

ANALYSEN ZUR STUDIE

Die digitale Transformation der Industrie

Detailbetrachtungen von Roland Berger Strategy Consultants im
Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie e.V. (BDI)

17. März 2015



Kernergebnisse der Studie

Die Digitalisierung als Basisinnovation entscheidet über die Zukunftsfähigkeit der europäischen Industrie: Gelingt es, die Möglichkeiten vernetzter, effizienterer Produktion und neuer Geschäftsmodelle zu nutzen, könnte Europa bis 2025 einen Zuwachs von 1,25 Billionen Euro an Bruttowertschöpfung erzielen. Sollte die europäische Industrie jedoch die digitale Transformation verpassen, so stehen in den nächsten Jahren insgesamt 605 Milliarden Euro auf dem Spiel.

Dies sind zwei der zentralen Ergebnisse der Studie "Die digitale Transformation der Industrie", mit der Roland Berger Strategy Consultants im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI) erstmals Ursachen und Wirkungen der Digitalisierung auf das "industrielle Herz" Deutschlands und Europas untersucht und ihren Gesamteffekt vermessen hat. Diese Studie ist unter www.rolandberger.com oder www.bdi.eu auf Deutsch und auf Englisch verfügbar. Auf ihrer Basis haben wir eine Taxonomie der digitalen Welt erstellt und Handlungsempfehlungen für Unternehmen und Politik abgeleitet. Konkret sind das:

Digitale Reife. Unternehmen brauchen ein tieferes Verständnis dafür, welche neuen Wertschöpfungspotenziale die Digitalisierung bringt und wie sie sich nutzen lassen – nicht nur zur Effizienzsteigerung und Kostenoptimierung, sondern auch und gerade, um neue Geschäftsmodelle zu schaffen. Lediglich jedes dritte deutsche Unternehmen schätzt seine eigene digitale Reife als hoch oder sehr hoch ein. Und in sechs von acht untersuchten Branchen klafft eine Durchdringungslücke von mehr als 15 Prozent zwischen dieser Selbsteinschätzung und den Chancen, die man für die eigene Branche sieht.

Gemeinsame Standards. Branchenregeln bestimmen unsere digitale Zukunft – deshalb müssen sich Unternehmen und Politik jetzt für die Definition von Standards engagieren, bei denen die Stärken der deutschen und europäischen Industrie zum Tragen kommen. Europa braucht ein Gegengewicht zum von US-Unternehmen dominierten Industrial Internet Consortium.

Leistungsfähige Infrastruktur. Damit die digitale Transformation gelingt, bedarf es des flächendeckenden Ausbaus von Breitbandnetzen. Gleichzeitig ist eine hohe Servicequalität für geschäftskritische Anwendungen regulatorisch zu ermöglichen. Beides bildet eine wesentliche Voraussetzung dafür, die Wettbewerbsfähigkeit europäischer Unternehmen nachhaltig zu sichern.

Europaweite Koordination: Erfolg in der digitalen Ökonomie verlangt gemeinsames Handeln. Europa muss seine Investitionsprogramme konsequent auf die digitale Transformation ausrichten, eine eigene IKT-Kompetenz zurückerobern und ein virtuelles "Digital Valley" als Pendant zu den Gravitationszentren in den USA oder Asien aufbauen. Derzeit gibt es kein einziges europäisches Internetunternehmen unter den Top 20 der Welt! Mit Initiativen wie Terra Numerata™ von Roland Berger kann es gelingen, die deutschen und europäischen Anstrengungen bei der digitalen Transformation besser zu koordinieren.

Eine erfolgreiche digitale Transformation, so die Bilanz unsere Studie, bietet die Chance, die industrielle Basis und Kompetenz Deutschlands wie Europas weiter zu festigen, zukunftssträchtige Geschäftsmodelle zu entwickeln und Beschäftigung und Wohlstand auch für kommende Generationen zu sichern.

Diese Kernergebnisse werden im Folgenden aufgegriffen und im Rahmen von Detailbetrachtungen der untersuchten acht Branchen vertieft.

Inhalt

Kernergebnisse der Studie	2
Definition, Bedeutung und Logik der digitalen Transformation	4
Detailbetrachtung der Auswirkungen auf das "industrielle Herz" Deutschlands und Europas.....	9
Welle 1: Automobil und Logistik erleben eine digitale Zäsur	10
Welle 2: Medizin-, Elektroindustrie, Maschinen- und Anlagenbau sowie Energietechnik sehen sich einem digitalen Umbruch gegenüber.....	18
Welle 3: Chemie und Luftfahrttechnik erfahren zeitversetzt einen digitalen Wandel.....	32
Risiken der Digitalisierung: Das Bedrohungsszenario für die europäische Industrie	38
Potenziale eines erfolgreichen Wandels: Die digitale Transformation als Chance für die europäische Wirtschaft	40
Autoren	42
Herausgeber	44

Definition, Bedeutung und Logik der digitalen Transformation

Der digitale Wandel hat unseren Alltag als Konsumenten längst erreicht; wie selbstverständlich buchen wir Reisen im Internet, kaufen Waren online und streamen Musik oder Videos. Im Zuge der zunehmenden Verbreitung des Internets der Dinge erreicht die digitale Transformation jetzt auch die industrielle Wertschöpfung. Von Kanzlerin Merkel als "industrielle Revolution" bezeichnet, die zwar keine "rauchenden Schloten", aber "ebenso faszinierende Veränderungen für unsere Gesellschaft" mit sich bringe, hat die digitale Transformation weitreichende Folgen für die deutsche und europäische Industrie. Diese Einsicht besteht auch bei den deutschen und europäischen Herstellern, denen es jedoch häufig weiterhin an einem einheitlichen Verständnis davon fehlt, welche Chancen, Herausforderungen und Implikationen mit der digitalen Transformation für einzelne Industrien verbunden sind. Dieses Verständnis schaffen wollen die durch den Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI) beauftragte Studie "Digitale Transformation der Industrie" und der hier vorliegende Ergänzungsband. Seine Detailbetrachtungen beinhalten vertiefende Analysen zum Einfluss der digitalen Transformation auf die Wertschöpfung im "industriellen Herzen" Deutschlands und Europas sowie zu den Bedrohungs- und Chancenszenarien, die sich aus ihr ergeben. Er schafft somit die Grundlage für eine detaillierte, industriespezifische Diskussion der Implikationen der digitalen Transformation.

Was verbirgt sich hinter der digitalen Transformation?

In der öffentlichen Wahrnehmung herrscht ein sehr unterschiedliches Verständnis vom Begriff der digitalen Transformation. Inhaltliche Schwerpunkte werden häufig gesetzt bei der Entstehung neuer Datenquellen, der zunehmenden Vernetzung innerhalb von Organisationen und der Automatisierung von Unternehmensaktivitäten. Diese unterschiedliche Schwerpunktsetzung führt zu einer wachsenden Unsicherheit bezüglich der Implikationen der digitalen Transformation. Für uns besteht ihr Kern in der Verschiebung der Wertschöpfung von vergleichsweise starren Wertschöpfungsketten zu dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken. Wertschöpfung findet nicht länger sequenziell und zeitversetzt statt, sondern in einem Geflecht ständig kommunizierender und flexibel aufeinander reagierender Einheiten (Abbildung 1).

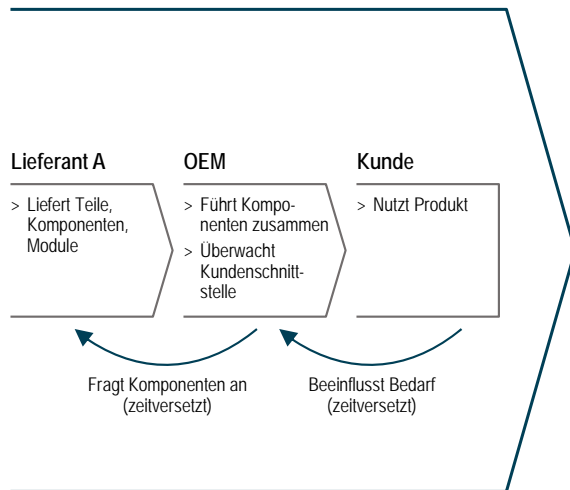
Begriffsdefinition

Digitale Transformation verstehen wir als durchgängige Vernetzung aller Wirtschaftsbereiche und als Anpassung der Akteure an die neuen Gegebenheiten der digitalen Ökonomie. Entscheidungen in vernetzten Systemen umfassen Datenaustausch und -analyse, Berechnung und Bewertung von Optionen sowie Initiierung von Handlungen und Einleitung von Konsequenzen.

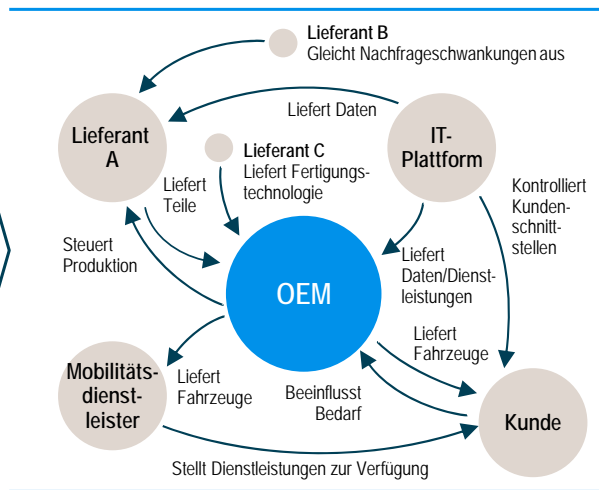
Daraus ergeben sich grundlegende Veränderungen für die Akteure in den betroffenen Märkten. Können sie die neuen Anforderungen nicht erfüllen, treten (digitale) Disruptoren in den Markt ein. Diese sind häufig IT-Unternehmen, die über besondere Kompetenzen etwa in der Datenanalyse verfügen oder Systemlösungen als Software anbieten.

Abb. 1: Auswirkungen der digitalen Transformation am Beispiel der Automobilindustrie

Von starren Wertschöpfungsketten ...



