



DECHEMA

Gesellschaft für Chemische Technik
und Biotechnologie e.V.

Whitepaper

Digitalisierung in der Chemieindustrie

Frankfurt/Main, September 2016

Einleitung

Die Chemieindustrie mit ihren großen Produktions- und kleineren Multi-Purpose-Anlagen ist eine rohstoff-, energie- und kapitalintensive Branche, die sich derzeit ebenso wie alle anderen Branchen der digitalen Transformation ausgesetzt sieht. Begriffe wie „Industrie 4.0“, „digitale Produktion“ oder „Internet der Dinge“ sind in aller Munde. Dabei ist der Grad der Automatisierung in der Chemiebranche schon seit Jahren sehr hoch, denn sie fokussiert seit Langem auf Prozessoptimierung und –intensivierung sowie ressourceneffiziente Produktion. Nur so sind die anhaltende Entkopplung von Energieeinsatz und Produktion sowie die wettbewerbsfähige Produktion von Basischemikalien am Standort Deutschland überhaupt möglich. So erstaunt es nicht, dass viele unter dem Stichwort „Industrie 4.0“ genannte Beispiele der Fertigungsbranche „alte Bekannte“ für die Chemiebranche sind: Ohne hochintegrierte und rechnergestützte Produktion wäre ein chemischer Produktionsstandort bereits heute nicht mehr denkbar. Die großvolumige Basischemie ist dabei ebenso auf diese Elemente angewiesen wie die auf geringere Produktionsmengen und kundennähere Entwicklung ausgerichtete Fein- und Spezialchemiebranche.

Die digitale Transformation (auch „Internet of Things“, „Industrial Internet“ oder einfach „Digitalisierung“) ist somit kein „Fremdkörper“ für Deutschlands drittgrößte Industriebranche, sondern es bestehen bereits seit langer Zeit mehr als nur „Berührungspunkte“. Neu ist allerdings, dass durch die jetzt preiswert zur Verfügung stehende hohe Rechnerleistung Algorithmen zum Einsatz kommen können, die bisher aufgrund ihres hohen Rechenbedarfs für praktische Anwendungen untauglich waren

Doch die Branche besitzt bei weitem noch keine flächendeckende digitale Infrastruktur, wie sie oftmals als Idealvorstellung einer erfolgreichen digitalen Transformation propagiert wird. Denn hierzu gehört die Umstellung zahlreicher interner wie kundenspezifischer Prozesse, angefangen bei scheinbar banalen Dingen wie der digitalen Ablage. Denn überall dort, wo die digitale Transformation auf Papierdokumente trifft, stößt sie an ihre Grenzen. Auch wurden bisher kaum Algorithmen (Künstliche Intelligenz (KI)) für konkrete Anwendungen auf große Datenmengen in der chemischen Industrie entwickelt (Spektrinterpretation, Modellprädiktive Regelung, etc.).

Neben optimierten Produktionsprozessen und –anlagen, die derzeit maßgeblich den Unternehmenserfolg innerhalb der Chemiebranche bestimmen, wird zukünftig vor allem eine engere Verzahnung der Produktion mit produktionsfernen Leistungen wie beispielsweise Supply Chain, Vertrieb, Marketing oder Kundenmanagement maßgeblich zum Unternehmenserfolg beitragen. Mit den sich verändernden Kundenansprüchen muss auch eine B2B-Branche wie die chemische Industrie ihre internen Abläufe anpassen und optimieren. Die vertikalen und horizontalen Wertschöpfungsketten werden sich noch stärker zu einem voll integrierten digitalen Wertschöpfungsnetzwerk entwickeln. Digitale Anlagen bilden einen Teil dieser zukünftigen Wertschöpfungsnetzwerke. Die Vision der digitalen Anlage spielt im gesamten Lebenszyklus eines Betriebs der chemischen Prozessindustrie derzeit bereits eine Rolle. Sie wird aber bei weitem noch nicht konsequent umgesetzt bzw. genutzt. Vielfältige Probleme bei der Nutzung verschiedener digitaler Werkzeuge, hohe Kosten bei der Pflege von Modellen und ein großer Bestand nur unzureichend digitalisierter Altanlagen verhindern derzeit die Hebung des vollen Potentials.

