.09.2017]
- [6] Lohmann, Sven / Küper, Ralf (Mai 2016): „Konzepte und Nutzen der Industrie 4.0 für die Prozessindustrie“. URL: <http://www.chemietechnik.de/link-konzepte-und-nutzen-der-industrie-4-0-fuer-die-prozessindustrie/> [Stand 14.09.2017]
- [7] DEXPI-Redaktion (2017): „DEXPI – Data Exchange in the Process Industry“. URL: <http://www.dexpi.org/> [Stand 24.07.2017]
- [8] Theißen, Manfred / Wiedau, Michael (Mai 2017): „P&ID Specification“. URL: <https://github.com/DEXPI/DEXPIdev/blob/master/specification/DEXPI%20Specification%201.2.pdf> [Stand 24.07.2017]
- [9] ZVEI-Redaktion (April 2016): „Industrie 4.0 machen: So geht's!“. URL: <https://www.zvei.org/presse-medien/mediathek/industrie-40-machen-so-gehts/> [Stand 06.07.2017]
- [10] ZVEI-Redaktion (April 2014): „Industrie 4.0: Wenn das Werkstück die Produktion steuert“. URL: <https://www.zvei.org/presse-medien/mediathek/industrie-40-wenn-das-werkstueck-die-produktion-steuert/> [Stand 06.07.2017]
- [11] NAMUR-Redaktion (2017): „AK 0.2 Enabling Industrie 4.0“. URL: <http://www.namur.net/de/arbeitsfelder-u-projektgruppen/ak-02-enabling-industrie-40.html> [Stand 11.07.2017]
- [12] Bittermann, Philip (November 2015): „Namur: Workshop – Einführung von Industrie 4.0“. URL: <http://www.chemietechnik.de/namur-workshop-einfuehrung-von-industrie-4-0/#> [Stand 11.07.2017]

- [13] Gottwald, Klaus / Sehr, Rosemarie / Stecken, Olaf: „Lagebericht 2016/2017“, VDMA, März 2017
- [14] Artmeyer, Marc / Helmich, Thorsten / Waldmann, Thomas / u.a.: „Studie - Potenziale von Industrie 4.0 im Großanlagenbau“, maexpartners / VDMA AGAB, September 2017
- [15] VDI-Redaktion (2017): „Industrie 4.0“. URL: <https://www.vdi.de/index.php?id=58659> [Stand 26.06.2017]
- [16] Manske, Dirk / Berends, Stephan / Becker, Cathrin / Kreitsch, Andrea (2017): „SMART GERMANY - DEUTSCHLAND IN DER DIGITALEN TRANSFORMATION“. URL: https://www.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-Jahresbericht-2017_web.pdf [Stand 13.07.2017]
- [17] Lander, Annika / Dirzus, Dagmar (Mai 2017): „SMART GERMANY - Arbeit in der Digitalen Transformation“. URL: https://www.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-Standpunkte_SMART_GERMANY_Arbeit_in_der_Digitalen_Transformation.pdf [Stand 25.07.2017]
- [18] Schebek, Liselotte / Sauer, Alexander / u.a. (Juni 2017): „Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes“. URL: http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf [Stand 17.07.2017]
- [19] Bazzanella, Alexis / Förster, Andreas / u.a. (September 2016): „Whitepaper - Digitalisierung in der Chemieindustrie“. URL: https://dechema.files.wordpress.com/2016/09/whitepaper-digitalisierung_final.pdf [Stand 12.07.2017]
- [20] Ritz, Manfred (Dezember 2016): „Chemie 4.0“ in „chemie report“ S. 1-5. URL: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/chemie-report/cr2016-12.pdf> [Stand 29.06.2017]
- [21] VCI-Redaktion (Februar 2016): „Thesen zur Industrie 4.0 in der chemisch-pharmazeutischen Industrie: Realitäten, Perspektiven und Anforderungen“. URL: <https://www.vci.de/langfassungen/langfassungen-pdf/2016-02-22-vci-kernbotschaften-industrie-4-0.pdf> [Stand 29.06.2017]
- [22] Class, Oliver (Juni 2017): „Digitalisierung benötigt einen Kulturwandel“ in „chemie report“ S. 12. URL: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/chemie-report/2017-06-27-chemie-report-06-2017.pdf> [Stand 29.06.2017]
- [23] Class, Oliver (Mai 2017): „Chemiebranche setzt zunehmend auf Digitalisierung“ in „chemie report“ S. 7. URL: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/chemie-report/2017-05-22-chemie-report-05-2017.pdf> [Stand 29.06.2017]