... zu dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken



Digitale Transformation

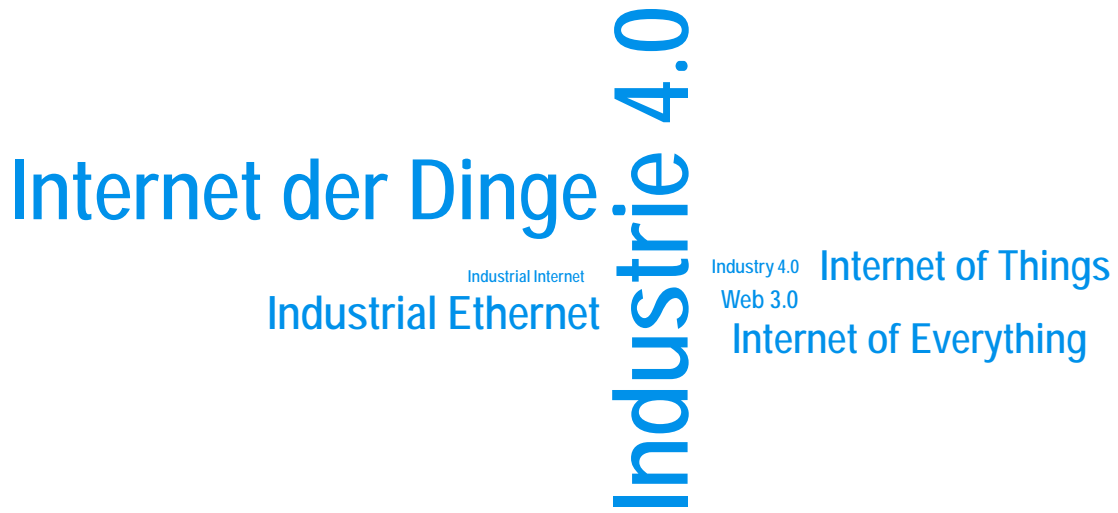
Quelle: Roland Berger

Öffentlicher Diskurs zur digitalen Transformation

Im öffentlichen Diskurs hat die digitale Transformation in den vergangenen Monaten stark an Relevanz gewonnen. In Deutschland konzentriert sich die Diskussion dabei auf das produktionsorientierte Konzept der Industrie 4.0, das den Einsatz digitaler Technologien zur Effizienzsteigerung und Kostenoptimierung beschreibt. In den USA hingegen steht das "Internet of Things" (Internet der Dinge) eindeutig im Zentrum der öffentlichen Wahrnehmung (Abbildungen 2 und 3)¹. Dieses Konzept ist bedeutend weiter gefasst und steht nicht nur für eine (kosten-)effizientere Fertigung, sondern zum Beispiel auch für einen anderen Kundenzugang. In diesem breiteren Verständnis spiegelt sich letztlich auch der viel umfassendere Veränderungsbedarf für Unternehmen wider. So wird nicht nur eine mögliche Disruption in den produzierenden Stufen der Wertschöpfung diskutiert, sondern ebenso über Chancen und Risiken gänzlich neuer Geschäftsmodelle gesprochen. Wir folgen dieser Sichtweise in unserer Studie; die digitale Transformation erfordert eine Perspektive, die über die Fabrik hinausreicht.

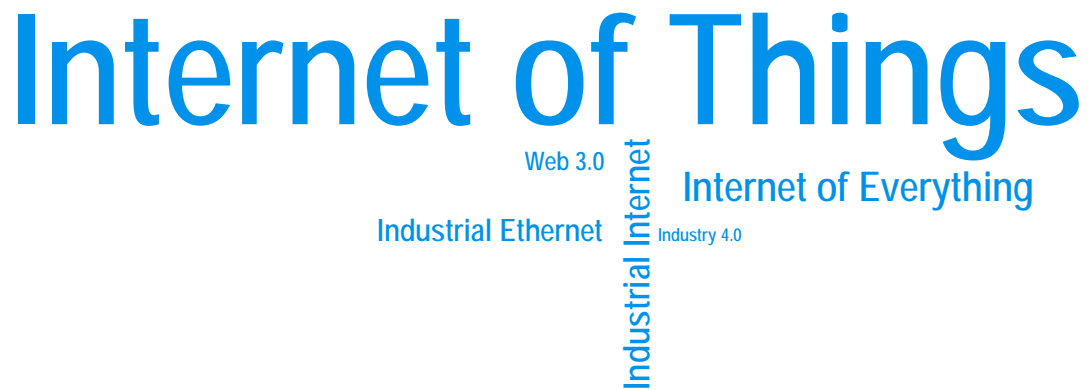
¹ Analyse von mehr als 40.000 Quellen mit über 35 Millionen Wörtern für den Zeitraum Januar 2008 bis Oktober 2014

Abb. 2: Nennung mit der digitalen Transformation verwandter Konzepte [Region: Europa; Sprache: Deutsch]



Quelle: Roland Berger

Abb. 3: Nennung mit der digitalen Transformation verwandter Konzepte [Region: Nordamerika; Sprache: Englisch]

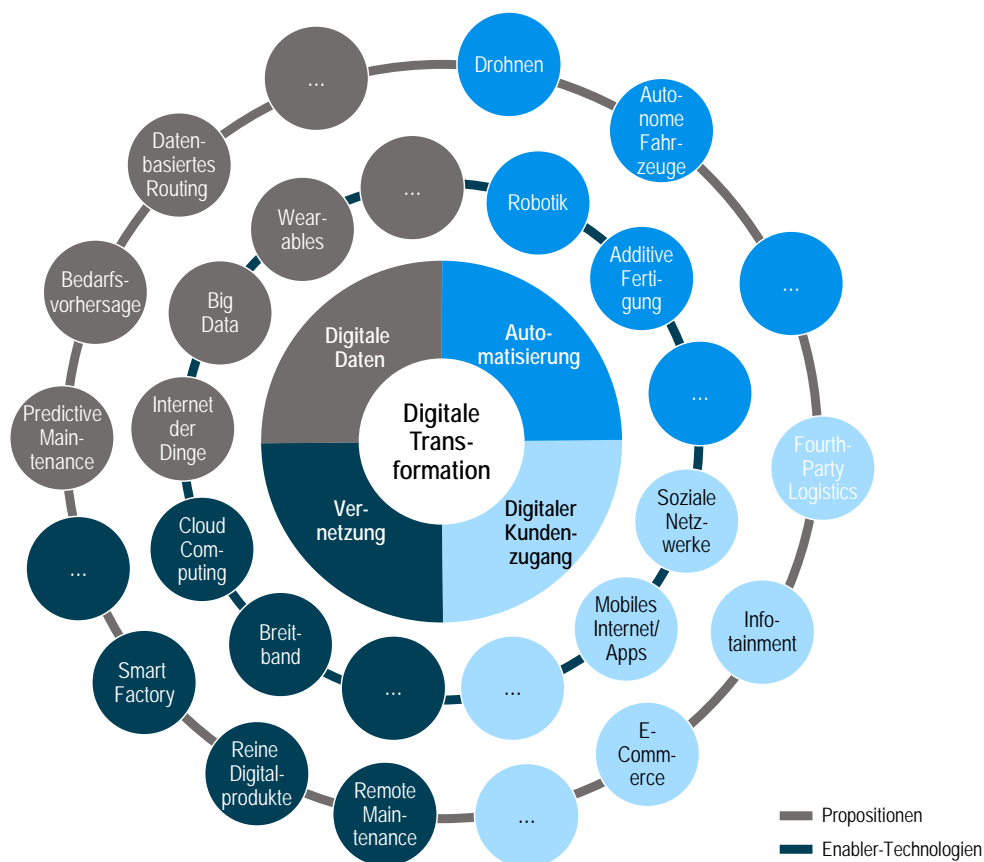


Quelle: Roland Berger

Wie die Digitalisierung Wettbewerbsvorteile erzeugt – vier Hebel

Die Effekte der digitalen Transformation lassen sich entlang von vier Hebeln gliedern, die auf die industrielle Wertschöpfung einwirken. Konkret sind das erstens die Sammlung, Verarbeitung und Auswertung digitaler Daten; zweitens die Automatisierung weiterer Wertschöpfungsaktivitäten und Produkte; drittens die Vernetzung zuvor unabhängiger Systeme; viertens die Schaffung eines direkten Kundenzugangs für Intermediäre über (mobile) Online-Schnittstellen. Diese Hebel basieren auf einer Reihe neuer technologischer "Enabler", die innovative Anwendungsfälle (Propositionen) ermöglichen (Abbildung 4).

Abb. 4: Hebel und Treiber der digitalen Transformation



Quelle: Roland Berger

1. Digitale Daten: Bessere Entscheidungen

Im Internet der Dinge spielt die konstant steigende Anzahl von Sensoren eine bedeutende Rolle. Verknüpft mit Menschen, Maschinen oder Bauteilen, erzeugen sie schon heute ein Vielfaches an neuen Daten ("Big Data"), die sich dank digitaler Technologien besser als je zuvor erheben, speichern und auswerten lassen. Auf Basis dieser Daten können Unternehmen bessere Vorhersagen und Entscheidungen treffen.

Viele Unternehmen erheben bereits heute Nutzungsdaten von Maschinen, anhand derer sie das Auftreten von Defekten vorhersagen können ("Predictive Maintenance"). In der Medizintechnik kann Software durch den Abgleich eines MRT-Bildes (Magnetresonanztomografie) mit einer Datenbank schnell eine präzise Diagnose erstellen.

2. Automatisierung: Höhere Geschwindigkeit, weniger Fehler

Immer mehr Abläufe lassen sich durch die Kombination klassischer Automatisierungstechnik und künstlicher Intelligenz rationalisieren – bis hin zu vollständig autonomen Prozessen. Im Idealfall steigt dadurch die Geschwindigkeit und gleichzeitig sinkt die Fehlerquote. Die Abläufe werden sicherer und die Qualität der Produkte nimmt zu.

In der fertigen Industrie übernehmen selbststeuernde Roboter immer größere Teile der Produktion, zum Beispiel im Flugzeugbau. Autonome Fahrzeuge kommen bereits heute in der Fabrikhalle zum Einsatz, testweise aber auch schon auf öffentlichen Straßen, etwa in Kalifornien.