Die Vision der digitalen Anlage

Ein vollständig digital gesteuerter und integrierter Chemiestandort basiert auf einer „digitalen Anlage“. Deren Grundidee besteht darin, ein digitales 3D-Modell einer kompletten Produktionsanlage zu entwickeln und es beginnend mit Planung, Bau und Inbetriebnahme anschließend über den gesamten LifeCycle der Anlage zu nutzen. Dies sind in der Regel 20 bis 30 Jahre. Den im 3D-Modell enthaltenen Objekten sind neben den topologischen 3D-Daten vielfältige zusätzliche Informationen zugeordnet

(z.B. Stoffströme, Betriebsbedingungen oder verwendete Werkstoffe bzw. Werkstoffklassen). Darüber hinaus können weitere Dokumente hinterlegt sein, z.B. Bedienungs- und Wartungsanleitungen des Apparateherstellers oder Dokumentationen über durchgeführte Wartungen.

Bereits im Stadium der fortgeschrittenen Planung kann der Betreiber die Anlage mittels Virtual Reality (VR)-Brille oder VR-Dom virtuell begehen. Dies kann zur Verbesserung der Planung wie auch zur frühzeitigen Schulung genutzt werden. Auch die Inbetriebnahme der Anlage kann virtuell simuliert werden. So kann der Betreiber die Automatisierung der Anlage vorab testen und Fehler beheben.

Im Betrieb der Anlage kommunizieren Einzelobjekte mit eigenständiger Sensorik (z.B. Pumpen) online mit dem digitalen Anlagenmodell und reichen die Daten weiter an. Ausgehend vom digitalen Modell der Anlage kann der aktuelle Betriebszustand der Pumpe (Laufleistung) und der prognostizierte Zeitpunkt und Umfang der nächsten Wartung abgerufen werden. Bei drohendem Ausfall warnt das intelligente Equipment den Betreiber vorab, so dass ein durchgehender, störungsfreier Betrieb gewährleistet werden kann.

Monteure oder Techniker innerhalb der Anlage verfügen über ein Tablet oder ähnliches mobiles Gerät, mit dem sie mit der „digitalen Anlage“ kommunizieren können. Sie navigieren damit an den gewünschten Einsatzort oder rufen Informationen zu Objekten im Sichtfeld ab (Augmented Reality). Bei Wartungsarbeiten wird der Techniker voll digital geführt. Die Dokumentation erfolgt sofort online und kann auch Fotos oder Videos enthalten. Bei weiterführenden Problemen kann online die Unterstützung von firmeninternen oder auch externen Experten angefordert werden.

Auch das Prozessmodell, auf dem die Auslegung des Prozesses und die Dimensionierung der einzelnen Anlagenbestandteile basieren, ist Bestandteil des „digitalen Modells“. Optimale Prozesszustände werden anhand der wirtschaftlichen Randbedingungen ermittelt und angesteuert. Dies erfolgt entweder im Open-Loop durch den Anlagenfahrer oder im Closed-Loop direkt durch das Prozessleitsystem. (Teil)Prozesse werden auch dynamisch simuliert und für modellprädiktive Regelungen benutzt, insbesondere wenn die Beherrschung sicherheitstechnisch kritischer Prozesszustände oder eine globale Optimierung Treiber sind.

Die Realität der digitalen Anlage

Die wirtschaftlichen Vorteile, die aus der geschilderten Nutzung einer digitalen Anlage erwachsen können, sind evident. Die Liste der Anwendungen oder Beispiele lässt sich noch vielfach erweitern. Bei Anlagenbauern und -betreibern sind die meisten Bestandteile auch teilweise bereits seit Jahren erfolgreich im Einsatz. Dennoch bleibt die beschriebene Vision für die meisten Betreiber derzeit eben nur – eine Vision. Die Gründe dafür sind vielfältig: Im Bereich der Anlagenplanung und des Anlagenbaus ist die Nutzung von 3D-Modellen Stand der Technik. Allerdings existiert eine Vielzahl von (Software-) Werkzeugen, die für die Erstellung, Wartung und Nutzung des 3D-Modells genutzt werden können. Die Speicherformate dieser Tools sind unterschiedlich. Bei einem Wechsel des Werkzeugs ist daher immer mit Datenverlusten zu rechnen, an einem neutralen Datenaustauschformat wird allerdings gearbeitet (DEXPI-Initiative).

