

1

Chemie 4.0 – eine Standortbestimmung*Christian Bünger**Verband der Chemischen Industrie e. V.*

Die Chemiebranche befindet sich in einem fundamentalen Wandel. Disruptionen verstärken sich und der globale Wettbewerb wird zunehmend intensiver. Dies erfordert noch größere Anstrengungen seitens der Unternehmen, mit Innovationen die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und auszubauen. Die Anforderungen an die Lösungskompetenz der Chemiebranche wachsen stetig und der digitale Wandel vollzieht sich erheblich schneller als noch vor einigen Jahren angenommen. Gleichzeitig findet er auf globaler Ebene statt. Neue digitale Technologien kommen auf den Markt, die Chancen und Potenziale für die Chemie und Pharmaindustrie bieten.

Der Beitrag adressiert Themen rund um die digitale Transformation sowie die Fokus-Punkte Nachhaltigkeit und zirkuläre Wirtschaft. Es werden zahlreiche Beispiele beschrieben, die den aktuellen Stand der Digitalisierung der Chemieindustrie aufzeigen.

1.1 Die digitale und zirkuläre Transformation in der Chemie- und Pharmaindustrie

Nachhaltige Entwicklung, Resilienz und Prosperität einer Volkswirtschaft erfordern eine innovative, wettbewerbsfähige chemisch-pharmazeutische Industrie. Denn die Branche ist Innovationsmotor und essenzieller Vorlieferant des industriellen Sektors, Eckpfeiler unseres Gesundheitssystems sowie Enabler einer klimaschonenden und zirkulären Wirtschaftsweise.

Die Branche steht hierzulande für knapp 200 Milliarden Euro Umsatz und 464 000 Mitarbeiter. Ein kräftiger Außenhandelsüberschuss bei Chemikalien und Pharmazeutika zeugt von einer hohen Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen. Sie haben sich in ihrer über 150-jährigen Geschichte immer wieder erfolgreich modernisiert und an ein sich änderndes Umfeld angepasst.

Dominierten in den 1980er-Jahren noch große Konglomerate, setzte Mitte der 1990er-Jahre eine zunehmende Spezialisierung ein. Viele Konzerne spalteten sich auf und fokussierten sich auf ausgewählte, häufig deutlich engere Bereiche des Chemiegeschäftes. Damit ging auch die Entwicklung des Konzeptes der Chemieparks einher. Wo bis Mitte der 1990er-Jahre eine Einheit aus Produktionsbetrieben und Produktionsstandort bestand, finden sich

heutzutage oftmals Chemie- oder Industrieparks. Die Bereitstellung von Flächen, Immobilien, Infrastrukturen, der Netze sowie Ver- und Entsorgungseinrichtungen wird von den Betreibergesellschaften dieser Parks übernommen. Mittlerweile findet das Konzept in der ganzen Welt Nachahmer.

Seit einigen Jahren führen Industrie 4.0 und die digitale Transformation dazu, dass Unternehmen künftig schneller und passgenauer gemeinsam produzieren und Lösungen entwickeln können. Das wird durch Kommunikation zwischen Maschinen und die Nutzung großer Datenmengen innerhalb des Industrienetzwerks bis hin zum Endkunden möglich. Auch für die Chemie ergeben sich Chancen durch Effizienzpotenziale, neue Geschäftsfelder und eine bessere Vernetzung in der Lieferkette. Gleichzeitig können sich aber auch Geschäftsmodelle ändern und veränderte Sicherheitsanforderungen entstehen.

Zeitgleich haben nachhaltiges Wirtschaften und nachhaltiger Konsum an Bedeutung gewonnen. Das zunehmende Gesundheits- und Umweltbewusstsein, der Wunsch nach Individualisierung von Produkten und geänderte Präferenzen der Konsumenten in einer „Sharing Economy“ sind Entwicklungstendenzen, auf die sich Unternehmen einstellen müssen. Die Digitalisierung kann helfen, nachhaltige Lösungen zu entwickeln und umzusetzen.

Aus einer Chemie 1.0 von vor 150 Jahren ist seit rund einem Jahrzehnt die Chemie 4.0 geworden. Diese vierte Entwicklungsstufe ist von Digitalisierung, Nachhaltigkeit und zirkulärer Wirtschaft geprägt. Sie bietet dem Chemiestandort Deutschland die Chance, seine globale Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, Kundenbedürfnisse noch passgenauer zu befriedigen und mit Innovationen entscheidend zu einer nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft beizutragen.

Für die Zukunft hat sich die Branche einiges vorgenommen. Neben der digitalen und zirkulären Transformation will sie bis 2050 die Chemiewende schaffen, also treibhausgasneutral sein, ohne fossile Rohstoffe auskommen und gleichzeitig zu nachhaltigem Wachstum und Wohlstand in Deutschland beitragen.

Digitalisierung und Nachhaltigkeit werden die Industriestrukturen fundamental verändern. Die Chemie- und Pharmaindustrie bildet hier keine Ausnahme, im Gegenteil: Die Transformationsgeschwindigkeit wird zukünftig noch zunehmen.

1.2 Nachhaltigkeit im Fokus

Bereits im Jahr 1991 legte die Chemie mit der Gründung des deutschen Responsible-Care-Programms nach internationalem Muster den Grundstein für Nachhaltigkeit in der Branche. Zuletzt hat das Thema deutlich an Bedeutung hinzugewonnen. Im Jahr 2013 haben der Wirtschaftsverband Verband der Chemischen Industrie (VCI), die Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE) und der Bundesarbeitgeberverband Chemie (BAVC) die Nachhaltigkeitsinitiative Chemie³ gegründet. Die drei Organisationen möchten gemeinsam die Nachhaltigkeit als Leitbild in der Branche verankern. Nachhaltigkeit ist als Dreiklang aus wirtschaftlichem Erfolg auf Basis von Innovationen, dem Schutz von Mensch und Umwelt sowie gesellschaftlicher und sozialer Verantwortung zu verstehen. Kern der Nachhaltigkeitsinitiative Chemie³ sind zwölf Leitlinien zur Nachhaltigkeit für die chemische Industrie in Deutschland [1]. Diesem Trend folgt auch die Politik. Im Jahr 2019 veröffentlichte die EU-Kommission den „europäischen Grünen Deal“ [2]. Der

„European Green Deal“ ist ein Aktionsplan, der mit einer „effizienteren Ressourcennutzung“ den Übergang zu einer „sauberen und kreislaforientierten Wirtschaft“ in Europa vollziehen möchte. Zentrales Ziel ist, die Nettoemissionen von Treibhausgasen bis zum Jahr 2050 auf null zu reduzieren. Der European Green Deal wird die chemisch-pharmazeutische Industrie in erheblichem Maße beeinflussen. Die Digitalisierung wird diese Transformation unterstützen. Dazu gehören auch Technologien, die aktuell noch am Anfang einer breiten Anwendung stehen wie das Quantencomputing.