- [24] Blum, Matthias (Juli 2016): „Thesen zu Industrie 4.0 in der Chemie: Realitäten, Perspektiven und Anforderungen“. URL: <https://www.vci.de/themen/wirtschaft-handel/industrie-40/thesen-zu-industrie-4-0-in-der-chemisch-pharmazeutischen-industrie-realitaeten-perspektiven-und-anforderungen-digitalisierung.jsp> [Stand 29.06.2017]
- [25] Bock, Kurt (Dezember 2016): „Chemie 4.0 – mehr als Digitalisierung“. URL: <https://www.vci.de/nachhaltigkeit/initiative-chemie-hoch-3/chemie-4-0-ist-mehr-als-digitalisierung-editorial-cr-12-2016.jsp> [Stand 29.06.2017]
- [26] Chemie³-Redaktion (Mai 2013): „Leitlinien“. URL: <https://www.chemiehoch3.de/de/home/die-initiative/leitlinien.html> [Stand 29.06.2017]
- [27] Chemie³-Redaktion (September 2013): „Ziele“. URL: <https://www.chemiehoch3.de/de/home/die-initiative/ziele.html> [Stand 29.06.2017]
- [28] Chemie³-Redaktion (November 2016): „Fortschrittsindikatoren von Chemie³“. URL: <https://www.chemiehoch3.de/de/home/die-initiative/fortschrittsindikatoren.html> [Stand 29.06.2017]
- [29] Schulz, Andreas / Hahn, Henrik (September 2016): „Die chemische Industrie (VCI) auf dem Weg zur Industrie 4.0 (Interview)“. URL: <https://ingenieurversteher.de/2016/09/01/der-vci-auf-dem-weg-zur-industrie-4-0/> [Stand 03.07.2017]
- [30] Bauernhansl, Thomas / Diegner, Bernhard / u.a. (April 2014): „Industrie 4.0 Whitepaper FuE-Themen“. URL: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2014/april/Industrie_4.0_Whitepaper_zu_Forschungs-_und_Entwicklungsthemen/Industrie-40-Whitepaper-Forschung-20140403.pdf [Stand 10.07.2017]
- [31] Plattform Industrie 4.0-Redaktion (Juni 2017): „10-Punkteplan für Industrie 4.0. Handlungsempfehlungen der Plattform Industrie 4.0“. URL: http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/handlungsempfehlungen-10-punkteplan.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [Stand 18.08.2017]
- [32] Gobert, Jonas (Juni 2017): „Deutschland als Industrie 4.0 Land Nr. 1 stärken – Plattform Industrie 4.0 legt 10-Punkteplan zum Digital-Gipfel vor“. URL: <http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2017/2017-06-13-digital-gipfel.html;jsessionid=121FFC59B01A41F642D539C8FB9D92D6> [Stand 03.07.2017]
- [33] Plattform Industrie 4.0-Redaktion (April 2016): „Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)“. URL: https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/rami40-eine-einfuehrung.pdf?__blob=publicationFile&v=7 [Stand 05.09.2017]
- [34] BMWi-Redaktion (2017): „Was ist Industrie 4.0?“. URL: <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html> [Stand 06.07.2017]