Bei der Übergabe des 3D-Modells an den Anlagenbetreiber besteht dasselbe Problem. Und dann muss der Betreiber das Modell im Anschluss kontinuierlich pflegen und warten, wenn er es weiterhin nutzen will. Dies umfasst sowohl die notwendige Hard- und Software wie auch die Nachpflege realer Änderungen im 3D-Modell. Die damit verbundenen Probleme und die Kosten führen derzeit häufig dazu, dass die Modellpflege vernachlässigt beziehungsweise auf Teilbereiche beschränkt wird.

Neben neueren Anlagen mit 3D-Modell betreiben Firmen zumeist auch eine Vielzahl von Altanlagen

ohne 3D-Modell. Eine nachträgliche Modellerstellung ist mit immensen Kosten verbunden und wird daher nicht vorgenommen.

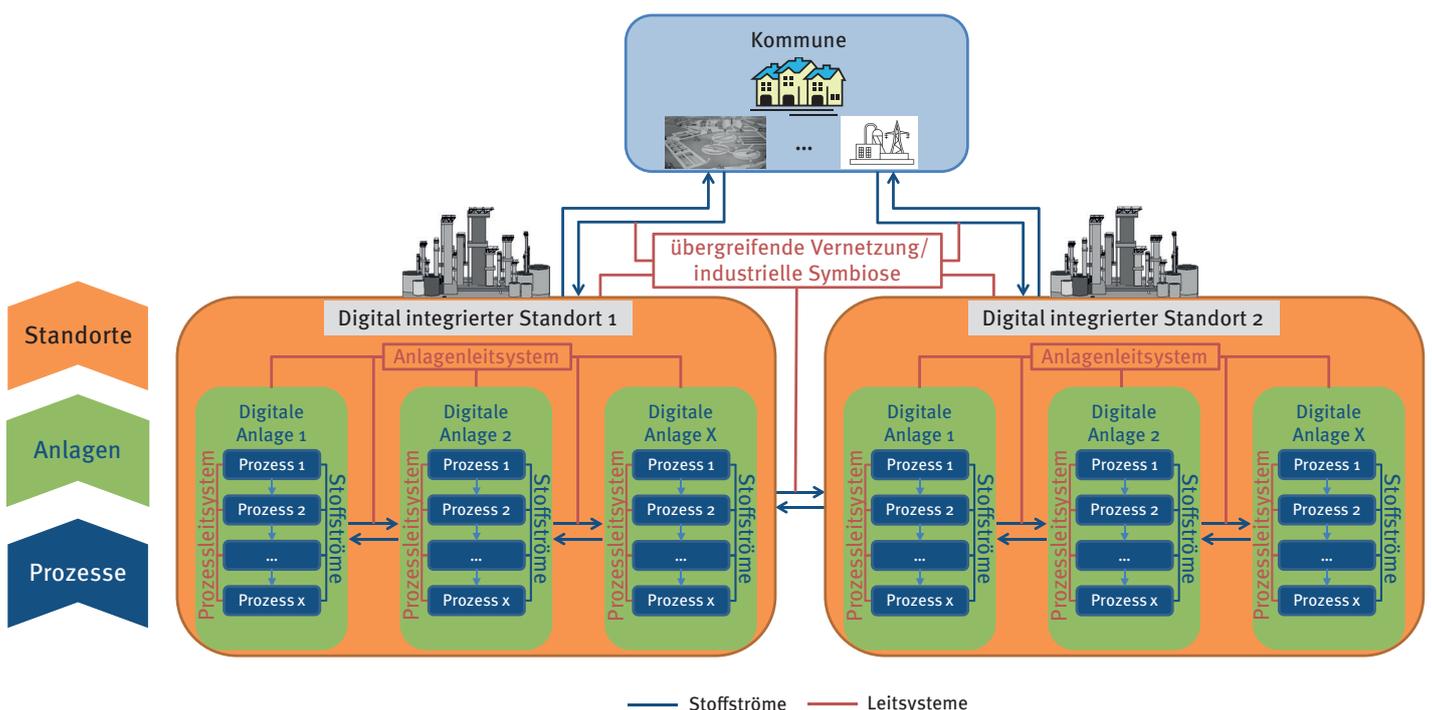
Im Bereich des (Predictive) Maintenance gibt es u.a. sicherheitstechnische Problemstellungen: Inwiefern darf ein Bauteil selbstständig mit externen Services kommunizieren? Und wie kann diese Kommunikation gegen Missbrauch, Spionage und Sabotage abgesichert werden?