1.3 Die digitale Transformation ist in vollem Gange

Digitalisierung ist für die Chemie nichts Neues. Damit Prozesse sicher und zuverlässig ablaufen, benötigt man detaillierte Informationen über den aktuellen Zustand (Druck, Temperatur, Durchflusszahlen bei Pumpen etc.). Nur mithilfe digitaler Sensoren können diese Informationen automatisiert erfasst werden. Daher ist eine dezentrale Leittechnik zur Steuerung von Anlagen schon lange in der Chemie etabliert. Mit dem Aufkommen von Industrie 4.0 hat die Digitalisierung allerdings eine neue Dynamik bekommen. Industrie 4.0 setzt da an, wo die reine Automatisierung von Anlagen aufhört, nämlich der Produktionsweise selbst. Dabei finden sich Ansatzpunkte für digitales, d. h. vernetztes Handeln in der Chemie entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Sie beginnen in der Forschung, gehen über die Anlagensteuerung und reichen bis hin zu digitalen Geschäftsmodellen.

Aber nicht nur die Chemiebranche ist im Wandel. Auch das Umfeld ändert sich fortlaufend. Disruptionen verstärken sich und der globale Wettbewerb wird zunehmend intensiver. Dies erfordert noch größere Anstrengungen seitens der Unternehmen, mit Innovationen die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und auszubauen. Auch die Kunden der Chemie stehen ihrerseits in starkem Wettbewerb. Im Zuge dessen ändern sich die Anforderungen an die Lösungskompetenz der Branche stetig. Im Rahmen einer VCI-Studie hat die Unternehmensberatung Santiago die Erwartungen der wichtigsten sechs Kundenbranchen der Chemieindustrie analysiert [3]. Es wurde deutlich, dass die Chemie noch stärker vom Endkunden her und noch mehr in Lösungen denken muss. Die Flexibilisierung und Modularisierung der Produktion sind ebenfalls von hoher Bedeutung. Verbesserungspotenziale gibt es laut Studie auch bei der Kommunikation mit den Kunden. Bei all diesen Punkten kann die Digitalisierung unterstützen.

Der digitale Wandel vollzieht sich erheblich schneller als noch vor einigen Jahren angenommen. Gleichzeitig findet er auf globaler Ebene statt. Neue digitale Technologien kommen auf den Markt, die Chancen und Potenziale für die Chemie und Pharmaindustrie bieten. Nur beispielhaft seien an dieser Stelle Drohnen oder autonome Fahrzeuge genannt. Drohnen können bei der Inspektion von Tankanlagen helfen oder Orte erreichen, die für Menschen bis dato nur schwer erreichbar sind oder ein Herunterfahren von Anlagen zur Folge hätten. Autonome Fahrzeuge können helfen, die Intra-Site-Logistik signifikant zu optimieren. All dies ist ohne Digitalisierung nicht denkbar.

1.4 Stand der Digitalisierung

Die Frage „Wo steht die Chemie bei der Digitalisierung?“ lässt sich pauschal nicht beantworten. Kaum eine andere Industrie kann auf eine ähnlich vielfältige Produktpalette und einen so breiten Kundenstamm verweisen wie die chemisch-pharmazeutische Industrie. Dementsprechend unterschiedlich fällt auch der Grad der Digitalisierung aus.

Digitalisierung ist allerdings ein weiter Begriff. Daher macht es Sinn, die unterschiedlichen Ansatzpunkte der Digitalisierung in drei Kategorien einzuteilen, die unterschiedliche technische Schwerpunkte sowie einen zunehmenden digitalen Reifegrad voraussetzen:

- digitale Prozesse: Sammeln und Teilen von Daten und Informationen,
- datenbasierte Betriebsmodelle: Verwendung von Daten für die intelligente Entscheidung und einen optimierten Betrieb,
- digitale (datenbasierte) Geschäftsmodelle: Disruption und Revolutionierung der Geschäftstätigkeit mithilfe von Daten.

Als Nullmessung kann die Studie „Chemie 4.0 – Wachstum durch Innovation in einer Welt im Umbruch“ gesehen werden, die der VCI zusammen mit dem Beratungsunternehmen Deloitte erstellt hat. Die Studie kam zu dem Schluss, dass die Unternehmen der Branche die Digitalisierung aktiv angehen. Vor allem die Großunternehmen gehen mit massiven Investitionen voran. Aber auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) haben die Digitalisierung als strategische Herausforderung erkannt. Digitale Prozesse und datenbasierte Betriebsmodelle gehörten damals schon zum Alltag vieler Mittelständler. Vollumfänglich hatten jedoch nur rund 40 Prozent der befragten Unternehmen die Prozesse digitalisiert. Damals planten aber rund die Hälfte umfangreiche Investitionen in diesem Bereich. Knapp ein Drittel ging seinerzeit von disruptiven Veränderungen aus. Hierzu zählt eine umfangreiche Anpassung des Produktportfolios, der Einsatz neuer Prozesstechnologien sowie Veränderungen der Wertschöpfungsstrukturen und der Geschäftsmodelle. Ein weiteres zentrales Ergebnis der Studie war aber auch, dass die Branche ihr bisheriges Geschäftsmodell erweitern muss und sich nicht auf dem bisher Erreichten ausruhen kann, um langfristig erfolgreich zu bleiben [4].

Zwischenzeitlich gibt es neuere Studien, die einen tieferen Blick in den Stand der Digitalisierung erlauben. Im Jahr 2020 wurde erstmalig ein deutschlandweiter Digitalisierungsindex im Projekt „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort Deutschland“ erhoben, das durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert wird [5]. Die Chemie und Pharmaindustrie werden in diesem Kontext zusammen mit anderen Grundstoffindustrien betrachtet.

Grundsätzlich haben sich die Ergebnisse nicht geändert. Auch die neue Studie zeigt, dass die Chemie- und Pharmaindustrie bei den ersten beiden Kategorien gut aufgestellt ist. Digitale Prozesse und datenbasierte Betriebsmodelle finden heute eine breite Anwendung. Dies bestätigen die überdurchschnittlichen Indexwerte in der Kategorie „Prozesse“ (siehe Abb. 1.1).