3. Vernetzung: Flexibler, effizienter und effektiver

Mithilfe moderner Netzwerkprotokolle und gestützt durch Technologien wie Cloud Computing und schnelle Internetanschlüsse lässt sich eine zunehmende Anzahl von Objekten virtuell vernetzen. So kommunizieren Maschinen in der intelligenten Fabrik ("Smart Factory") über virtuelle Systeme und bilden cyber-physische Systeme. Und ganze Lieferketten sind, von den Rohstoffen bis zum fertigen Produkt, aneinandergereiht und an die Nachfrage gekoppelt. Hersteller werden durch zeitnahen Informationsaustausch wesentlich flexibler und können die vorhandenen Ressourcen effizienter und effektiver nutzen.

4. Digitaler Kundenzugang: Neue Intermediäre

Bislang hatten in vielen Märkten nur wenige Anbieter oder Anbietergruppen unmittelbaren Zugang zum Konsumenten oder Abnehmer. Durch digitale Schnittstellen im Internet (E-Commerce) erhalten jetzt neue Akteure einen direkten und skalierbaren Zugang zum Kunden. Intermediäre stellen Plattformen zur Verfügung, die Anbieter und Nachfrager rasch und bequem zusammenbringen. Diese Intermediäre oder Agenten können nach und nach die Kontrolle über die Kundenschnittstelle gewinnen, so wie dies zum Beispiel Google mit Android für mobile Endgeräte gelungen ist.

Ein derartiges Agentenmodell gewinnt an Bedeutung, da empirisches Wissen über den Kunden und seine Bedürfnisse von enormem Wert ist. E-Commerce-Marktplätze wie Alibaba, Amazon oder eBay haben inzwischen dank ihrer Größenvorteile eine solche Marktmacht aufgebaut, dass viele Anbieter auf ihre Dienste kaum noch verzichten können. Doch nicht nur im Handel kann ein digitaler Kundenzugang enorm wertvoll sein. Auch beispielsweise in der Logistik sind 4PL-Provider (Fourth-Party Logistics) ohne eigene Transportinfrastruktur in der Lage, durch Aggregation verschiedener Angebote den optimalen Frachtführer für den Kunden auszuwählen und dafür eine Provision zu erhalten.

Insgesamt entwickelt sich das produzierende Gewerbe aus technischen und regulatorischen Gründen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Nicht überall wird sich die digitale Transformation mit derselben Wucht und Geschwindigkeit entfalten. Doch kann sich kein Unternehmen darauf verlassen, dass es seine Wertschöpfungskette unverändert beibehalten kann, wie die genauere Untersuchung der acht Branchen im Folgenden beispielhaft verdeutlicht.

Detailbetrachtung der Auswirkungen auf das "industrielle Herz" Deutschlands und Europas

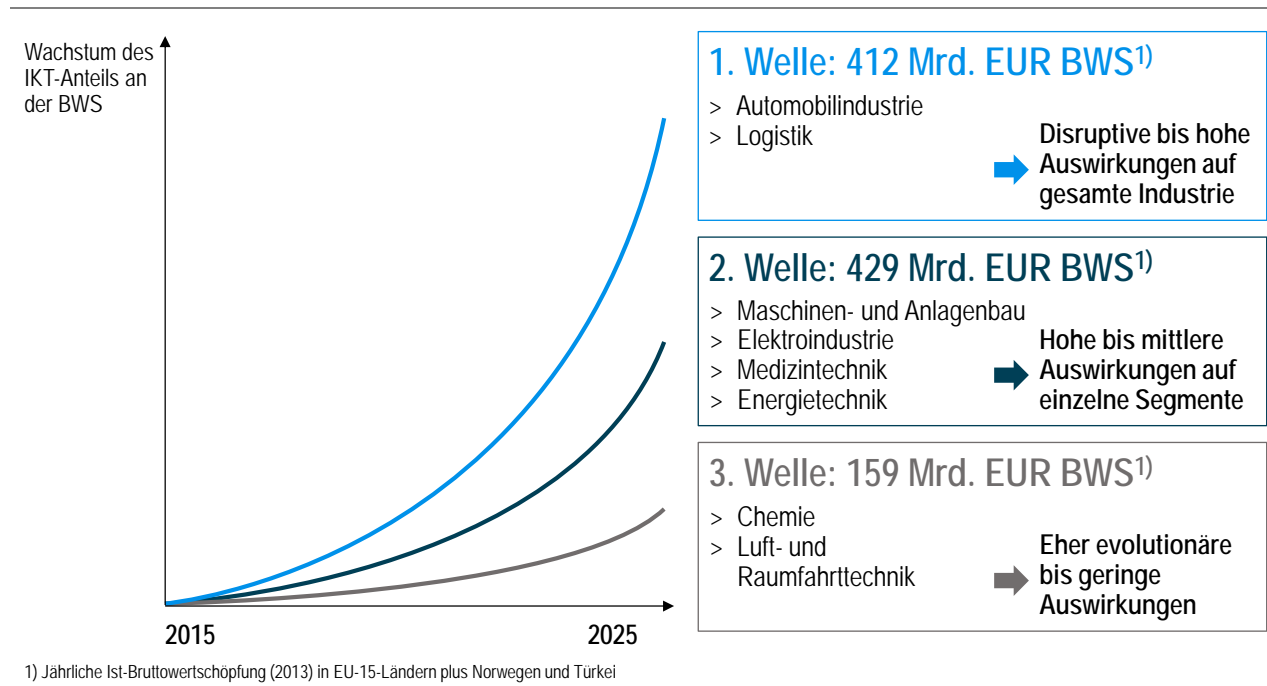
Grundlage unserer Studie ist die Analyse des digitalen Wandels im produzierenden Gewerbe, also im industriellen Kern der deutschen und europäischen Wirtschaft. Die beispielhaft untersuchten acht Branchen erbringen in Deutschland eine Bruttowertschöpfung von 341 Milliarden Euro (2013), in Europa sind es gar eine Billion Euro. Das verarbeitende Gewerbe insgesamt, d.h. weiterverarbeitende oder Endprodukte erzeugende Betriebe, erwirtschaftet zuzüglich Logistik 654 Milliarden Euro. Die acht Branchen des "industriellen Herzens" erbringen somit mehr als die Hälfte der industriellen Wertschöpfung Deutschlands (49 Prozent in Europa). Entsprechend groß ist auch die Bedeutung des industriellen Sektors für den Arbeitsmarkt. In Deutschland beschäftigen allein die betrachteten acht Branchen ca. 5,8 Millionen Menschen.

Jede dieser Branchen lässt sich drei verschiedenen Digitalisierungswellen zuordnen (Abbildung 5). Wie stark sie vom digitalen Wandel erfasst werden, entscheidet sich entlang von drei Fragen:

- > Gibt es Ansatzpunkte für disruptive Innovationen?
- > Betrifft der Wandel die gesamte Branche oder nur ausgewählte Segmente?
- > Bestehen externe Hürden, die einen Wandel verzögern oder verhindern?

Die digitale Transformation wird zunächst die Branchen Automobil und Logistik erfassen, die in Europa eine jährliche Bruttowertschöpfung von 412 Milliarden Euro generieren; dort werden auch die Effekte am stärksten spürbar sein. Die darauffolgende Welle umfasst Medizintechnik, Elektroindustrie, Maschinen- und Anlagenbau sowie Energietechnik (429 Milliarden Euro p.a.) und die dritte schließlich Chemie und Luftfahrttechnik (159 Milliarden Euro p.a.).

Abb. 5: Wertschöpfung der europäischen Industrie und Wirkung der Digitalisierungswellen



Quelle: Roland Berger

Welle 1: Automobil und Logistik erleben eine digitale Zäsur

Die digitale Transformation erfasst am stärksten Automobil und Logistik und kann dort zu einem branchenweiten Strukturwandel führen. Die beiden Industrien machen mit 167 Milliarden Euro fast die Hälfte der Bruttowertschöpfung des Untersuchungsumfangs aus.

- > *Automobil*: Die digitale Transformation ist hier längst im Gange. Der Kampf um Datenhoheit, Kundenschnittstelle und Autonomisierung des Fahrens könnte in naher Zukunft zu einem disruptiven Wandel führen. Noch ist das selbst lenkende Auto nicht ausgereift und der Gesetzgeber zögert mit einer Zulassung – zumindest auf dem deutschen Heimatmarkt. Auch Risiko- und Haftungsfragen sind noch offen.
- > *Logistik*: Sie gilt bereits als hochautomatisiert, bietet aber weiteres Potenzial. Digitale Technologien ermöglichen Zusatzservices; 4PL-Anbieter (Fourth-Party Logistics) könnten den Markt disruptieren und heutige Akteure zu reinen Frachtführern degradieren. Beides würde die gesamte Branche verändern. Auch Maschinendaten und autonomes Fahren werden hier relevant, beispielsweise im LKW.

Automobilindustrie

Der Software-Anteil im Auto steigt kontinuierlich an. Die eingebaute Rechenleistung eines Neuwagens übersteigt inzwischen diejenige eines gängigen Heim-PCs um ein Vielfaches. Neue Sensortechnologien erlauben es, Daten über das Fahrzeug und seine Umgebung zu sammeln und zu verarbeiten. Diese zunehmende Digitalisierung des Autos wird mittelfristig völlig neue Geschäftsmodelle ermöglichen. Die Vernetzung von Produktion, Produkt und Umwelt bietet der Automobilbranche enorme Chancen, die weit über die unmittelbare Wirkung im Fahrzeug hinausreichen. Zahlreiche neue Anwendungsfälle entstehen, aus Daten verwertbares Wissen zu generieren und so die Kosten zu senken und neue Erlöse zu erzeugen (Abbildung 6).

Deutsche Automobilindustrie hat den ersten Digitalisierungsschub schon erfolgreich umgesetzt

Bereits heute spielen digitale Technologien eine entscheidende Rolle entlang der gesamten Wertschöpfungskette der deutschen Automobilbranche, von der Herstellung über die Vermarktung und den Service bis zur Nutzung.