Für die Prozessautomatisierung werden häufig (dynamische) Modelle für die Regelung neu erstellt, eine weitergehende Nutzung des ursprünglichen, stationären Auslegungsmodells erfolgt dagegen nicht. Wesentliche Gründe sind meist die für eine Regelung notwendige Robustheit oder der dezidierte Einsatzzweck. Eine möglichst durchgängige Nutzung nur eines Modells, bzw. überhaupt nur ein Modell für alle Facetten der Nutzung, muss hier das Ziel sein.

Datenbasierte Integration von Standorten / Industrielle Symbiose

Die vollständige datenbasierte Integration wird nicht nur auf Ebene der Prozesse von einzelnen Anlagen stattfinden, sondern auch Modelle der industriellen Symbiose weiter vorantreiben:

- 1. Vernetzung von Prozessen:** Einzelne Prozesse innerhalb von Anlagen sind bereits heute eng mit vor- und nachgeschalteten Produktionsprozessen verknüpft. Diese Entwicklung setzt sich mit einer zunehmenden Individualisierung der Produktion sowie der Integration des Roh-, Hilfs- und Reststoffmanagements fort. Management- und Benchmarking-Systeme für Energie- und Ressourceneffizienz erlauben die zeitliche Analyse und Darstellung des spezifischen Energie- und Rohstoffverbrauchs einer Anlage, des erreichbaren Minimums und der dazwischen liegenden Verluste durch Teillast, Produktmix, äußere Einflüsse und suboptimalen Betrieb, sind aber vielfach noch nicht mit einer automatisierten Optimierung gekoppelt. Neuartige digitale Steuerelemente, -software und Netzwerke sind erforderlich, um die daraus entstehenden zunehmend komplexen Prozesssysteme einer Produktionsanlage ökonomisch effizient zu betreiben.



2. **Integration von Anlagen/Produktionsbetrieben:** Anlagen arbeiten bereits heute zunehmend verbundorientiert. Die anlagenübergreifende Optimierung von Stoff- und Energieströmen gewinnt dadurch an Bedeutung. Die Produktionsbetriebe tragen so maßgeblich zur Wirtschaftlichkeit von Standorten und zum Unternehmenserfolg bei, und diese Entwicklung wird sich weiter fortsetzen. Daraus resultieren eine steigende unmittelbare Abhängigkeit und ein direkter Abstimmungsbedarf der Anlagen untereinander bis hin zur Echtzeit. An den Standorten wird dieser Trend künftig von einer engeren Verzahnung von Produktion und produktionsfernen Leistungen, beispielsweise dem Supply Chain Management, begleitet. Dieser Integrationsprozess wird von einer Erweiterung der digitalen Standortinfrastruktur und des digitalen Managementnetzwerkes unterfüttert.

3. **Vernetzung über Standorte hinaus (Industrielle Symbiose):** Die Integration von globalen Produktionsstandorten innerhalb der Unternehmen („virtueller Superstandort“) als auch mit industriellen oder kommunalen Strukturen außerhalb eines Standortes (“industrielle Symbiose“) kann durch die digitale Transformation weiter vorangetrieben werden. Über den einzelnen Standort hinaus und über Branchengrenzen hinweg ermöglicht die Vernetzung von Stoff- und Informationsströmen eine flexiblere Reaktion auf regional unterschiedliche Kundenwünsche, deutliche Effizienzsteigerungen im Ressourcenmanagement und eine Erhöhung der Ressourcensicherheit. Die Vernetzung über einzelne Standorte hinaus wird so zur Wachstumssteigerung der beteiligten Branchen beitragen. Im Sinne der Digitalisierung ist hierfür eine Anbindung bzw. Interaktion von Anlagen- bzw. Standortleitsystemen zwischen Standorten erforderlich. Die Anforderungen an die Planung und Steuerung von Stoffströmen sowie ein intelligentes Energie- und Rohstoffmanagement steigen erheblich.