Bei den digitalen (datenbasierten) Geschäftsmodellen gibt es hingegen noch Potenzial, was nicht weiter verwundert, da im Zentrum des Chemiegeschäftsmodells die Herstellung chemischer Produkte steht, was als Innovationsmotor für nahezu sämtliche Wirtschaftszweige wirkt. Die Anzahl der Angebote am Markt nimmt jedoch stetig zu, beispielsweise in Form der Anreicherung von Produkten mit digitalen Servicekomponenten. Hierzu zählen

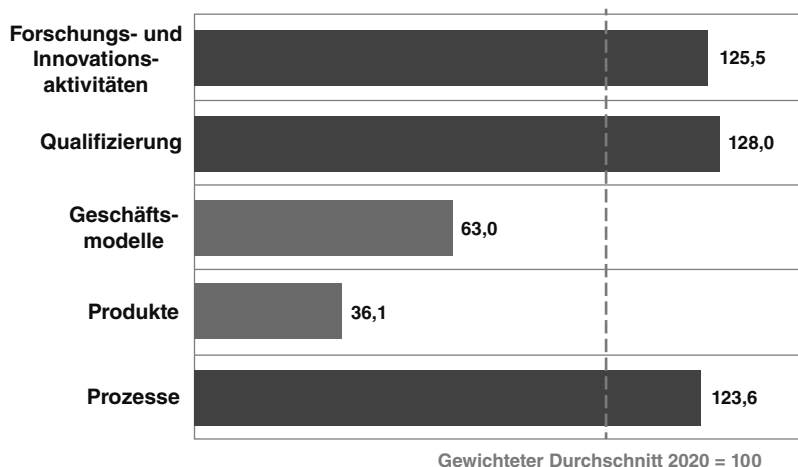


Abb. 1.1 Ergebnisse des Digitalisierungsindex [5], Branchengruppe: Grundstoffe, Chemie, Pharma. Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

auch Plattformen, mit denen neue Geschäftsbereiche erschlossen werden können. Damit ergeben sich weitere Wachstumsfelder und perspektivisch auch zusätzliche Erlösquellen.

Rein digitale Produkte wird die Chemie, deren Hauptaufgabe es ist, Moleküle in neue, bessere und innovative Stoffe sowie Produkte zu transformieren, wohl auch zukünftig nicht in großen Mengen anbieten. Im Abschn. 1.5 „Digitalisierung für die Chemie von morgen“ werden ausgewählte Beispiele vorgestellt. Diese reichen von sogenannten Smart-Farming-Lösungen bis hin zum Betrieb von Anlagen als „Product as a Service“⁽¹⁾.

Allerdings gibt es auch Unternehmen, die sich bewusst oder unbewusst gegen Digitalisierung entscheiden. Um ein tieferes Verständnis für die Hemmnisse und die dahinter liegenden Gründe produzierender Unternehmen im Umgang mit Industrie 4.0 zu gewinnen, arbeitet das Fraunhofer-Institut aktuell an einer Studie zu dieser Fragestellung. Dabei soll zwischen nachvollziehbaren Gründen bzw. bewussten Entscheidungen gegen Digitalisierung und Defiziten, die Unternehmen ungewollt an der digitalen Transformation hindern, differenziert werden. Auch sollen regionale Aspekte analysiert werden. Aus den Ergebnissen werden unter anderem Handlungsempfehlungen für eine bessere Unterstützung von Unternehmen bei der digitalen Transformation abgeleitet werden [6].

Eine Kurzbewertung der Digital Readiness der Branche wäre allerdings ohne einen Blick auf den wichtigen Themenbereich Qualifizierung und Weiterbildung unvollständig. Hier kann die Chemie ebenfalls gute Ergebnisse vorweisen.

Bereits 2017 haben sich die Sozialpartner geeinigt, die digitale Transformation strategisch anzugehen. Im Prozess „Work @ Industry 4.0“, der Anfang 2021 abgeschlossen wurde, haben Gewerkschaft und Arbeitgeber eine gemeinsame Digitalstrategie vereinbart [7]. Neben der Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses darüber, was digitale Transformation überhaupt bedeutet, adressiert die Digitalstrategie zentrale Themen wie Weiterbildung, Führung und Gesundheitsschutz im digitalen Zeitalter. Um den Unternehmen die Umsetzung zu erleichtern, stellen die Sozialpartner Umsetzungshilfen und -leitfäden bereit.

1) Mit einem „Product as a Service“ wird dem Kunden das Produkt nicht mehr einmalig verkauft, sondern beispielsweise gegen eine monatliche oder jährliche Miete zur Nutzung zur Verfügung gestellt.

Parallel entwickeln die Sozialpartner gemeinsam Zusatzqualifikationen, die für eine digitale und zukunftsfeste Chemie notwendig sind. So wird beispielsweise seit August 2018 die Zusatzqualifikation „Digitalisierung und vernetzte Produktion“ in der Ausbildung angeboten. Unternehmen haben damit die Möglichkeit, vorausschauend auf digitale Veränderungsprozesse im Betrieb zu reagieren und Nachwuchskräfte mit digitalen Kompetenzen entsprechend frühzeitig in der Ausbildung zu berücksichtigen.

1.5 Digitalisierung für die Chemie von morgen

Wie kann Digitalisierung nun dazu beitragen, neue Chemie zu ermöglichen? Zunächst macht es Sinn, sich zu verdeutlichen, was Digitalisierung überhaupt bedeutet: Digitalisierung fängt im Kleinen mit dem Versenden von E-Mails, der Datenverarbeitung in Tabellenkalkulationsprogrammen, dem Generieren von PDF-Dokumenten über Websites oder dem Abhalten von virtuellen Meetings über einen der vielfältigen Cloud-Dienste an. Für die Chemie ist die Digitalisierung von heute aber u. a. durch die Analyse strukturierter Daten charakterisiert. Neben der reinen Analyse spielt auch die Verknüpfung unterschiedlicher Datenquellen eine zentrale Rolle. Dies kann lokal am Standort oder dezentral in der Cloud passieren. Komplexe Simulationen und virtuelle Realität stellen weitere wichtige Elemente einer State-of-the-Art-Digitalisierung dar. Im Kern geht es um Interaktion, Vernetzung und intelligente Nutzung von Daten.

Mit zunehmender Vernetzung nehmen allerdings auch die Risiken von Cyberangriffen zu. Das Spektrum reicht hier von Phishing-E-Mails über digital unterstützten Betrug und digitale Erpressung in Form von Verschlüsselungstrojanern bis hin zu Angriffen auf Industrieanlagen. Bereits heute unternimmt die Branche große Anstrengungen in Sachen Cybersecurity. Zukünftig wird die Bedeutung noch zunehmen. Daher muss Informationstechnologiesicherheit (IT-Sicherheit) in den Digitalisierungsstrategien der Unternehmen eine zentrale Rolle spielen.