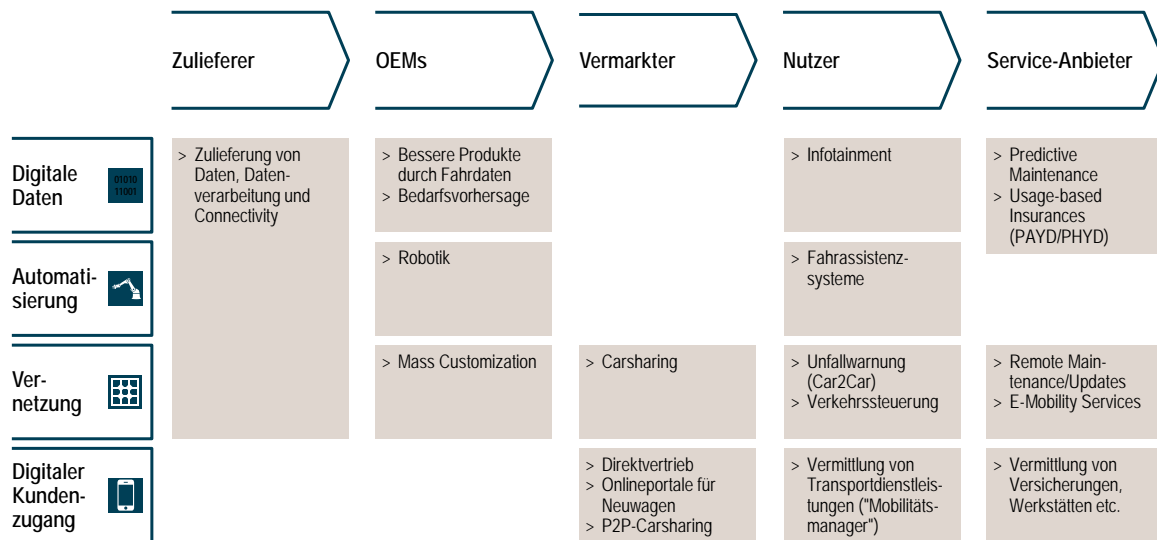
Wer mit neuesten Methoden alle verfügbaren Daten sammelt, verknüpft und auch große Datenmengen nahezu in Echtzeit auswertet ("Big Data"), kann mit den Ergebnissen die bestehenden Prozesse entlang der gesamten automobilen Wertschöpfungskette optimieren. So lassen sich mit dem Erfassen möglichst vieler Nutzungsdaten, die durch zunehmend vernetzte Fahrzeuge automatisch an die Hersteller geschickt werden, die Produktattribute schon in der Entwicklung optimieren. Dies erspart unnötige Mehrkosten etwa für Funktionalitäten, die der Kunde überhaupt nicht oder nur wenig nutzt.

Auch die Fertigung ist bereits heute hochautomatisiert, jedoch wird die Qualität in den meisten Fällen noch mittels statistischer Methoden gesichert, also durch Stichproben und Festlegen von Bauteiltoleranzen. Intelligente Sensorik in einer vernetzten Produktion wird Herstellern künftig helfen, eine quasi hundertprozentige Kontrolle des Werkstücks zu implementieren; auf diese Weise können sie Abweichungen früher erkennen und schneller reagieren.

Der Fahrzeugverkauf verlagert sich währenddessen zunehmend in direkte Kanäle, der stationäre Handel kommt somit unter starken Druck. Tesla etwa vertreibt in China nur noch über das Internet. Auch deutsche Hersteller experimentieren mit netzbasierten Direktvertriebsmodellen, beispielsweise BMW beim Verkauf seiner Elektrofahrzeuge. Wenn Automobile direkt über das Internet bestellt werden, bleibt dem traditionellen Fahrzeughändler nur noch die Rolle eines Agenten oder Auslieferers.

Dass dabei ganz neue Geschäftsmodelle entstehen, zeigt das zunehmende Angebot von Mobilitätsdienstleistungen wie Carsharing durch klassische OEMs. Damit bedienen sie den Kundentrend hin zu "nutzen statt besitzen", ohne ihr eigenes Geschäftsmodell als Fahrzeugverkäufer übermäßig zu kannibalisieren. In 2030 dürften bereits fünf bis zehn Prozent der in Deutschland verkauften Fahrzeuge in Carsharing-ähnlichen Geschäftsmodellen eingesetzt werden.

Abb. 6: Ausgewählte Anwendungsfälle der Digitalisierung – Automobilindustrie



Quelle: Roland Berger

Die größte Umwälzung steht noch bevor

Viele der angeführten Entwicklungen wirken zunächst wie eine Evolution der bestehenden Autowelt. Gleichwohl werden jetzt die Weichen für die Zukunft der Industrie gestellt. Wie genau sie aussehen wird, entscheidet sich vor allem in folgenden Innovationsarenen: die Etablierung des autonomen Fahrens, der Wandel an der Kundenschnittstelle und das Spannungsfeld zwischen Fahrzeug-Hardware (der klassischen OEM-Domäne) und neuer Software.

Wann und wie werden selbststeuernde Autos die Branche verändern?

Die Frage ist nicht mehr, ob es hochautomatisiert fahrende Fahrzeuge geben wird, sondern nur noch, wann und wie genau sich dies auf die Automobilindustrie insgesamt auswirken wird, ja sogar auf die Gesellschaft im Allgemeinen.

Während die für hochautomatisiertes Fahren erforderlichen Subsysteme und Komponenten technisch bereits ausgereift sind, steckt die Entwicklung der benötigten Software und entsprechender Entscheidungsalgorithmen noch in den Kinderschuhen. Der Einmalaufwand dafür lässt sich nur über hohe Stückzahlen amortisieren. Zudem muss das autonome Fahrzeug nicht nur technisch funktionieren, sondern sich auch intuitiv bedienen lassen. Nicht zuletzt gilt es, insbesondere Fragen der Haftung und der Regulierung zu klären.

Diese Hürden können außerhalb der Branche stehende Unternehmen etwa der Internetwirtschaft teilweise leichter nehmen, da sie bereits über relevante Vorkenntnisse und einsetzbare Module verfügen. Auch in der Überwindung rechtlicher Hürden sind sie oft geübter als die Autohersteller. Ihr Eintritt in den Markt für selbststeuernde Fahrzeuge eröffnet gleichzeitig vollkommen neue Geschäftsmodelle. Aktuelles Beispiel ist der Internetriese Google, der in drei US-Bundesstaaten Lizenzen für den Betrieb autonomer Fahrzeuge besitzt – bislang zwar nur zu Testzwecken, aber dabei dürfte es nicht bleiben. Schließlich stellt sich die Frage, wie sich diese Form der Mobilität am ehesten vermarkten lässt, zum Beispiel durch neue Abrechnungsmodelle wie Pay-per-Use.

Autonomes Fahren hat das Potenzial, die Automobilindustrie in ihren Grundfesten zu erschüttern, und leistet neben anderen Trends – Stichwort Shared Mobility – der weiteren Kommoditisierung des Automobils Vorschub. OEMs schaffen sich zwar zunächst neue Absatzmöglichkeiten; diese Chancen sollten ihnen aber keinesfalls den Blick auf die Risiken verstellen: Autonomes Fahren bedroht ihr Geschäftsmodell. Es hat das disruptive Potenzial, OEMs gegebenenfalls zu bloßen Hardware-Lieferanten in einem von Software-Firmen dominierten Markt zu machen.

Wer hat Zugriff auf die im Fahrzeugbetrieb erzeugten Daten?

Die Hoheit über maßgebliche Daten wird in der gesamten Wirtschaft zum entscheidenden Wettbewerbsvorteil. Dies gilt für die Autoindustrie in besonderem Maße, wo sie u.a. eine wichtige Rolle bei der Weiterentwicklung von Konzepten für das autonome Fahren spielen. Nur das Unternehmen, das über die erzeugten Daten verfügt, kann die im Fahrzeug genutzte Robotik "lernen" lassen und detaillierte und permanent aktualisierte Umgebungskarten entwickeln. Derzeit ist weltweit nur eine geringe Zahl von Anbietern imstande, digitalisierte Karten in geeigneter Qualität zu erstellen.

Das Thema Datenhoheit entscheidet nicht zuletzt darüber, wem die Open Automotive Alliance (OAA) am meisten nützt, der fast alle wichtigen OEMs beigetreten sind. Diese Kooperation mit Google soll das Betriebssystem Android auch im Fahrzeug heimisch machen. Doch nur wenn sämtliche Daten über die Server der OEMs laufen, werden diese die Kontrolle über das relevante Wissen behalten. Die Frage ist, ob sie sich auf diesem Wege langfristig auch den (exklusiven) Zugang zu ihren Kunden sichern oder ihn eher verlieren – und was die möglichen Folgen sind.

Wer kontrolliert den Zugang zum Kunden, wer rückt als Zulieferer in die zweite Reihe?

Schon heute haben sich neue Intermediäre als Vermittler zwischen Hersteller und Käufer geschoben. Die Kunden kaufen Neuwagen längst im Internet, vergleichen Preis und Leistung von Kfz-Versicherungen über Portale und nutzen

– zumindest in einigen amerikanischen Großstädten recht umfangreich – individuelle Transportdienstleistungen von Privatfahrern.

Künftig sind noch stärker integrierte Modelle denkbar. Wenn es nur darum geht, bestmöglich von A nach B zu gelangen, könnte ein Mobilitätsmanager dem Kunden Buchung und Bezahlung aus einer Hand anbieten; die Transportdienstleistung für einzelne Teilstrecken würde zur austauschbaren "Commodity" und das Autofahren nur einer von mehreren gleichwertigen Fortbewegungsmodi. Sobald ein solcher Akteur in den Markt eintritt, wird er definieren, wie die Wertschöpfungskette der Mobilität in Zukunft aussieht. Dieses Modell eines intermodalen Mobilitätsmanagements dürfte besonders große Auswirkungen auf die Automobilindustrie haben, wenn die Fahrzeuge zunehmend automatisiert fahren.

Ausblick: Nicht auf eigenen Vorsprung verlassen

Trotz immer kürzerer Produktlebenszyklen kann sich die Automobilindustrie nur schrittweise verändern. Allein durch die Größe der installierten Basis wirken große Beharrungskräfte: Im Durchschnitt dauert es drei bis sechs Jahre, ein neues Fahrzeug zu entwickeln, das dann im Durchschnitt zwölf Jahre auf deutschen Straßen fährt. Deshalb dauert die Einführung neuer, mit dem Produkt Auto verknüpfter Technologien zwingend länger als bei anderen Gütern. Auch die Regulierung hat eine verzögernde Wirkung, dies gilt insbesondere in Bezug auf Datenschutz und autonomes Fahren. Das Tempo der Transformation wird sich danach richten, wie die Regeln ausgestaltet sind und welche Bestandskraft sie gegenüber neuen Angeboten haben.