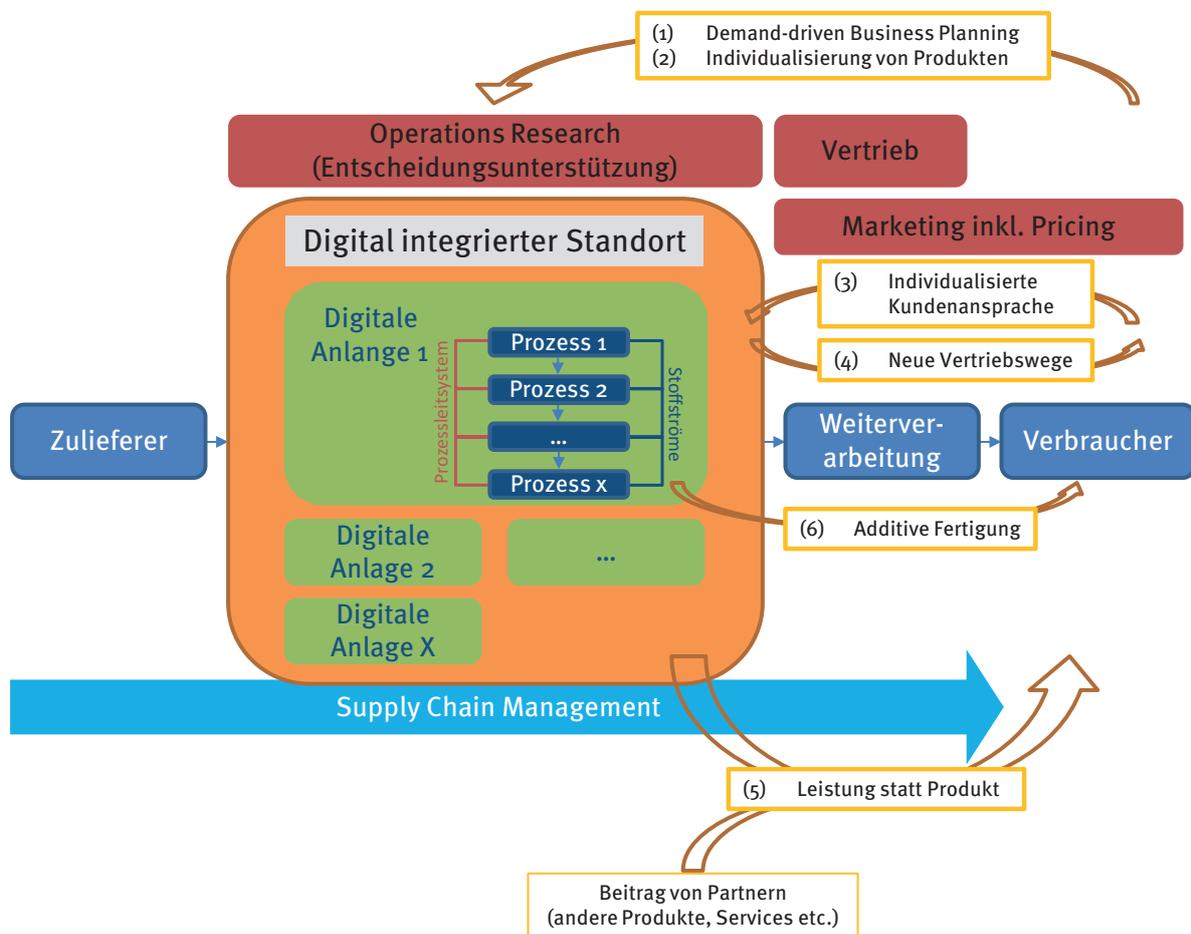
Neue Geschäftsmodelle / Data-driven Services