- [35] BMWi-Redaktion (2017): „Chancen und Herausforderungen - Von smarten Objekten und vernetzten Maschinen zurück zum Menschen“. URL: <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/ChancenIndustrie40/chancen-durch-industrie-40.html> [Stand 06.07.2017]
- [36] C&EN-Redaktion (Juli 2016) „Global Top 50“. URL: <http://cen.acs.org/content/dam/cen/94/30/globaltop50.pdf> [Stand 01.07.2017]
- [37] Bittermann, Hans-Jürgen / Geipel-Kern, Anke (August 2016): „Ein digitaler Zwilling für die Chemieanlage“. URL: <http://www.process.vogel.de/ein-digitaler-zwilling-fuer-die-chemieanlage-a-548371/> [Stand 01.06.2017]
- [38] BASF-Redaktion (2017): „Smart Manufacturing“. URL: <https://www.basf.com/de/company/about-us/digitalization-at-basf/smart-manufacturing.html> [Stand 01.06.2017]
- [39] Duc (Februar 2017): „Industrie 4.0 - Augmented Reality wie bei Pokemon Go?!“. URL: <https://www.basf.com/de/de/company/career/news-faq/career-blog/ambassador-blogs/augmented-reality-20170208.html> [Stand 01.06.2017]
- [40] BASF-Redaktion (2017): „Smart Supply Chain“. URL: <https://www.basf.com/de/company/about-us/digitalization-at-basf/smart-supply-chain.html> [Stand 01.06.2017]
- [41] BASF-Redaktion (2017): „Smart Innovations“. URL: <https://www.basf.com/de/company/about-us/digitalization-at-basf/smart-innovations.html> [Stand 01.06.2017]
- [42] Back, Matthias (Dezember 2016): „Der größte Chemiekonzern der Welt und die Digitalisierung: Was steckt hinter BASF 4.0?“. URL: <http://www.process.vogel.de/der-groesste-chemiekonzern-der-welt-und-die-digitalisierung-was-steckt-hinter-basf-40-a-552665/> [Stand 01.06.2017]
- [43] BASF-Redaktion (2017) „Digitalisierung“. URL: <https://www.basf.com/de/company/about-us/digitalization-at-basf.html> [Stand 01.06.2017]
- [44] BASF-Redaktion (Februar 2017) „Unser Beitrag zu einer nachhaltigen Zukunft“. URL: <http://bericht.basf.com/2016/de/basf-nachhaltige-zukunft.html> [Stand 01.06.2017]
- [45] BASF-Redaktion (März 2017): „Digitalisierung bei BASF“. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=KXD-0VgGxA4> [Stand 01.06.2017]
- [46] VDI-Redaktion (April 2016): „Mit Innovationsmanagement die Fabrik der Zukunft bauen“. URL: <https://ingenieurgeschichten.vdi.de/myriam-suarez/> [Stand 01.06.2017]

- [47] Hasselbach, Stephan / Suarez, Myriam (April 2016): „Wie man die Fabrik der Zukunft baut“. URL: <https://blog.vdi.de/2016/04/wie-man-die-fabrik-der-zukunft-baut/> [Stand 01.06.2017]
- [48] Woppowa, Ljuba (April 2016): „Chemie und Industrie 4.0 – Passt das zusammen?“. URL: <https://blog.vdi.de/2016/04/chemie-und-industrie-4-0-passt-das-zusammen/> [Stand 01.06.2017]
- [49] Sinopec-Redaktion (2014): „Technological Innovation and IT“. URL: <http://www.sinopecgroup.com/group/en/technologicalinnovation/Technological> [Stand 06.06.2017]
- [50] Zongbin Zheng (Oktober 2015): „Sinopec Jiujiang Pioneers an Intelligent Factory“. URL: http://e-file.huawei.com/~media/EBG/Download_Files/Publications/en/ict_energy_internet_extra/Sinopec_Jiujiang_Pioneers_an_Intelligent_Factory.pdf [Stand 06.06.2017]
- [51] Bohsali, Samer / Samad, Rawia Abdel / u.a. (Dezember 2016): „Preparing for the digital era: The state of digitalization in GCC businesses“. URL: <https://www.strategyand.pwc.com/reports/preparing-digital-era> [Stand 15.06.2017]
- [52] SABIC-Redaktion (Mai 2017): „SABIC and Airborne International join forces in the development of fully automated and digitized composites production processes“. URL: <https://www.sabic.com/en/news/6206-sabic-and-airborne-international-join-forces> [Stand 13.06.2017]
- [53] Endress, Alex / Halsey, Thomas (Mai 2017): „Exxon Mobil’s Halsey: Oil patch’s digital transformation will be comparable to horizontal drilling’s tech revolution“. URL: <http://www.worldoil.com/blog/2017/05/15/exxon-mobil-s-halsey-oil-patch-s-digital-transformation-will-be-comparable-to-horizontal-drilling-s-tech-revolution> [Stand 19.06.2017]
- [54] Welander, Peter (Februar 2011): „ExxonMobil deploys enterprise control system“. URL: <http://www.controleng.com/single-article/exxonmobil-deploys-enterprise-control-system/2849fc40e75fc2467374121d3d935949.html> [Stand 19.06.2017]
- [55] Bischoff, Jürgen / Hegmanns, Tobias / Braun, Stefan / u.a. (Juni 2015): „Studie - Erschließen der Potenziale der Anwendung von „Industrie 4.0“ im Mittelstand“. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/erschliessen-der-potenziale-der-anwendung-von-industrie-4-0-im-mittelstand.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [Stand 07.08.2017]
- [56] Zobel, Nico / u.a. (2017): „Assistenzsysteme für die Prozessindustrie auf Basis von cyber-physischen Produktionssystemen (CPPSprocessAssist)“. URL: <https://www.cppsprocessassist.de/portal/fep/de/dt.jsp> [Stand 13.11.2017]