Eine weitere zentrale Fragestellung ist der Wertbeitrag der Digitalisierung. Die Bandbreite von Digitalisierungsthemen ist enorm groß. Auch befinden sich Technologien wie Quantencomputing – wenn überhaupt – noch im Frühstadium der industriellen Nutzung. Herausforderungen liegen oftmals in der Skalierung von Pilotanwendungen. Die Digitalisierung ist also kein Selbstzweck, denn am Ende des Tages stellt sich die Frage des Business-Cases hinter einer Technologie. Dies zu beantworten ist keine leichte Aufgabe. Klassisches Rechnen von Business-Plänen funktioniert oftmals nicht. Damit besteht die Gefahr, Projekte zu spät zu beenden. Allerdings ist auch der umgekehrte Fall denkbar: Eigentlich sinnvolle und perspektivisch gewinnbringende Projekte werden zu früh terminiert. Als Beispiel sei hier die Hybrid-Technologie genannt: Bereits 1997 konnte man in Deutschland einen hybriden Audi A4 kaufen. Dieser war jedoch vergleichsweise teuer und konnte sich am Markt nicht durchsetzen. Die Zeit war offensichtlich noch nicht reif dafür [8]. Nur drei Jahre später startete Toyota mit dem Prius-Modell am Markt durch.

Um die Breite der Digitalisierung zu veranschaulichen, werden im Folgenden Auszüge aus den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Digitalisierung in der Chemie dargestellt.

1.5.1 Künstliche Intelligenz (KI)

Die Nutzung von KI wird für Chemie- und Pharmaunternehmen immer wichtiger. Maschinelles Lernen wird zur Effizienzsteigerung eingesetzt, zum Beispiel durch die Analyse von Maschinendaten zur Ausbeuteoptimierung bei Produktionsprozessen oder durch Bilderkennung zur Qualitätssicherung in der Produktion. Neuere Ansätze finden sich in der Anwendungstechnik bei der Implementierung intelligenter Büroprozesse und bei neuen Geschäftsmodellen.

Evonik hat mit COATINO einen digitalen Laborassistenten entwickelt, der sprachbasiert die menschlichen Experten bei Farben, Lacken und Beschichtungen unterstützt. Das System ist mit fachlichem Verständnis und Spezialwissen ausgestattet, um beispielsweise bei der Suche nach dem richtigen Additiv zu unterstützen [9].

Auch in der Forschung spielt KI eine immer größere Rolle. Sie hilft bei der Vernetzung von Wissen über Graph-Datenbanken oder aber durch die Analyse großer Datenmengen beim Identifizieren neuer Forschungsansätze, die man bisher für unmöglich gehalten hat. Digital unterstützte Forschung wird in den nächsten Jahren weiter an Bedeutung gewinnen [22]. Das heißt aber nicht, dass der Computer die Kreativität und Intuition eines Forschers ersetzen kann. Menschen werden nach wie vor gebraucht.

Mithilfe der Analyse von Maschinendaten wird die Instandhaltung von Anlagen unterstützt und optimiert (Stichwort: „Predictive Maintenance“). Wenn man voraussagen kann, wann ein Aggregat ausfällt, kann man es rechtzeitig austauschen und damit Anlagenstörungen vermeiden. Das ist ein großer wirtschaftlicher Vorteil, zumal einige Chemieanlagen und -prozesse teils sehr lange Hochfahrzeiten haben und sich auch nicht auf Knopfdruck stoppen lassen.

1.5.2 Plattformökonomie und Direktvertrieb

Eine weitere wichtige Dimension der Digitalisierung ist die Vernetzung und Interaktion mit dem Chemiekunden. Es ist heute nicht nur wichtig, was die Branche liefert, sondern auch, wie der Kundenkontakt verläuft. Im Kern geht es darum, das Kunden- und Nutzererlebnis zu verbessern. Hier kommen Onlineplattformen ins Spiel, um neue Vertriebswege zu erschließen.

Bekannte Technologieunternehmen wie die chinesische Plattform Alibaba spielen dabei eine große Rolle. Viele große deutsche Chemieunternehmen sind bereits mit Flagship-Stores auf der Alibaba-Business-to-Business-Plattform (Alibaba-B2B-Plattform) 1688.com vertreten. Die Plattform ist damit Eintrittstor in den großen chinesischen Online-Markt.

Allerdings gibt es mittlerweile auch eine Vielzahl von kleineren, teils sehr spezialisierten Playern auf dem Markt. Im Chembid-Marketplaces-Report [11] sind über 60 Plattformen aufgelistet, die sich auf den Chemiehandel via Internet fokussieren.

Die Branche selbst ist allerdings auch nicht untätig. So startete Evonik im Jahr 2018 die Onlineplattform OneTwoChem, um Erfahrungen im Plattformgeschäft zu sammeln [12]. Mittlerweile ist OneTwoChem geschlossen, Evonik hat sich entschieden in die Metasuchmaschine Chembid zu investieren und darin die Idee von OneTwoChem aufgehen zu lassen, nämlich effizient und nutzerfreundlich Angebot und Nachfrage zusammenzubringen. Ziel ist die Stärkung der Service- und E-Commerce-Aktivitäten des Unternehmens. Da-

bei setzt Evonik vermehrt auf eigene Webshops und Kundenportallösungen [13]. Chembid wurde im Jahr 2016 vom mittelständischen Chemieunternehmen BÜFA gegründet [14].

Einen anderen Weg wählte der Kölner Chemiekonzern Lanxess: Er startete im Jahr 2019 den Online-Marktplatz Chemondis. Im Gegensatz zur Metasuchmaschine Chembid fokussiert Chemondis auf den klassischen B2B-Handel. Chemikalien können direkt über die Plattform ge- und verkauft werden. Dabei werden neben umfangreichen Filter- und Analysemöglichkeiten auch die für Onlineplattformen üblichen Dashboards angeboten [15].

Wiederum einen anderen Weg wählte Covestro. Ebenfalls im Jahr 2019 startete der Konzern den „Covestro Direct Store“. Zur Startphase hatten nur Covestro-Verkäufer und -Kunden Zugang. Das Projekt war allerdings von Anfang an im Grundsatz als skalierungsfähige Software-as-a-Service-Lösung konzipiert, sodass perspektivisch auch Drittanbieter mit einem eigenen Shop auf der Plattform vertreten sein können. Hierzu betreibt Covestro eine Tochterfirma mit dem Namen Asellion [16].