Neben den Entwicklungsmöglichkeiten auf Prozess- und Produktionsebene werden durch die digitale Transformation vor allem auch neue Geschäftsmodelle möglich und notwendig. Wie neue Geschäftsmodelle Wertschöpfungsketten grundlegend verändern können, zeigen Beispiele aus verschiedenen Branchen:

	Geschäftsmodell	Beschreibung	Beispiele
1	Demand-driven Business Planning	Produktionskapazitäten werden anhand der Nachfrage oder höchstem erzielbaren Gesamtwert gesteuert	Braskem
2	Individualisierung von Produkten	Individuelle Konfigurationsmöglichkeiten für Produkte anstelle festgelegter Ausstattungspakete bis zu Losgröße 1	myMuesli, KFZ-Hersteller, Streamingdienste
3	Individualisierte Kundenansprache	Individualisiertes Marketing auf Basis von Kundendaten und/oder Big-Data-Analysen inklusive Pricing	Werbeeinblendungen bei Google, Kreditkonditionen
4	Neue Vertriebswege	Versand statt Einzelhandel, teils mit interaktiven Beratungsfunktionen	Amazon
5	Leistung statt Produkt	Statt einer Maschine oder eines Produktes werden Leistungen vermarktet	Safechem (Reinigungsleistung statt Lösemittel), Eurolux (Lichtcontracting), Pumpen
6	Additive Fertigung	Statt Transport von Produkten Transport von Produktdaten (Bauplänen) und dezentrale Herstellung	GE Aviation

	Geschäftsmodell	Beschreibung	Beispiele
7	Neue Dienstleistungen bei Datenhaltung, -sicherung und -übertragung	Datenübertragungssysteme, Serverkapazitäten, Anonymisierungs- und Auswertungstechnik	SAP, Siemens
8	Trägerloser Datentransfer	Datentransport elektronisch statt über physische Datenträger	e-Books, iTunes

Doch inwieweit lassen sich solche Beispiele auf die chemische Prozessindustrie übertragen? Der Definition von chemischer Prozessindustrie als „stoffumwandelnder Industrie“ zufolge kann eine vollständige „Entstofflichung“ (8) nicht Endpunkt der digitalen Transformation sein.



Demand-driven Business Planning, die Individualisierung von Produkten und die individualisierte Kundenansprache finden innerhalb bestehender Wertschöpfungsketten statt und werden teilweise von Unternehmen der chemischen Industrie heute schon umgesetzt. Grundlage sind Rückkoppelungen innerhalb der Wertschöpfungskette, durch die Daten von den Kunden bis hin zum Endverbraucher zurück in die Produktionsplanung und die Supply Chain gegeben werden. Die Anpassung der Produktion an diese Daten setzt flexible und modularisierte Anlagen voraus, die variable Produktmodifikationen und Produktionsmengen möglich machen. Neue Vertriebswege führen zu neuen Strukturen in der Wertschöpfungskette zwischen Produzent und Kunde. Als Ergebnis werden Groß- und Zwischenhändler durch den individualisierten Direktvertrieb ersetzt.

Werden anstelle von Produkten Leistungen vermarktet („Lackierung von x Fahrzeugen anstelle Liefere

von y m³ Lack“), erfordert dies eine Erweiterung der Wertschöpfungskette. Entweder muss das Unternehmen selbst zusätzliche Produkte und Dienstleistungen anbieten oder Kooperationen mit Partnern eingehen, die diese zur Verfügung stellen. Dies setzt einen erweiterten Datenaustausch zwischen den Geschäftspartnern, aber auch mit den Kunden voraus, um die Leistungserbringung zu beobachten, Fehler zu beseitigen und die Abrechnung zu ermöglichen. Dabei kann die chemische Industrie einerseits als Anbieter auftreten. Andererseits ist sie im Hinblick auf Ausrüster selbst in der Rolle des Kunden und muss entsprechende Daten bereitstellen, wenn sie von neuen digitalisierten Lösungen profitieren will.