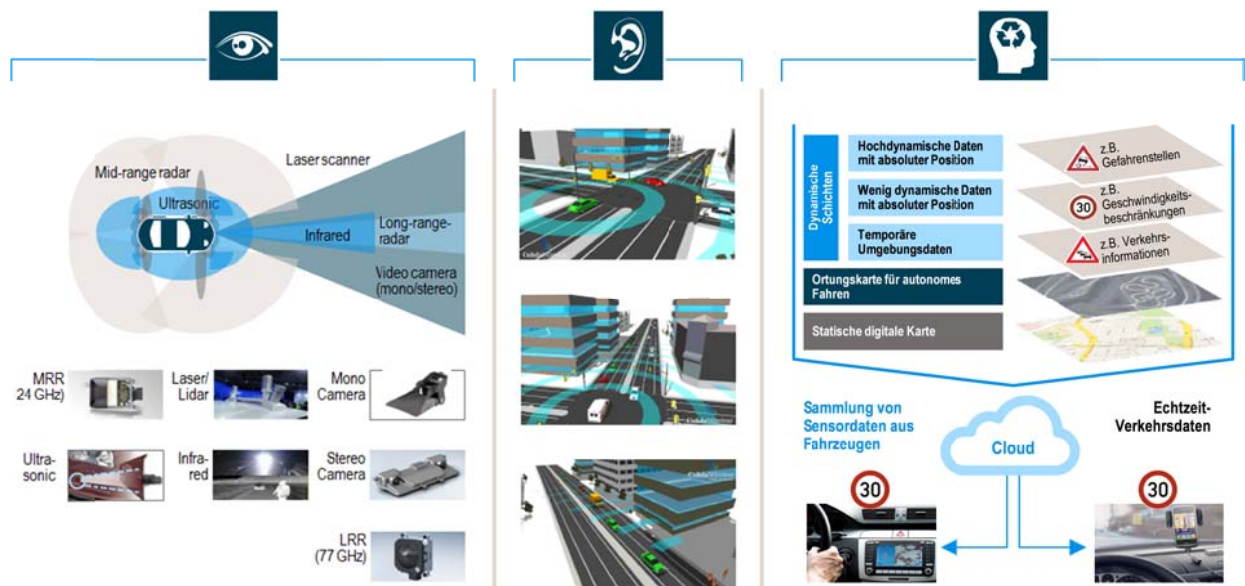
Infobox: Autonomes Fahren

Im hochautomatisierten Betrieb übernimmt das Fahrzeug selbst sämtliche Fahrfunktionen. Dazu benötigt es:

- > Räumliches Vorstellungsvermögen – ein detailliertes Bild des direkten Fahrzeugumfelds (z.B. Fahrbahnmarkierung, Lage und Höhe des Bordsteins, Vorhandensein von Hindernissen, Bodenbeschaffenheit sowie geltende Verkehrsregeln) und die genaue Position des Fahrzeug darin
- > Prognosetechniken – die Fähigkeit, das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer zu erfassen und voraussagen (von Fahrzeugen ebenso wie von Fußgängern und Tieren), um mögliche Gefahrensituationen frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden
- > Dynamische Routenplanung – die Fähigkeit, die Streckenplanung der jeweiligen Fahr- und Fahrzeugsituation anzupassen

Um diese Funktionen im Auto zu realisieren, bedarf es einer Reihe neuer Technologien. Dazu gehören eine weiterentwickelte Sensorik, eine redundant ausgelegte Fahrzeugarchitektur sowie die Zusammenführung sämtlicher Steuerfunktionen in einer zentralen Intelligenz, die – bildlich gesprochen – das Auge, Gehör und Gehirn des Autos bildet (Abbildung 7). Des Weiteren braucht es ein entsprechendes Interface, hochauflösende Karten und lernfähige Entscheidungsalgorithmen. Insbesondere die Entwicklung der Algorithmen ist mit hohen Einmalaufwendungen verbunden, die sich nur über einen hohen Marktanteil amortisieren oder durch Nutzung übergreifender Plattformen minimieren lassen. Schließlich sind umfassende Fragen des Risikos und der Haftung durch Regulierung zu klären.

Abb. 7: Auge, Gehör und Gehirn des Autos – Steuerungsmodulare eines autonomen Fahrzeugs



Quelle: BMW; Bosch; Roland Berger

Logistik

Noch ist die deutsche Logistikbranche international spitze: Sie ist an den wichtigsten Standorten mit den größten Warenströmen tätig und einige Unternehmen führen die Branche auf dem Weltmarkt an. Doch die Zukunft ist digital: Der Grad an Automatisierung und Vernetzung nimmt auf hohem Niveau weiter zu und wird die Branche durcheinanderwirbeln. Logistikunternehmen erhalten damit ganz neue Möglichkeiten, stehen aber auch vor großen Herausforderungen.

Weltmarktführer DHL zum Beispiel nutzt bereits heute sogenannte Smart Trucks, die ihre Routen in Echtzeit auf Basis von Verkehrsdaten und Bestellsituation optimieren. Der mittelständische Großhändler Lekkerland verbindet seine Kühl-/Spezialtransporte durch Telematik mit zentralen Servern, die ständig die Temperatur im Laderaum aufzeichnen und bei Bedarf automatisch den Fahrer informieren, damit er die Ware rechtzeitig vor Schaden schützen kann.

Digitalisierung bereits heute weit fortgeschritten

Trotz des schon erreichten hohen Automatisierungsniveaus besteht bei der Organisation von Lieferketten und Güterströmen weiter Optimierungspotenzial. Wer seinen Erfolg in der Logistik auf längere Sicht ausbauen will, muss heute entscheidende Fragen klären: etwa, wer welche Standards setzt, ob Branchenfremde den Markt umwälzen und welchen Mehrwert die Logistikunternehmen der Zukunft ihren Kunden erschließen.

Einige einschneidende Folgen der digitalen Transformation für die Branche lassen sich aktuell bereits beobachten, besonders in den Vereinigten Staaten. Dank Digitalisierung optimiert die Logistik stetig ihre Kernprozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette; das beginnt bei Lagerhaltung und Routenplanung und setzt sich fort in völlig neuen Geschäftsmöglichkeiten, etwa in Form von Spotmärkten oder neuer Citylogistik (Abbildung 8).

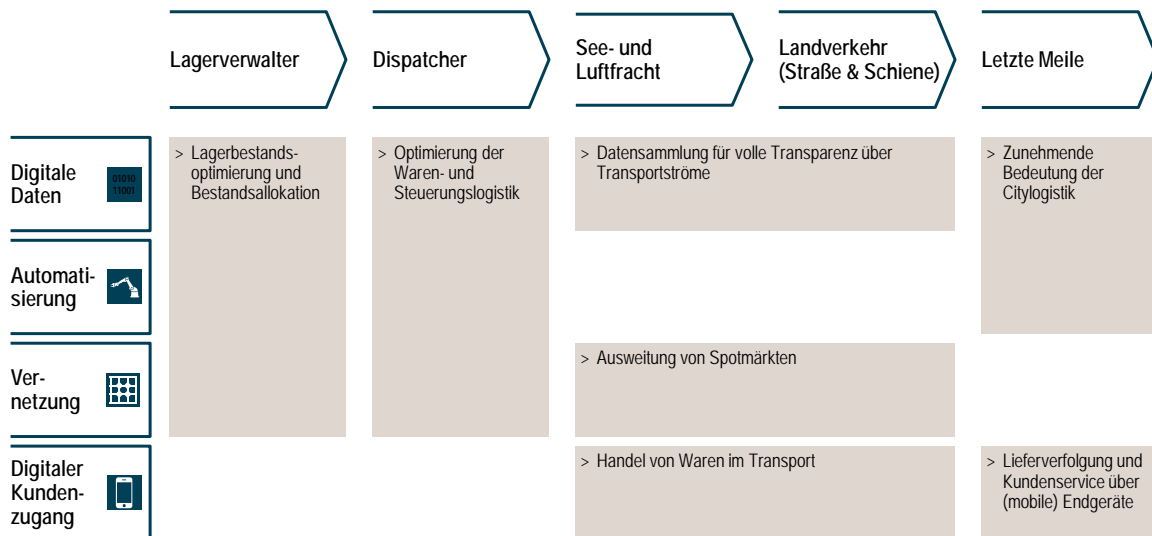
Guten Logistikunternehmen gelingt es mithilfe digitaler Daten, die Bestände in ihren Lagern optimal zu disponieren und den richtigen Bestimmungsorten zuzuordnen. Auf diese Weise können sie zum Beispiel Waren mit hohem Umschlag direkt in der Region der Nachfrage vorhalten. Oder sie prognostizieren auf Basis großer Datenmengen den künftigen Bedarf ihrer Kunden und initiieren eine Lieferung vorab auf eigene Initiative ("Predictive Analytics"). Durch Auswertung reichlich vorhandener Kundendaten aus internen und externen Quellen dezentralisiert beispielsweise Amazon seine Logistik. Der Internethändler sagt den Bedarf mit hoher Treffgenauigkeit vorher und verteilt die Ware auf entsprechende Regionallager, bevor ein Kauf zustande kommt ("Anticipatory Shipping").

Einzelne Waren lassen sich heute kostengünstig mit kleinsten Sendern und Empfängern ausstatten, die es erlauben, sie berührungslos zu identifizieren und im Warenfluss zu orten. Die eSim wird hier die nächste Entwicklungsstufe eröffnen. So entstehen im Internet der Dinge riesige Mengen neuer Daten, mit denen sich Transportströme analysieren und verbessern lassen. Gleichzeitig werden immer mehr aktuelle Verkehrsdaten über stationäre Sensoren und aus mobilen Endgeräten verfügbar, die sich mit der Kartierung etwa von TomTom oder Google Maps verknüpfen lassen. Mit diesen Daten kann die Logistikbranche jederzeit die schnellste Route wählen und gegebenenfalls sogar den Transportmodus ändern. UPS etwa investiert eine Milliarde US-Dollar jährlich in sein Projekt ORION (On-Road Integrated Optimization and Navigation). Ziel dieses weltgrößten Forschungsprojekts über Betriebsabläufe ist es, jede Route nahezu in Echtzeit zu optimieren und so das Zeitfenster für jede Lieferung auf eine Stunde zu beschränken.