- [57] Siefert, Jürgen (August 2016): „Industrie 4.0 bei Schneider Electric - Jürgen Siefert im Gespräch“. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=YXpCIDjHWek> [Stand 25.07.2017]
- [58] Siemens-Redaktion (Mai 2017): „PROFINET in der Digitalisierung - Der Puls des digitalen Unternehmens“. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=V6BnJEk2IRM> [Stand 12.07.2017]
- [59] Siemens-Redaktion (Mai 2017): „PROFINET in Prozessautomatisierung - Digitalisierung beginnt bereits in der Feldebene“. URL: https://www.youtube.com/watch?v=Q_enjZzil8A [Stand 12.07.2017]
- [60] Siemens-Redaktion (April 2017): „COMOS und Bentley OpenPlant: Ein innovativer Anlagenengineering-Ansatz“. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=nWgaisbxTPI> [Stand 12.07.2017]
- [61] Siemens-Redaktion (April 2017): „Digital Enterprise Suite - Siemens' Antwort auf Industrie 4.0“. URL: https://www.youtube.com/watch?v=iRIOcEm_Gel [Stand 12.07.2017]
- [62] Siemens-Redaktion (April 2017): „Mehr Produktivität und Effizienz in der Prozessindustrie“. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=W9Xc4MjIPcY> [Stand 12.07.2017]
- [63] Siemens-Redaktion (Mai 2016): „Digital Plant - Digital Enterprise in der Prozessindustrie“. URL: <https://www.siemens.com/global/de/home/unternehmen/themenfelder/digital-plant.html> [Stand 12.07.2017]
- [64] Bosch-Redaktion (2017): „Industrie 4.0 bei Bosch - Auf dem Weg in die vernetzte Fertigung mit Bosch“. URL: <https://www.bosch.com/de/produkte-und-services/vernetzte-produkte-und-services/industrie-4-0/> [Stand 24.07.2017]
- [65] Bosch-Redaktion (2017): „Intelligente Systeme für die wandelbare Fabrik 4.0“. URL: <https://www.bosch.com/de/explore-and-experience/industrie-4-0-flexible-production-line/> [Stand 24.07.2017]
- [66] Bosch-Redaktion (2017): „Menschen, Maschinen und Prozesse im perfekten Zusammenspiel“. URL: <https://www.bosch.com/de/explore-and-experience/industrie-4-0-fertigungslinie/> [Stand 24.07.2017]
- [67] Bosch-Redaktion (2017): „Akkuschrauber Nexo. Der intelligenteste Handschrauber der Welt“. URL: <https://www.boschrexroth.com/de/de/produkte/produktneuheiten/elektrische-antriebe-und-steuerungen/nexo-1> [Stand 29.08.2017]
- [68] SAP-Redaktion (Mai 2016): „Ihr Weg zu SAP S/4HANA®“. URL: <https://www.sap.com/germany/documents/2016/08/76796133-817c-0010-82c7-eda71af511fa.html#> [Stand 15.09.2017]