1.5.3 3-D-Druck – Additive Fertigung

Die Digitalisierung bringt auch einen Schub bei neuen Materialien und Werkstoffen. Zu den Perspektiven in der Medizintechnik gehören neue, im 3-D- oder zukünftig sogar im 4-D-Druck hergestellte Produkte, deren Materialien von der Chemie entwickelt werden. Airbus hat bereits im Jahr 2017 eine im 3-D-Druck-Verfahren erstellte Halterung aus Titan in die Serienfertigung von Flugzeugen eingeführt [17]. Werkstoffe aus dem 4-D-Druck werden ein Formgedächtnis haben, das sich zu einem bestimmten Zeitpunkt durch Kontakt mit Wasser, Wärme oder Vibration aktivieren lässt. So wird aus einem herkömmlichen Werkstoff ein intelligenter Werkstoff. Mögliche Anwendungsbereiche liegen beispielsweise in selbstreparierenden Materialien (z. B. Wasserleitungen in Häusern) oder in militärischen Anwendungen (z. B. Tarnung [18]). Die Technologie befindet sich allerdings noch im Anfangsstadium. Perspektivisch entwickelt sich mit dem 3-D- und 4-D-Druck ein neues Ökosystem, in dem die Chemie – nicht nur als Materiallieferant – eine wichtige Rolle spielen kann.

1.5.4 Datengetriebene und datenbasierte Geschäftsmodelle

Die Verknüpfung von digitalen Dienstleistungen mit Produkten der Chemie- und Pharmaindustrie ist der Schlüssel zu einer zusätzlichen Wertschöpfung. Daran arbeitet die Branche etwa in der Präzisionslandwirtschaft („Digital Farming“). Ihre Unterstützung für den Landwirt beschränkt sich dabei nicht mehr auf die Bereitstellung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Stattdessen helfen Apps dem Landwirt dabei, Krankheiten und Schädlinge auf dem Feld zu identifizieren und den optimalen Zeitpunkt und die beste Dosierung für die Behandlung der Kulturen oder der Ernte zu finden. Module zur Analyse der Bodenbeschaffenheit und der Wettervorhersage ergänzen sich zu einem datenbasierten Modell, um den landwirtschaftlichen Betrieb zu steuern [19].

Auch in anderen Bereichen der Landwirtschaft wird die Digitalisierung vorangetrieben. Das britische Start-up OPTIfarm ermöglicht eine digitale Überwachung von Geflügelställen und der gesamten Produktion. Dies soll zu einem verbesserten Tierwohl, einer erhöhten Produktivität sowie zu störungsfreien Betriebsabläufen beitragen. Das Chemieunter-

nehmen Evonik hat im Jahr 2018 in das Start-up investiert, da die Digitalaktivitäten das Produktportfolio des Chemiekonzerns ergänzen [20, 32].

Ein weiteres interessantes datenbasiertes Geschäftsmodell stellt das Produkt VERITRAX von Clariant dar [21]. Ziel ist, den teilweise ineffizienten und manuellen Prozess der Wartung von Additiv-Tanks in den Ölfeldern in den Weiten des US-Bundesstaates Texas zu verbessern. Durch entsprechende Sensoren, die u. a. den Füllstand zurückliefern, können so die Routen der Service-Lkws optimiert werden. Die Vermeidung unnötiger Fahrten schont Ressourcen. Die Integration weiterer Telemetriedatenquellen liefert Echtzeitinformationen über den Produktionsprozess. Über eine Anbindung an Enterprise-Reporting-Systeme wie beispielsweise SAP können automatisiert Rechnungen erstellt werden. Nach Einführung im Jahr 2016 wurde das Produkt kontinuierlich weiterentwickelt. Perspektivisch sollen auch Daten des Kunden mit in die Analyse einbezogen werden.

In eine ähnliche Richtung geht das digitale Geschäftsmodell OASE Connect von BASF [10]. Zusammen mit Kunden hat BASF eine Plattform für das Gaswäschegeschäft entwickelt. Über die Plattform stehen wichtige Prozess-Informationen in Echtzeit zur Verfügung. Eine Fehlersuche kann gemeinsam erfolgen – auch in Anlagen, die an abgelegenen Orten stehen. Auch ist eine Software enthalten, die dabei hilft, die optimale Einstellung für die Anlage zu finden und diese entsprechend zu steuern.

1.5.5 Smart Contracts/programmierbares Geld

Die Blockchain-Technologie bietet nicht nur im Bereich der Nachhaltigkeit interessante Ansätze. Sie kann auch helfen, Transaktionen in der Lieferkette automatisch und damit effizienter ablaufen zu lassen. Ein Pilotprojekt zwischen BASF und Evonik im Jahr 2018 hat gezeigt, dass die Blockchain-Technologie grundsätzlich dazu geeignet ist. Perspektivisch ist eine vollständige Automatisierung – inkl. Abwicklung von Zahlungen über eine elektronische Geldbörse (Wallet) – denkbar.

In einem Ende 2020 abgeschlossenen Projekt der Bundesbank werden weitere Anwendungsmöglichkeiten skizziert. In diesem Projekt diskutierten Fachleute aus 19 Unternehmen der Real- und Finanzwirtschaft (u. a. Chemieindustrie) über mögliche Bezahlverfahren in neuen innovativen Anwendungsfällen. Dazu gehören unter anderem Machine-to-Machine-Zahlungen, Zahlungen im Umfeld des Internet of Things (IoT) sowie Pay-per-Use. Auch für Auslandsgeschäfte ist eine Implementierung denkbar. Bis das programmierbare Geld allerdings sein volles Potenzial entfalten kann, müssen sowohl der Rechtsrahmen wie auch die technischen Infrastrukturen geschaffen werden. Der Abschlussbericht steht auf der Website der Deutschen Bundesbank zum Download bereit [23].

1.5.6 Digitale Technologien im Gesundheitswesen (E-Health)

Die Digitalisierung ermöglicht auch in der Gesundheitswirtschaft neue Anwendungen. So können durch die Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien für die Vorbeugung, Diagnose, Behandlung und das Monitoring neue Angebote für die Patienten ermöglicht werden. Auch Apps spielen in diesem Ökosystem eine Rolle. Diese können beispielsweise bei der korrekten Einnahme von Medikamenten unterstützen.

Auch die Politik hat die Notwendigkeit erkannt, Daten im Gesundheitswesen noch stärker zu nutzen. Die EU-Kommission plant daher die Einführung eines europäischen Daten-

raumes für Gesundheitsdaten. Diesen Datenraum hatte die EU-Kommission im Sommer 2020 angekündigt und Anfang 2021 konkretisiert. Neben der Förderung eines sicheren und länderübergreifenden Austausches von Patientendaten soll der europäische Gesundheitsdatenraum auch die Kontrolle der Bürger über ihre Gesundheitsdaten verbessern.