Die digitale Transformation erlaubt zudem die Ausweitung von Spotmärkten auf neue Transportmodi. Bislang waren sie vor allem für Luft- und Seefracht üblich, wo der Lieferweg relativ lang im Voraus geplant werden muss. Aus diesem Vorlauf resultieren typischerweise erhebliche Über- und Unterkapazitäten, die im Falle standardisierter Güter (z.B. Rohstoffe) über digitale Handelsplattformen ausgeglichen werden. Durch zunehmende Vernetzung entsteht nun auch in der Überlandlogistik die Möglichkeit, kurzfristige Spotgeschäfte zu tätigen und so vorhandene Ressourcen effizienter zu nutzen. Die US-Firma InternetTruckstop.com etwa sieht sich als Bindeglied zwischen Ladung und LKW, Entscheidern und Daten. Als auktionsbasierter Online-Marktplatz für LKW-Spotkapazitäten bietet sie Frachtunternehmen eine große Bandbreite datenbasierter Dienste an und hat damit das Potenzial, in andere Marktsegmente vorzustoßen.

Auch auf der letzten Meile nimmt die digitale Transformation Einfluss auf die Logistikbranche. Die Transportströme in den Innenstädten vergrößern und verändern sich nachhaltig: Stationäre Einzelhandelsketten, die ein breites Spektrum verschiedener Marken anbieten, werden vom elektronischen Handel und von Geschäften abgelöst, die nur noch ihre eigene Marke verkaufen. Beide Handelstypen (E-Commerce und Monobrand) stellen immer höhere Anforderungen an Liefer- und Termintreue. Damit dürfte die heute noch besonders belohnte "Lieferung am selben Tag" zur Standardleistung degradiert werden. Durch die genaue Auswertung von Kundendaten wird sich die Citylogistik weiter professionalisieren. Gleichzeitig treten Intermediäre mit direkter Kundenschnittstelle in den Markt für Kurierdienste ein. So ist Uber in New York nicht nur ein Taxikonkurrent, sondern nutzt die lizenzierten Fahrzeuge auch für Kurierdienste und weitet somit sein Transportangebot von Personen auf Waren aus.

Abb. 8: Ausgewählte Anwendungsfälle der Digitalisierung – Logistik



Quelle: Roland Berger

Disruptives Potenzial durch Vereinheitlichung von Schnittstellen, 4PL-Anbieter und Mehrwertlogistik

Mittel- bis langfristig werden Standardsetzung, 4PL-Dienstleister (Fourth-Party Logistics) und Anbieter von Mehrwertlogistik entscheidenden Einfluss auf die Branche haben.

Werden sich langfristig weltweite Standards für Kommunikation und Schnittstellen durchsetzen?

Das Internet der Dinge gewährt allen beteiligten Instanzen vollständige Transparenz über Logistikprozesse und gestattet es, alle Elemente der Lieferkette zu vernetzen. Aktuell ist die Kommunikation in der Logistik vielfach noch aufwendig und fehleranfällig, Lieferketten sind wenig transparent. Die präzise Bestimmung des Standorts einer Lieferung ist häufig erst am nächsten Umschlagplatz oder bei Übergabe an die nächste Transportstufe möglich. Bis heute wird über weite Strecken der Logistik noch jeder Schritt in Form gedruckter Dokumente kommuniziert, in der Luftfahrt sind dazu teilweise bis zu 30 Dokumente je Lieferung erforderlich. Wo bereits IT-Systeme genutzt werden, sind sie organisch gewachsen und damit in der Funktionalität beschränkt; außerdem gelten sie häufig nur für einzelne Branchen.

Wer durchgehende Transparenz über Warenbestände und -ströme haben will, ist darauf angewiesen, nach einheitlichen Standards über gemeinsame Schnittstellen zu kommunizieren. Solche Standards fehlen bis dato. Wer derartige Standards prägt oder setzt, wird klare Wettbewerbsvorteile erreichen.

Erste Ansätze dazu gibt es in der Luftfahrt: Der elektronische Luftfrachtbrief e-AWB (e-Air Waybill) ermöglicht den Austausch von Lieferinformationen auf allen Etappen des Frachtwegs vom Hersteller über Verladere, Spedition, Zoll, Fluggesellschaft, Lagerbetreiber usw. bis hin zum Empfänger. Bis Ende 2016 sollen 80 Prozent der weltweiten Luftfracht mit e-AWB ausgestattet sein. So lautet das Ziel des Branchenverbands IATA (International Air Transport Association), der diesen Standard geprägt hat.

Werden Anbieter von 4PL-Komplettlösungen mit direktem Kundenzugang Teile des Markts umwälzen?

Schon mehrfach in den vergangenen Jahren wurden probeweise Frachtbörsen eingeführt. Diese Versuche sind aber bisher gescheitert, obwohl sie eigentlich Flexibilität und Transparenz erhöhen würden und damit potenziell einen großen Mehrwert für Industriekunden darstellen.

Mit Internetunternehmen wie Amazon oder Uber könnten neue Akteure versuchen, solch einen Markt aufzubauen – im ersten Schritt für die Citylogistik, wo beide bereits Pilotprojekte gestartet haben. Sie verfügen nicht nur über einen direkten Kundenzugang, sondern besitzen auch einen Kompetenzvorsprung bei der Auswertung gesammelter Daten. Und sie wissen aus Erfahrung, wie sie nutzerfreundliche digitale Anwendungen programmieren müssen. Diese Akteure hätten somit das Potenzial, eine integrierte (datengestützte) Prozesskette aufzubauen, entweder unter Nutzung eigener Infrastruktur oder durch bloße Vermittlung der Infrastruktur Dritter. Der klassische Logistikdienstleister könnte im Zuge dieser Entwicklung auf eine reine Transportfunktion mit deutlich schwächeren Margen beschränkt werden.

Welchen Mehrwert werden die Logistiker der Zukunft ihren Kunden bieten?

Die Logistik ist heute geprägt von branchenspezifischen Lösungen nach Vorgaben des jeweils dominanten Akteurs, beispielsweise großer Autohersteller. Logistiker versuchen entsprechend, ihre Dienstleistungen an den Anforderungen dieser Akteure auszurichten.

Dabei bieten Logistiker ihren Kunden in begrenztem Umfang auch Mehrwertdienste an. Der tatsächliche Bedarf der meisten Industriezweige ist aber sehr viel größer: beispielsweise an umfassender, in Echtzeit verfügbarer Transparenz entlang der gesamten Lieferkette – also nicht nur innerhalb jeder Wertschöpfungsstufe, sondern vom Rohstofflieferanten bis zum Käufer. Beim Auftreten sogenannter Black Swans (unerwartete Ereignisse großer Tragweite wie das Erdbeben in Japan im Jahr 2011 oder die politischen Umwälzungen in Libyen und der Ukraine) sind jene Akteure klar im Vorteil, die durchgehende Transparenz über ihre gesamte Lieferkette haben und durch rasche Reaktion ihre Produktion weitgehend ungestört aufrechterhalten können.

Mehrwertdienste stellen ein enormes Potenzial für Logistiker dar; sie erfordern in erster Linie die Fähigkeit, große Datenmengen auszuwerten. Abzuwarten bleibt daher, ob tatsächlich die Logistikunternehmen selbst dieses Potenzial nutzen können – oder ob sie von neuen Akteuren zunehmend auf die Rolle reiner Frachtführer reduziert werden.

Ausblick: Entwicklung gemeinsamer Standards als Eintrittskarte für Partizipation an der Digitalisierung

Die Logistik wird ihr vollständiges Potenzial erst dann erschließen, wenn branchenübergreifende Standards existieren. Derzeit vollzieht sich die Entwicklung solcher Standards eher zögerlich. Markteintritte branchenfremder Akteure, die ihre Kompetenz im Sammeln und Auswerten von Daten einbringen, würden den Prozess jedoch erheblich beschleunigen, denn diese könnten mehrere Entwicklungsstufen überspringen und damit schnell zum Zug kommen. Umso wichtiger für die etablierten Logistikunternehmen ist es, jetzt gemeinsame Standards voranzutreiben.

Vielversprechend sind dabei weltweite oder zumindest europaweite Lösungen, wie sie etwa die IATA für die papierlose Luftfracht prägt. Internationale Initiativen könnten die Bildung einheitlicher Kommunikations- und Datenstandards massiv beschleunigen.

Welle 2: Medizin-, Elektroindustrie, Maschinen- und Anlagenbau sowie Energietechnik sehen sich einem digitalen Umbruch gegenüber

In den Branchen Medizintechnik, Elektroindustrie, Maschinen- und Anlagenbau sowie Energietechnik wird die Digitalisierung starke bis mittlere Auswirkungen auf einzelne Segmente haben und damit insgesamt 127 Milliarden Euro Bruttowertschöpfung betreffen.

- > *Medizintechnik:* Der digitale Fortschritt in der Medizin findet zunächst vor allem an der Patientenschnittstelle statt. Aber auch bei der Medizintechnik im engeren Sinn könnten insbesondere in der Diagnostik neue Anbieter aus der Datenverarbeitung in den Markt eintreten, welche die bisherigen Hersteller zu Zulieferern degradieren. Freilich steht dem bislang der Schutz hochsensibler Patientendaten im Wege. Zudem wird hier die Robotik an Bedeutung gewinnen, insbesondere im Mikro- und Nanobereich.
- > *Elektroindustrie:* Der "Hardware-Lieferant für das Internet der Dinge" besitzt große Wachstumschancen, denn er stellt Prozessoren, Komponenten und Sensoren her, die sich in intelligenten Maschinen, Fahrzeugen, Haushaltsgeräten etc. befinden. Einerseits ist mit einer Konzentration auf wenige Anbieter zu rechnen, weil diese kostengünstig standardisierte und daher flexibel einsatzfähige Komponenten herstellen können. Andererseits steigen in einigen Fachbereichen die Anforderungen etwa an die Sicherheit, sodass Spezialisten weiterhin gebraucht werden.
- > *Maschinen- und Anlagenbau:* Er nutzt Industrie 4.0 einerseits selbst für die eigene Produktion, bietet diese aber vor allem als Produkt oder Dienstleistung für andere Unternehmen an – und verschafft ihnen damit Wachstumsmöglichkeiten. Durch die Anforderung einer übergreifenden Kommunikation auf Basis einheitlicher Standards könnten allerdings neue Akteure auftreten und bestimmte Marktsegmente beherrschen oder auch Hoheit über Maschinendaten gewinnen.
- > *Energietechnik:* Neue Technologien haben das Potenzial, die gesamte Energiewirtschaft zu transformieren. Sobald die Idee des Smart Grid vorangetrieben wird, entsteht Bedarf für kleinere Anlagen zur Energieerzeugung und mit ihnen eine neue Netztopologie. Diese wird allerdings mit großen Herausforderungen bei der Finanzierung und Umsetzung zum Beispiel neuer Stromtrassen verbunden sein.