- [69] SAP-Redaktion (2017): „Transform Chemicals with SAP S/4HANA®“. URL: <https://www.sap.com/germany/documents/2017/01/147412d4-a07c-0010-82c7-eda71af511fa.html> [Stand 19.09.2017]
- [70] SAP-Redaktion (2017): „Die ERP-Business-Suite der nächsten Generation“. URL: <https://www.sap.com/germany/products/s4hana-erp.html#> [Stand 15.09.2017]
- [71] SAP-Redaktion (2017): „SAP HANA Enterprise Cloud“. URL: <https://www.sap.com/germany/products/hana-enterprise-cloud.html> [Stand 15.09.2017]
- [72] SAP-Redaktion (2017): „Technologie und Innovation mit SAP“. URL: <https://www.sap.com/germany/trends.html> [Stand 18.09.2017]
- [73] Microsoft-Redaktion (2017): „Was ist Azure?“. URL: <https://azure.microsoft.com/de-de/overview/what-is-azure/> [Stand 02.11.2017]
- [74] Microsoft-Redaktion (2017): „Was ist mit Azure alles möglich?“. URL: <https://azure.microsoft.com/de-de/> [Stand 02.11.2017]
- [75] Winkler, Steffen (Mai 2017): „Mit der Erfahrung als Leitanwender Industrie-4.0-Projekte in die Praxis umsetzen“. URL: <http://www.all-electronics.de/mit-der-erfahrung-als-leitanwender-industrie-4-0-projekte-in-die-praxis-umsetzen/>
- [76] Bartel-Lingg, Gabriele / Schwab, Christel / u.a. (April 2016): „Entwicklung eines selbstnavigierenden, sensitiven und ergonomischen Industriebodens (NaviSenseErgo)“. URL: <http://www.produktionsforschung.de/projekt/navisenseergo>
- [77] Zühlke, Karin (März 2015): „Bosch an erstem IIC-Gemeinschaftsprojekt in Europa beteiligt“. URL: <http://www.elektroniknet.de/markt-technik/elektronikfertigung/bosch-an-erstem-iic-gemeinschaftsprojekt-in-europa-beteiligt-117753.html> [Stand 23.10.2017]
- [78] PwC-Redaktion (2016): „Industry 4.0: Building the digital enterprise“. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/chemicals/pdf/industry-4-0-chemicals.pdf> [Stand 02.06.2017]
- [79] Spelman, Mark / Ashraf, Muqsit / u.a. (Januar 2017): „Digital Transformation Initiative - Oil and Gas Industry“. URL: https://www.accenture.com/t20170116T084456__w_/us-en/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/WEF/PDF/Accenture-Oil-And-Gas-Industry.pdf [Stand 19.06.2017]
- [80] Spelman, Mark / Kreuzer, Bernd / u.a. (Januar 2017): „Digital Transformation Initiative - Chemistry and Advanced Materials Industry“. URL: https://www.accenture.com/t20170116T084458__w_/us-en/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/WEF/PDF/Accenture-White-Paper-DTI-2017-Chemistry-FINAL.pdf [Stand 02.06.2017]
- [81] Van Thienen, Stefan / Clinton, Andrew / u.a. (Juni 2016): „Industry 4.0 and the chemicals industry“. URL: <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/chemicals-industry-value-chain.html> [Stand 07.06.2017]

8 Bildquellen

- Abbildung 1: „Zuordnung von Maßnahmen entsprechend des Digitalisierungsstandes“ S.166 aus Schebek, Liselotte / Sauer, Alexander / u.a. (Juni 2017): „Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes“. URL: http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf [Stand 17.07.2017]
- Abbildung 2: „RAMI 4.0“ S.9 aus Plattform Industrie 4.0-Redaktion (April 2016): „Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)“. URL: https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/rami40-eine-einfuehrung.pdf?__blob=publicationFile&v=7 [Stand 05.09.2017]
- Abbildung 3: „Der Innovationsprozess bei der BASF SE“ von BASF-Redaktion (2017): https://www.basf.com/images/corp/research/how-we-work/innovation-process_de.jpg-renditions/cq5dam.web.16-9.12.jpg [Stand 01.06.2017]
- Abbildung 4: „Der intelligenteste Handschrauber der Welt“ von Bosch-Redaktion (2017): <https://www.boschrexroth.com/de/de/produkte/produktneuheiten/elektrische-antriebe-und-steuerungen/nexo-1> [Stand 17.10.2107]
- Abbildung 5: „SAP portfolio for digital business framework“ aus SAP-Redaktion (2017): „Digital Transformation in the Chemicals Industry“
- Abbildung 6: „Verfahrensfließschema der Aminwäsche“ von Philip1307 - Eigenes Werk, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16982514> [Stand 06.09.2017]
- Abbildung 7: „Verfahrensschema zur Herstellung von Hochdruckpolyethylen nach dem Rohrreaktorprinzip“ aus Acker, Andrea / Bremer, Heinrich / u.a. (1998): Lexikon der Chemie. Polyethylen“. URL: http://www.spektrum.de/lexika/images/chemie/fff1469_w.jpg [Stand 06.09.2017]

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der ausgewiesenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach anderen gedruckten oder im Internet verfügbaren Werken entnommen sind, habe ich durch genaue Quellenangaben kenntlich gemacht.

Halle, 09.02.2018

Anton Sparfeld