Ein weiteres Ziel ist, dass Forschung und Politik diese Daten besser nutzen können. Die Coronapandemie unterstreicht die Notwendigkeit einer solchen Initiative. Hier haben sich – teilweise eklatante – Lücken gezeigt.

1.6 Ohne Changemanagement geht es nicht

Digitalisierung funktioniert nicht ohne den Menschen. Es ist ein Irrglaube, dass in einer nahen Zukunft alle Tätigkeiten von Maschinen oder Algorithmen übernommen werden.

Veränderungen rufen allerdings zunächst einmal Widerstand hervor. Die Gründe hierfür sind oft mannigfaltig. Sie schließen Angst vor Kontrollverlust, Unsicherheit und Überraschungen, Angst vor Gesichtsverlust und fehlende Kompetenzen ein [24]. All diese Themen tauchen unmittelbar im Umfeld der digitalen Transformation auf. Daher ist es nicht ausreichend, dem Menschen zu erklären, er müsse sich jetzt „einfach mal“ anpassen. Im Gegenteil: Man muss ihn für die Digitalisierung begeistern. Die deutsche Chemie- und Pharmaindustrie beschäftigt derzeit über 460 000 Menschen. Wenn es gelänge, einen Großteil davon zu Botschaftern der Digitalisierung zu machen, steht einer erfolgreichen Digitalisierung der Branchen nichts im Wege. Keine leichte Aufgabe, die aber aktiv von den Chemieunternehmen angegangen wird.

Digitalisierung geht allerdings auch mit großen Anforderungen an die Arbeitsweise der Branche einher. Die Chemieunternehmen müssen versuchen, die hohe Innovationsgeschwindigkeit (Agilität) der Start-up-Ökonomie in ihre Kultur zu integrieren, ohne dabei ihre Stärken (Zuverlässigkeit, Sicherheit) aufzugeben. Dies ist in großen wie auch kleinen Unternehmen eine Herausforderung.

Es wäre allerdings vermessen zu behaupten, dass allein mit dem Vorhandensein einer Digitalstrategie und eines Changemanagementprozesses aus dem „hässlichen Silo-Unternehmen“ von heute auf morgen ein „digital denkendes agiles und hübsches Chemieunternehmen“ wird. Ein erfolgreicher Wandel braucht Zeit und selbst in Start-ups gibt es Denksilos, die man in dieser Form wohl eher in „analogen“ Unternehmen vermuten würde. Dies ändert aber nichts daran, dass ein „Weiter-so“ keine Option ist. Die Digitalisierung wird nicht „einfach so“ verschwinden.

Neben einem geordneten Prozess ist es notwendig, sich Gedanken darüber zu machen, welche Fähigkeiten für eine Chemie von morgen benötigt werden. Die Digitalisierung ist durch ein Verschwimmen der Grenzen von Industriebranchen, Jobprofilen und Tätigkeiten geprägt. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber nicht, dass jeder promovierte Chemiker zwangsweise ein Data-Scientist oder Informatiker werden muss. Prozess- bzw. IT-Verständnis und Anwendungskompetenz sind jedoch zwingende Voraussetzung für eine erfolgreiche digitale Transformation. Auch auf der IT-Seite muss ein Umdenken erfolgen: Verständnis für chemische Prozesse und Abläufe muss entwickelt werden, um den Wandlungsprozess optimal unterstützen zu können.

1.7 Digitalisierung bringt zirkuläre Wirtschaft voran

Die Digitalisierung kann bei nachhaltigen Lösungen helfen und eine echte zirkuläre Wirtschaft voranbringen. So ermöglicht etwa die Blockchain-Technologie, dass Kunststoffe und ihr Verbleib in der Lieferkette vom Hersteller bis zum Endprodukt nachverfolgt werden. Stellvertretend seien hier das Circularise-PLASTICS-Projekt von Covestro [25] und das ReciChain-Projekt von BASF Kanada [26] genannt. Hinter den Projekten steht die Absicht, die Teilnehmer der Wertschöpfungskette von Kunststoffen besser zu vernetzen. Gleichzeitig sollen größere Anreize für das Recycling von Plastik gesetzt werden. Beide Projekte haben gemeinsam, dass sie auf Blockchain als Technologie setzen, um Informationen zwischen Teilnehmern auf eine sichere und gleichzeitig transparente Weise zu teilen. Ebenso sind beide Projekte kein „closed shop“, denn ein zirkuläres Ökosystem kann nur entstehen, wenn neue Partner einfach mit ins Boot genommen werden können. Sowohl Circularise PLASTICS wie auch ReciChain haben den Status des Pilotprojektes verlassen und befinden sich derzeit in der Skalierungsphase. So kooperiert das Circularise-PLASTICS-Projekt mit Porsche, um die Rückverfolgbarkeit von Kunststoffen im Automobilsektor zu ermöglichen. Die Idee dahinter ist, Materialchargen in der Blockchain zu digitalisieren. Damit existiert ein Digital Twin, also eine virtuelle Kopie des Materials. Diese Kopie enthält alle relevanten Informationen wie z. B. den ökologischen Fußabdruck. Gleichzeitig wird die Transparenz und Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Unternehmen erhöht – ohne dass Geschäftsgeheimnisse wie Rezepturen geteilt werden müssen [27].

Ein weiterer interessanter Einsatzzweck von Blockchain findet sich im kanadischen Start-up Plasticbank. Plasticbank möchte das Recycling von Kunststoffen in Entwicklungsländern fördern. Dazu kauft das Unternehmen gesammelte Kunststoffe auf und bietet den Menschen im Gegenzug Geld oder Sachleistungen an. Gerade für sehr wenig entwickelte Länder ist dies ein attraktives Modell. Statt Zahlungen über Bankkonten abzuwickeln, die in vielen Ländern für bestimmte Bevölkerungsschichten schlicht nicht verfügbar sind, setzt das Start-up auf digitale Technologien wie die Blockchain und Apps. Das System ist somit dezentral, fälschungssicher und lässt sich leicht skalieren. Erste Pilotprojekte starteten im Jahr 2013 in Haiti, mittlerweile ist die Plasticbank auch in Indonesien, Brasilien, den Philippinen und Ägypten aktiv [28]. Die Plasticbank braucht allerdings Abnehmer für die gesammelten Rohstoffe. Hier haben sich deutsche Unternehmen frühzeitig für eine Kooperation entschieden: Der Chemiekonzern und Konsumgüterhersteller Henkel ist seit 2017 Partner der Plasticbank [29]. Der Lebensmittel-Discounter Aldi und die Drogeriemarktkette dm sind ebenfalls Partner des Start-ups [30, 31].