Medizintechnik

Das Potenzial digitaler Technologien im wachsenden Gesundheitssektor ist immens. Neue Anwendungsfälle und Geschäftsmodelle entstehen vor allem im direkten Kontakt mit Patienten: von der weiteren Digitalisierung von Patientendaten über Videosprechstunden bis hin zur digital gestützten Fernbetreuung von Senioren in Form permanenter Überwachung wichtiger Gesundheitsparameter. Auch die in dieser Studie betrachtete Medizintechnik im engeren Sinne wird eine Fülle an Neuerungen entwickeln. Digitale Technologien verändern schon heute die gesamte medizintechnische Wertschöpfungskette grundlegend, von der Diagnostik und Therapie bis zum klinischen Beschaffungswesen und zum Einsatz von Robotik bei der Pflege in alternden Gesellschaften (Abbildung 9).

Siegeszug von Patientenvernetzung, Miniaturisierung und additiver Fertigung

Datengestützte medizinische Geräte können Diagnosen unterstützen und dem Therapeuten spezifische Behandlungsmethoden empfehlen. Sensoren am Körper oder in der Kleidung von Patienten werden heute zur Messung von Körpertemperatur, Atem- und Herzfrequenz, Blutdruck und Sauerstoffsättigung genutzt. In Verbindung mit therapeutischen Geräten werden sie eingesetzt, um etwa Durchflussraten bei der Dialyse zu screenen oder den Beatmungsdruck zu regulieren. Das intelligente Zusammenspiel von Sensoren mit Steuerungssoftware ermöglicht es, insbesondere bei Risikopatienten sofort auf kleinste Änderungen von Parameterwerten zu reagieren.

In Verbindung mit telemedizinischen Anwendungen lassen sich die erhobenen Daten an eine zentrale Stelle übertragen. Die Auswertung großer Mengen an Patientendaten über mächtige Datenbanken eröffnet riesige Chancen. Dadurch entstehen neue Märkte, in denen die Medizintechnik auch mit klassischen IT-Unternehmen kooperieren wird. Fresenius Medical Care beispielsweise betreibt eigene Dialysezentren und wertet den Einfluss von Medikamenten vor, bei und nach Abertausenden von Blutwäschen aus. Auf dieser breiten Datengrundlage lässt sich eine passende Medikation empfehlen, um den Krankheitsverlauf zu verlangsamen und die Nebenwirkungen der Therapie zu reduzieren. Ein anderes Beispiel ist ein Service der Foundation Medicine, der Genomanalysen im Kontext neuester Informationen aus wissenschaftlicher und medizinischer Literatur sowie klinischen Studien auswertet, um dem behandelnden Arzt eine Entscheidungsunterstützung bei der Therapieauswahl zu geben.

Ähnlich wie in anderen Industriezweigen ermöglichen CAD/CAM-Technologie (Computer-Aided Design/Manufacturing) und additive Fertigung ("3D-Druck") auch in der Medizintechnik eine schnellere, effizientere Herstellung von Komponenten. Damit können Lieferengpässe beseitigt, Inlays direkt am "Point of Care" hergestellt und effizienter gestaltete Formen (etwa bei Zahnimplantaten) verwendet werden.

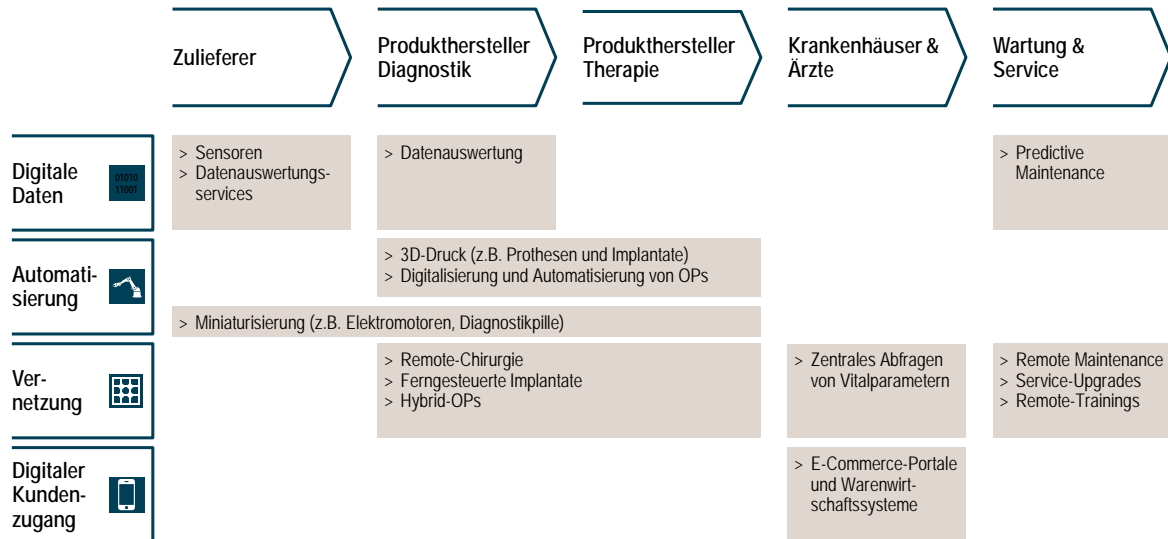
Die Digitalisierung ermöglicht ferner die Miniaturisierung medizinischer Geräte, mit Größen von teilweise unter einem Millimeter, für Diagnostik und Therapie. Anstelle der herkömmlichen Darmspiegelung kann heute bereits eine sogenannte Kapselskopie treten, bei der Videokamera und Sensoren in einer Diagnostikpille durch den Darm reisen und per WLAN hochauflösende Bilder liefern. Diabetiker profitieren von der Insulinpumpe, die jederzeit über ein Infusionsset Insulin dosiert in den Körper leitet und per Funk mit dem Blutzuckermessgerät verbunden ist.

Vorteil derartiger Minigeräte: Sie können Medikamente ganz gezielt im Körper abgeben. Die University of Texas hat einen Nanoelektromotor entwickelt, der etwa ein 500stel so groß ist wie ein Salzkorn und mit 300 Umdrehungen pro Sekunde im Körper genau an die zu therapierende Stelle reist. Dort erhöht er seine Drehzahl so, dass er die Substanz per Fliehkraft an die Umgebung abgibt, wobei sich die Dosierung durch die Drehzahl sehr genau kontrollieren lässt. Und der Medizintechniker James Friend hat schon vor Jahren Microbots vorgestellt, die mit Kameras und Sensoren über die Blutbahn in entlegene Bereiche des Herz-Kreislauf-Systems vordringen. Die nur einen Viertel Millimeter großen Roboter erheben diagnostische Daten und können sogar kleine Eingriffe vornehmen.

In den vergangenen Jahren hat das minimalinvasive, von Robotern unterstützte Operieren vor allem in der Urologie an Bedeutung gewonnen. Mithilfe des daVinci-Operationssystems beispielsweise wird bereits ein Drittel aller Eingriffe an der Prostata durchgeführt. Es verbindet die Vorteile der minimalinvasiven Chirurgie mit hochauflösender 3D-Visualisierung und ermöglicht komplexe Eingriffe, die sonst einigen wenigen Spezialisten vorbehalten blieben. Das Fachwissen über operative Eingriffe kann sich mittels digitaler Technik besser verbreiten, Ärzte erhalten weltweit Zugriff auf das Know-how der besten Fachkollegen.

Auch der Einkauf im klinischen Bereich wird sich massiv verändern. Große Teile der Beschaffung in Krankenhäusern laufen derzeit noch per Fax, E-Mail oder Telefon. Integrieren Kliniken eine E-Commerce-Schnittstelle in ihr Warenwirtschaftssystem, so können sie erhebliche Kosten sparen, denn insbesondere kleine und standardisierte medizinische Geräte lassen sich über Online-Beschaffungsportale deutlich günstiger einkaufen. Dies wird in der Medizintechnik zu einem größeren Preisdruck führen.

Abb. 9: Ausgewählte Anwendungsfälle der Digitalisierung – Medizintechnik



Quelle: Roland Berger

Welche Patientendaten werden für wen verfügbar sein, wem gehören die Daten und wer darf diese wie nutzen?

Patientendaten unterliegen der ärztlichen Schweigepflicht und sind folglich streng vertraulich zu behandeln. Ihre schnelle, leichte und vollständige Verfügbarkeit birgt – selbst in anonymisierter Form – erhebliche Datenschutzrisiken, zumal oft wenige medizinische Parameter genügen, um einzelne Personen zu identifizieren. Dem steht entgegen, dass eine zentrale Speicherung und Auswertung dieser Daten einen riesigen medizinischen Fortschritt zum Wohle des Patienten mit sich bringen kann.

Besonders zum Tragen kommt dieser Effekt in der Diagnostik. Durch Zusammenschluss mehrerer Krankenhäuser, durch entsprechende Zusatzangebote von Medizintechnikherstellern oder auch durch neue Services von IT-Dienstleistern könnten zum Beispiel Analyseergebnisse aus bildgebenden Verfahren in einer zentralen Datenbank oder in der Cloud gespeichert und abgeglichen werden. Anwendungsfälle sind u.a. Röntgendiagnostik, Ultraschall, Magnetresonanztomografie (MRT), Computerregulationsthermografie (CRT), Molekulardiagnostik, klinische Chemie, Zytologie etc. Insbesondere die Verknüpfung diagnostischer Daten aus unterschiedlichen Quellen dürfte entscheidende Hinweise für verbesserte Therapien geben.