Bei der additiven Fertigung wird die Wertschöpfungskette nicht erweitert, sondern Stufen werden verlagert: Anstelle des fertigen Produkts werden Werkstoffe an den Kunden geliefert, der auf der Basis von gleichzeitig oder unabhängig gelieferten Daten selbst das Produkt formt. Ganz neue Geschäftsmodelle entstehen im Bereich der Datenhaltung, -sicherung und -verarbeitung. Dabei handelt es sich nicht um Kompetenzen, die originär in den Bereich der chemischen Industrie fallen; bestehende oder neue Zulieferer und Dienstleister werden aber bemüht sein, Produkte zu entwickeln, die auf die Bedürfnisse der chemischen Industrie zugeschnitten sind.

Die Digitalisierung beeinflusst die Geschäftsmodelle der chemischen Industrie somit auf zwei Wegen: Wo die Unternehmen selbst als Zulieferer auftreten, müssen sie kundenorientierte, integrierte und individualisierte Angebote machen. Das gilt umso mehr, je näher das Produkt am Endkunden ist bzw. je stärker ausdifferenziert es bereits ist (Feinchemikalien vs. Bulk). Andererseits ist die chemische Industrie Abnehmer von Produkten und Leistungen, die sich durch die Digitalisierung verändern und die sie gemeinsam mit ihren Zulieferern für sich weiterentwickeln kann.

Aus- und Weiterbildung

Sowohl die Veränderungen auf Prozess- und Produktionsebene als auch neue Geschäftsmodelle erfordern neue Fähigkeiten und Fertigkeiten des Personals. Somit ist nicht nur die Erstausbildung, sondern auch die Fort- und Weiterbildung im Sinne des lebenslangen Lernens essentiell. Doch es ändern sich nicht nur die Anforderungen an die Beschäftigten; einige Berufe werden vollständig wegfallen, andere neu entstehen. Dieser Anpassungsprozess an die geänderten Anforderungen muss durch flexible Ausbildungskonzepte und geeignete Themenfestlegung frühzeitig unterstützt werden.

Wie beschrieben, wird in vielen Unternehmen der chemischen Industrie die Vernetzung von Anlagen, Entwicklungs- und Produktionsprozessen weiter zunehmen. Doch auch bei immer weiter voranschreitender Automatisierung wird die menschliche Arbeit ein wichtiger Bestandteil der Produktion bleiben. Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine bekommt in Zukunft eine noch größere Bedeutung auch im Hinblick auf die Produktentwicklung. Steuerungs- und Kontrollaufgaben werden kooperativ und arbeitsteilig bewältigt. Auch wird die Flexibilität von Produktionsabläufen immer relevanter und Änderungen erfolgen immer kurzfristiger. Das bedeutet, dass die Produktionsmitarbeiter einerseits stärker in Aufgaben der Produktentwicklung mit einbezogen werden, auf der anderen Seite aber auch mit kurzfristigeren, wenig planbaren Arbeitsschritten konfrontiert sind.

Die Kompetenzprofile der Mitarbeiter in den Unternehmen werden sich in den kommenden Jahren deshalb verändern müssen. Die Fähigkeit zu vernetztem Denken und Arbeiten gekoppelt mit Problemlösekompetenz wird zunehmend wichtiger werden. Gleichzeitig wird von den Mitarbeitern auf Grund der flexiblen Einsatzbedingungen auch eine schnelle und bedarfsorientierte Lernfähigkeit erwartet und die Anforderungen an die Kreativität und Eigeninitiative steigen. Die Unternehmen werden sich auf den Bedarf nach kontinuierlicher und bedarfsbezogener Weiterbildung ihrer Mitarbeiter einstellen müssen. Neben der Motivation der Mitarbeiter für die Weiterbildung sind neue Vermittlungsformen und

moderne Lehrmethoden wie Blended Learning oder Trainingssimulatoren gefragt (siehe auch [Process-Net Lehrprofil Technische Chemie](#), Oktober 2014). Auch die bisher eher starr angelegten Bildungskonzepte und Curricula müssen inhaltlich flexibler werden und die akademische Ausbildung und die Weiterbildung müssen sich enger an den beruflichen Bedürfnissen orientieren. Um die unterschiedliche Rezeptionsfähigkeit der Arbeitnehmer zu berücksichtigen, müssen kompetenz- und qualifikationsniveaubezogene sowie individualisierte Bildungsoptionen und -geschwindigkeiten angeboten werden.