Digitale Plattformen können für die Kreislaufführung von Materialien ebenfalls einen wertvollen Beitrag liefern. Häufig ist es schwierig, Angebot und Nachfrage in einem stark dezentralisierten Markt zusammenzubringen. Hier kommen Plattformen ins Spiel. Das Hamburger Start-up cirplus verfolgt den Ansatz, den Handel mit recyceltem Kunststoff zu digitalisieren. So bietet der Marktplatz bereits heute eine Vielzahl von Recyclingmaterialien an. Mit den üblichen Features, die heutzutage eine digitale Plattform bietet: Kauf und Verkauf über ein Dashboard, Track-and-trace-Lösungen und KI-gestützter Datenanalyse.

1.8 Ausblick: noch mehr Datenanalyse und Konnektivität

Geht es bei der klassischen Industrie 4.0 hauptsächlich um die Vernetzung von cyberphysischen Systemen, nimmt in den letzten Jahren die Datenverfügbarkeit und -durchdringung der Industrie und der Chemie immer mehr zu. Die systematische Erhebung großer Datenmengen bietet Unternehmen neue Möglichkeiten, Wertschöpfung zu generieren und die Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern.

Das Motto „Viel hilft viel“ gilt hier aber nicht. Es kommt vor allem auf die Qualität der Daten an und darauf, dass diese in strukturierter Form vorliegen. Häufig ist beides nicht immer in dem Maße gegeben, wie es benötigt wird. Daher erbringen Chemieunternehmen große Anstrengungen, um die Datenqualität so zu verbessern, dass aus vielen „Data-Tümpeln“ tatsächlich der so wichtige „Data-Lake“ werden kann. Ist diese Herausforderung einmal gemeistert, steht Big Data nichts mehr im Wege. Dadurch entstehen auch neue Berufsprofile in der Chemie. Der Wettlauf um die besten Data-Scientists hat schon begonnen.

Bei der Nutzung von 5G-Mobilfunkfrequenzen beschreitet Deutschland im internationalen Vergleich einen sehr innovativen Weg. Industrieunternehmen können auf ihrem Werksgelände eigene Funknetze zur Steuerung von Industrieanlagen aufbauen. Das ist gerade für Mittelständler in Regionen wichtig, in denen der öffentliche Netzausbau nicht so schnell vorangehen wird. 5G wird kontinuierlich zum „5G New Radio“ (5G NR) weiterentwickelt. Neben extrem hohen Bandbreiten werden in den kommenden Jahren die sogenannte Ultra-Reliable Low Latency Communications sowie Massive Machine Type Communications in den 5G-Standard integriert. Damit wird Funkkommunikation in Echtzeit mit einer Vielzahl von Geräten in einem IoT möglich. Bis zu einer Million IoT-Komponenten werden pro Quadratkilometer auf den entsprechenden Frequenzen miteinander kommunizieren können.

1.9 Digitale Transformation erfordert politischen Rückenwind

Die digitale Transformation bietet für die deutsche chemisch-pharmazeutische Industrie große Chancen. Doch der Wandel stellt eine Vielzahl von Anforderungen: Die Unternehmen müssen neue strategische Ziele setzen, Geschäftsmodelle prüfen und möglicherweise komplett umstellen, Know-how und Ressourcen aufbauen, die Unternehmenskultur anpassen, Kooperationen und Plattformen etablieren, den Unternehmenszuschnitt justieren und neue Beteiligungskonzepte entwickeln. Auch muss die Wertschöpfungsbasis kontinuierlich erweitert werden – und zwar auf Bereiche, die jenseits der Rolle des innovativen Materiallieferanten liegen.

Für eine erfolgreiche Transformation ist aber auch eine Unterstützung durch industriepolitische Maßnahmen nötig. Zentrale Themen für eine erfolgreiche digitale und zirkuläre Transformation sind dabei:

- der Ausbau der technischen Infrastruktur,
- die Verankerung von Digitalisierungskompetenzen in der Aus- und Weiterbildung,
- die bedarfsgerechte Ausgestaltung von Datenschutzregelungen sowie
- eine verantwortungsvolle Regulierung „neuer Technologien“ wie KI. Hierbei sollte die Politik auf eine innovationsoffene statt Ex-ante-Regulierung setzen.

Die digitale und zirkuläre Transformation in der chemisch-pharmazeutischen Industrie schreitet mit hoher Dynamik voran. Wichtig ist aber die Erkenntnis, dass nicht jedes Chemieunternehmen ein eigenes digitales Geschäftsmodell entwickeln muss. Jedes Unternehmen muss sich aber die Frage stellen, was seine Rolle in einer digitalisierten Geschäftswelt und zirkulären Wirtschaft von morgen sein wird.

Literaturverzeichnis

- 1 Chemie³. (2013). Die Nachhaltigkeitsinitiative der deutschen Chemie. Abrufbar unter: <https://www.chemiehoch3.de/leitbild-nachhaltigkeit> (Zugriff am 12. November 2021).
- 2 EU-Kommission. (2019). Ein europäischer Grüner Deal. Abrufbar unter: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de (Zugriff am 12. November 2021).
- 3 Santiago Advisors. (2019). Erwartungen der Kundenbranchen an die Chemie. Abrufbar unter: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/2019-09-26-studie-vci-santiago-erwartungen-kundenbranchen-an-chemie-langfassung.pdf> (Zugriff am 12. November 2021).
- 4 Deloitte/Verband der Chemischen Industrie e. V. (2017). Chemie 4.0 – Wachstum durch Innovation in einer Welt im Umbruch. Abrufbar unter: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/vci-deloitte-studie-chemie-4-punkt-0-langfassung.pdf> (Zugriff am 12. November 2021).
- 5 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWI. (2020). *Digitalisierungsindex Deutschland*. Von Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Abrufbar unter: <https://www.de.digital/DIGITAL/Navigation/DE/Lagebild/Digitalisierungsindex/digitalisierungsindex.html> (Zugriff am 12. November 2021).
- 6 Fraunhofer IPA/IAO. (2022). Blinde Flecken in der Umsetzung von Industrie 4.0 – identifizieren und verstehen. Abrufbar unter: <https://www.ipa.fraunhofer.de/de/Publikationen/studien/blinde-flecken-in-der-umsetzung-von-Industrie-40.html>.
- 7 BAVC, IG BCE. (2021). Work @ Industry 4.0. Von Bundesarbeitgeberverband Chemie, IG Bergbau, Chemie, Energie: www.work-industry40.de (Zugriff am 12. November 2021).
- 8 Audi Technology Portal. (2011). Audi duo. Abrufbar unter: <https://www.audi-technology-portal.de/de/mobilitaet-der-zukunft/hybridfahrzeuge/audi-duo> (Zugriff am 12. November 2021).
- 9 Evonik. (2019). Forschung und Entwicklung – Digitaler Assistent glänzt mit Fachwissen für Lack. Abrufbar unter: https://www.basf.com/global/de/who-we-are/innovation/how-we-innovate/our-RnD/Digitalization_in_R-D/supercomputer.html (Zugriff am 12. November 2021).
- 10 BASF. (2017). Digital Business Models – OASE connect. Abrufbar unter: <https://www.basf.com/global/de/who-we-are/digitalization/digital-business-models.html> (Zugriff am 12. November 2021).
- 11 Chembid. (2021). Chemical Marketplaces Report 2021. Abrufbar unter: <https://www.chembid.com/de/marketplaces-report> (Zugriff am 12. November 2021).
- 12 Evonik. (2018). OneTwoChem. Abrufbar unter: <https://corporate.evonik.com/de/onetwochem-121458.html> (Zugriff am 12. November 2021).

- 13 Evonik. (2021). Investition in digitale Chemie-Plattform chembid. Abrufbar unter: <https://corporate.evonik.de/de/investition-in-digitale-chemie-plattform-chembid-152369.html> (Zugriff am 12. November 2021).
- 14 BÜFA. (2016). Chembid. Abrufbar unter: <https://www.buefa.de/de/new-business/chembid> (Zugriff am 12. November 2021).
- 15 Lanxess. (2019). New LANXESS startup: Online marketplace CheMondis launched successfully. Abrufbar unter: <https://lanxess.cn/en/media-china/press-releases-china/new-lanxess-startup-online-marketplace-chemondis-launched-successfully> (Zugriff am 12. November 2021).
- 16 Covestro. (2019). Neuer Covestro Direct Store ist online. Abrufbar unter: <https://www.covestro.com/press/neuer-covestro-direct-store-ist-online> (Zugriff am 12. November 2021).
- 17 Airbus. (2017). First titanium 3D-printed part installed into serial production aircraft. Abrufbar unter: <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2017-09-first-titanium-3d-printed-part-installed-into-serial-production> (Zugriff am 12. November 2021).
- 18 Rutgers University. (2021). 3D-Printed Smart Gel Changes Shape When Exposed to Light. Abrufbar unter: <https://www.rutgers.edu/news/3d-printed-smart-gel-changes-shape-when-exposed-light> (Zugriff am 12. November 2021).
- 19 Xarvio. (2021). xarvio FIELD MANAGER. Abrufbar unter: <https://www.xarvio.com/de/de/products/field-manager.html> (Zugriff am 12. November 2021).
- 20 Evonik. (2018). Evonik investiert in Precision Livestock Startup zur Verbesserung der Geflügelproduktion. Abrufbar unter: <https://corporate.evonik.com/de/investor-relations/evonik-investiert-in-precision-livestock-startup-zur-verbesserung-der-gefluegelproduktion-106745.html> (Zugriff am 12. November 2021).
- 21 Clariant. (2016). Clariant Announces VERITRAX™ First intelligent digital chemical management system for the oil and gas industry. Abrufbar unter: <https://www.clariant.com/de/Corporate/News/2016/10/Clariant-Announces-VERITRAX-First-intelligent-digital-chemical-management-system-for-the-oil-and-gas> (Zugriff am 12. November 2021).
- 22 BASF. (2017). Lernen Sie Quiriosity kennen. Abrufbar unter: https://www.basf.com/global/de/who-we-are/innovation/how-we-innovate/our-RnD/Digitalization_in_R-D/supercomputer.html (Zugriff am 12. November 2021).
- 23 Bundesbank. (2020). Geld in programmierbaren Anwendungen – Branchenübergreifende Perspektiven aus der deutschen Wirtschaft. Abrufbar unter: <https://www.bundesbank.de/resource/blob/855080/941264701eb3f1a67ef6815831c9e40a/mL/2020-12-21-programmierbare-zahlung-anlage-data.pdf> (Zugriff am 12. November 2021).
- 24 Kanter, R.M. (2012). Ten Reasons People Resist Change. Abrufbar unter: Harvard Business Review: <http://hbr.org/kanter/2012/09/ten-reasons-people-resist-chang.html> (Zugriff am 12. November 2021).
- 25 Covestro. (2020). Circularise, Covestro and Domo showcasing plastics traceability solution at CES 2020. Abrufbar unter: <https://www.covestro.com/press/circularise-covestro-and-domo-showcasing-plastics-traceability-solution-at-ces-2020> (Zugriff am 12. November 2021).
- 26 BASF Kanada. (2020). ReciChain. Abrufbar unter: <https://www.basf.com/ca/en/who-we-are/sustainability/Sustainability-in-Canada/reciChain.html> (Zugriff am 12. November 2021).
- 27 Covestro. (2020). Circularise und Porsche kooperieren mit Borealis, Covestro und Domo Chemicals, um die Rückverfolgung von Kunststoffen im Automobilsektor zu ermöglichen. Abrufbar unter: <https://www.covestro.com/press/de/circularise-und-porsche-kooperieren>

- mit-borealis-covestro-und-domo-chemicals-um-die-rueckverfolgung-von-kunststoffen-im-automobilsektor-zu-ermoeneglichen (Zugriff am 12. November 2021).
- 28 Plasticbank. (2021). Plasticbank. Abrufbar unter: <https://plasticbank.com/business-partnerships> (Zugriff am 12. November 2021).
 - 29 Henkel. (2017). Henkel launches partnership with the Plastic Bank – Transforming waste into opportunity. Abrufbar unter: <https://www.henkel.com/press-and-media/press-releases-and-kits/2017-11-15-transforming-waste-into-opportunity-807948> (Zugriff am 12. November 2021).
 - 30 ALDI. (2019). Weggeworfenes wird Währung: ALDI geht Kooperation mit Plastic Bank ein. Abrufbar unter: <https://www.aldi-nord.de/unternehmen/presse/weggeworfenes-wird-waehrung-ALDI-geht-kooperation-mit-plastic-bank-ein.html> (Zugriff am 12. November 2021).
 - 31 dm/SEINZ. (o.J.). SEINZ und die Plastic Bank – Partner für ökologische und soziale Verantwortung. Abrufbar unter: <https://www.dm.de/tipps-und-trends/nachhaltigkeit/umweltsiegel/plastic-bank-433084> (Zugriff am 12. November 2021).
 - 32 Evonik. (2017). Evonik bringt Digitalisierung in den Hühnerstall. Abrufbar unter: <https://corporate.evonik.com/de/evonik-bringt-die-digitalisierung-in-den-huehnerstall-22701.html> (Zugriff am 12. November 2021).