Fazit und Ausblick

Auf den ersten Blick ist die chemische Industrie heute bereits in vielen Bereichen weitgehend „digitalisiert“. Die wirklichen Veränderungen, die durch große Datenmengen, hohe Rechnerkapazitäten und neue Algorithmen möglich werden, stehen aber noch bevor:

Vermehrte Integration von Standorten und standortübergreifenden Systemen, aber auch die Entwicklung disruptiver Produktinnovationen auf Basis gewonnener Daten setzen die Kopplung interner und externer Daten (Kundendaten) voraus. Doch bislang gibt es Widerstände mit Blick auf Datensicherheit und kritisches Wissen, die diese Zusammenarbeit behindern. Diese Hürden können nur gemeinsam und auf Basis klarer Absprachen und nicht zuletzt Vertrauen überwunden werden.

Von der digitalen Transformation wird auch die modulare Produktion profitieren. Modulare Produktionsanlagen können vor allem dort ihre Stärken ausspielen, wo viele unterschiedliche Reaktionsschritte nötig sind und vergleichsweise kleine Mengen eines hochwertigen Produktes hergestellt werden, also insbesondere in der Fein- und Spezialchemie. Doch um hierfür eine ökonomisch sinnvolle Produktion sicherzustellen, sind noch viele Entwicklungsschritte notwendig. Insbesondere standardisierte Module und Datenschnittstellen werden benötigt, um beispielsweise ein einfaches “Plug&Produce” und die digitale Kommunikation der Module untereinander zu ermöglichen (hierzu erstellt der ProcessNet-TAK Modulare Anlagen derzeit ein Statuspapier).

Nur so ist ein schneller Austausch von Modulen möglich. Damit erweitern die Anlagen deutlich ihre Flexibilität, um unterschiedlichste Produkte in unterschiedlichen Produktionsmengen zu liefern.

Zur Analyse der großen Datenmengen („Big Data“), die Echtzeitsensoren (siehe gemeinsame [Technologie-Roadmap „Prozesssensoren 4.0“](#) von NAMUR und VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik) liefern, benötigt die chemische Industrie nicht nur geeignete Algorithmen, sondern auch qualifiziertes Fachpersonal („Chemotroniker“, „IT-Chemiker“).

Produktionsseitig ist in der Fein- und Spezialchemie seit Jahren ein Trend zu modularer und kontinuierlicher Produktion auszumachen. Diese bei weitem noch nicht abgeschlossene Entwicklung soll der Branche dabei helfen, den zunehmend individuellen Kundenansprüchen zeitnah und ökonomisch zu entsprechen. Neuartige digitale Steuerungselemente und –software sind hierbei wichtig, um tatsächlich ökonomisch in Kleinstmengen individuell zu produzieren.

Neben all den genannten Beispielen liegt für die Chemiebranche das wahrscheinlich größte Entwicklungspotential in digitalen Service-orientierten Geschäftsmodellen. Der amerikanische Agrarchemie- und Biotech-Konzern Monsanto setzt bewusst auf ein service-basiertes Geschäftsmodell und sorgte damit für ein rasches Umdenken in der Branche und Handlungsdruck bei den Agrarchemie-Konkurrenten. Die Weiterentwicklung der Agrarchemie hin zu einer Service-orientierten Branche, die dem Kunden einen Mehrwert durch die Kombination von Daten und Agrarchemieprodukten verkauft, zeigt auf, welche Möglichkeiten in der Fein- und Spezialchemiebranche bestehen, bestehende Geschäftsmodelle weiter zu entwickeln und neue zu schaffen – unerlässliche Schritte zur Sicherung des Innovations- und Produktionsstandortes Deutschland.

Autoren

- Dr.-Ing. Alexis Bazzanella
- Dr. Andreas Förster
- Dr. Björn Mathes
- Dr. Kathrin Rübberdt
- Dr. Thomas Track
- Prof. Dr. Kurt Wagemann
- Dr.-Ing. Uwe Westhaus

DECHEMA e. V.
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main
Tel: +49 (0)69 7564-0
E-Mail: info@dechema.de
www.dechema.de

Stand: September 2016