Den größten Marktumbruch zur Folge hätte es, wenn Anbieter von Datenbankentechnik sich als eigenständige Akteure neben Ärzten, Krankenhäusern und Krankenkassen im Entscheidungsprozess für Therapie und Medikamenteneinsatz etablieren sollten. Die ersten Schritte in diese Richtung sind bereits gemacht. Das von Google mitfinanzierte Biotech-Unternehmen 23andMe etwa wertet im Auftrag von Privatpersonen genetische Informationen durch Abgleich mit seiner riesigen Datenbank aus. Kunden brauchen nur eine Speichelprobe abzugeben, um Auskunft über ihre genetischen Veranlagungen oder die geografische Herkunft ihrer Vorfahren zu erhalten. Google-Chef Larry Page postuliert, jährlich ließen sich 100.000 Menschenleben retten, wenn sein Unternehmen die Daten aus dem Gesundheitswesen analysieren würde.

Ausblick: Standardisierung, Regulierung und Finanzierung als Vorbedingung tragfähiger Geschäftsmodelle

Eine Hürde für die weitere Digitalisierung ist die Fragmentierung des Medizintechnikmarkts. Allein in Deutschland wird er von 418 Unternehmen bearbeitet, die eine große Vielfalt an Produkten und Insellösungen anbieten. Produkt- oder herstellerübergreifende Standardlösungen aus der Branche selbst heraus zu etablieren, wird daher schwierig sein.

Bei der Zulassung medizintechnischer Produkte spielt zudem Regulierung eine große Rolle, mit einem Schwerpunkt auf Sicherheit (je nach Geräteklasse). Das Thema Datenschutz steckt bei der Zulassung in den meisten Ländern noch in den Kinderschuhen. In den Datenbanken schlummern bereits Informationen, die speziell für Diagnostik und personalisierte Medizin unschätzbaren Wert hätten. Auch für vollautomatisierte Operationen fehlt der rechtliche Rahmen – und meist noch die Akzeptanz der Patienten.

Angesichts chronischer Geldknappheit im Gesundheitssektor wird entscheidend für den Fortschritt sein, ob es gelingt, nachhaltige Geschäftsmodelle zu entwickeln. Der Mehrwert von Datenanwendungen für das Gesundheitssystem ist offensichtlich. Jedoch stellt sich die Frage, wer davon in welcher Weise profitiert (Patient, Arzt, Krankenhaus, Krankenkasse, Pharma-Industrie, Medizintechnik, IT-Unternehmen etc.) und vor allem: wer letztlich dafür aufkommt. Neue, anschlussfinanzierte Geschäftsmodelle scheitern häufig daran, dass nicht klar ist, wer die zahlenden Kunden sind. Erst seit Kurzem gibt es hier positive Gegenbeispiele, allerdings vornehmlich aus den USA.

Elektroindustrie

Die Elektroindustrie in Deutschland und Europa – einst eine feste Größe auch für die Konsumenten der Welt – produziert heute überwiegend Komponenten und Systeme für Geschäftskunden. Vier Fünftel ihres Umsatzes macht sie mit Investitionsgütern etwa in Automation, Energietechnik und Medizintechnik. Das Umsatzwachstum der Branche ist seit einigen Jahren mit rund einem Prozent nur noch verhalten.

Dabei schafft die Elektrotechnik die Grundlage für die immer stärkere Automatisierung und Vernetzung unserer Lebenswelt. Über das Internet werden zunehmend nicht nur Menschen, sondern auch Objekte verbunden ("Internet der Dinge"). Die Elektrotechnik ist somit ein Katalysator für die digitale Transformation der Industrie.

Innovationsturbo für die eigene Industrie und Enabler der digitalen Transformation anderer Branchen

Die Digitalisierung bietet der Elektroindustrie große Chancen. Sie kann ihre eigenen Entwicklungszeiten verkürzen, zur Energieeffizienz beitragen, durch Software die Leistung von Komponenten verbessern oder durch E-Commerce neue Vertriebskanäle eröffnen und Absatzmärkte erreichen (Abbildung 10).

Im Innovationsprozess wird es möglich, mithilfe digitaler Werkzeuge einzelne Komponenten oder ganze Systeme virtuell zu modellieren, Prototypen additiv zu fertigen oder Test- und Qualifikationsprozeduren vom Computer durchführen zu lassen. Entwürfe werden damit deutlich schneller umgesetzt und verifiziert. Beim Management des Produktlebenszyklus hilft der Einsatz von Software den Herstellern, elektrotechnische Komponenten auf die funktionsübergreifenden Kundenspezifikationen abzustimmen und die Entwicklungszeit so um die Hälfte zu reduzieren.

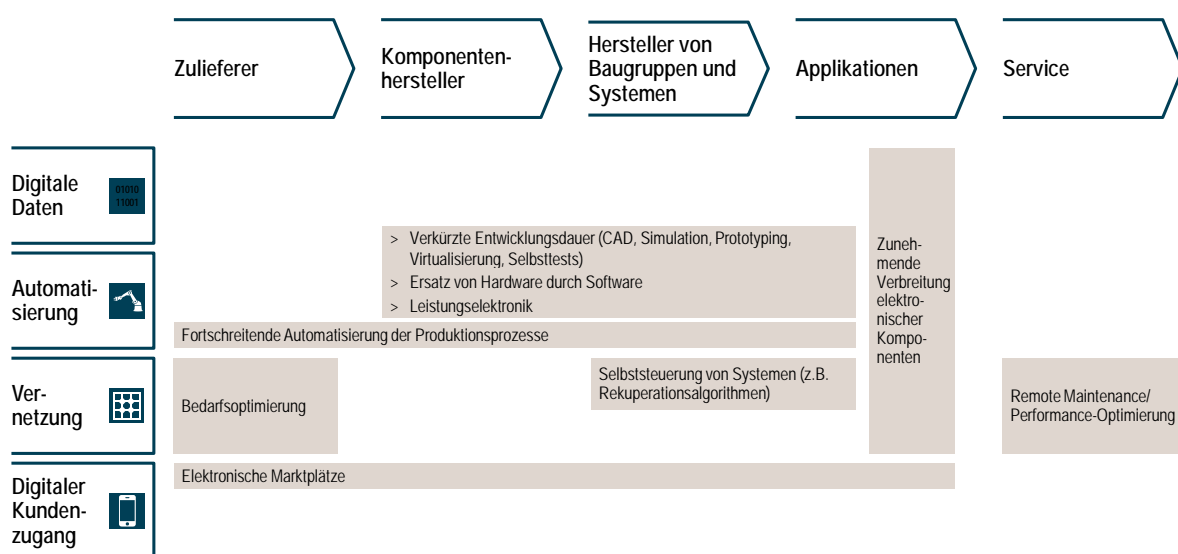
Auch steigende Energiepreise tragen zur Digitalisierung der elektrotechnischen Industrie bei, denn sie treiben die Nachfrage nach energiesparenden Lösungen. Aufgrund der wachsenden Anzahl elektronischer Komponenten in vielen Industrieprodukten muss sich auch deren eigener Energiebedarf in engen Grenzen halten. Energieeffiziente Produkte sind daher ein zentrales Wachstumsfeld für die Elektroindustrie.

Schon heute dominieren europäische Hersteller energiesparender Steuerungen von Elektromotoren in vielen Segmenten den Weltmarkt. Eine wichtige Rolle in diesem und in benachbarten Märkten wie Haushaltsgeräte, Solar- und Windkraftanlagen, Flurförderfahrzeuge oder Bahnsysteme spielt die europäische Führerschaft in der Leistungselektronik. Hocheffiziente digitale Technologien zur Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom haben den klassischen Transformator ersetzt; zum Einsatz kommen sie beispielsweise in Umrichtern für Elektroantriebe, Solarwechselrichtern und Windkraftumrichtern. Sowohl für die Umsetzung der Energiewende als auch für den Erfolg von Elektrofahrzeugen ist diese effiziente Form der Energiewandlung unabdingbar. Die Wachstumsaussichten sind hier deshalb sehr gut (vgl. Kapitel Energietechnik).

Eine höhere Ressourcenproduktivität ist auch bei der Rechenkapazität gefragt. Nach dem Mooreschen Gesetz steigt die Leistung integrierter Schaltkreise bei annähernd gleichen Kosten alle 18 Monate. Die Entwicklung des Rechenbedarfs insbesondere in der Mikroelektronik verläuft jedoch häufig deutlich schneller. Um den Trend zur Miniaturisierung fortzusetzen und die Kosten niedrig zu halten, wird Rechenleistung zunehmend durch Software abgebildet oder in die Cloud ausgelagert. Der Branchenverband Artemis investiert im Rahmen des Projekts EMC-2 aktuell insgesamt 90 Millionen Euro, um die Entwicklung und Verwendung eingebundener ("embedded") Software in Europa zu stärken. 99 Partner aus 19 Ländern sind an diesem Projekt beteiligt, das die Kosten für Systemdesign und Entwicklungszeit jeweils um 15 Prozent senken soll.

Digitale Werkzeuge eröffnen Herstellern auch neue Vertriebswege. Über das Einfallstor der digitalen Kundenschnittstelle können aber ebenso virtuelle Akteure in den Markt eintreten, die vorzugsweise elektronische Teile aus der Massenproduktion über das Internet vertreiben und sich dabei oft zwischen Hersteller und Kunde als Intermediär etablieren. Durch Bündelung ihres Einkaufsvolumens sind sie in der Lage, erheblichen Margendruck auf die Produzenten auszuüben. So bietet die Online-Handelsplattform Farnell element14 mehr als 650.000 verschiedene technische Produkte auf ihrer Webseite an. Auch der chinesische Internetmarktplatz Alibaba verfügt über ein großes Angebot elektrotechnischer Teile und listet etwa 11,2 Millionen aktive elektronische Komponenten. Schon um nicht gegenüber digitalaffinen Wettbewerbern das Nachsehen zu haben, müssen Hersteller also die Vorteile der elektronischen Schnittstelle aktiv nutzen.

Abb. 10: Ausgewählte Anwendungsfälle der Digitalisierung – Elektroindustrie



Quelle: Roland Berger

Ausblick: Weitere Entwicklung der digitalen Transformation in der elektrotechnischen Industrie von Wachstumsimpulsen abhängig

Entscheidend für die Entwicklung der Elektroindustrie wird dreierlei sein: ob das Internet der Dinge den nächsten großen Wachstumsschub auslöst; wie sich die Etablierung von Standards mit den hohen Sicherheitsanforderungen vereinbaren lässt; und ob es der Branche gelingt, mit intelligenten Halbleitern neue Märkte zu erobern.

Wird das Internet der Dinge den erhofften Wachstumsimpuls geben?

Die Elektrotechnik hat bereits von drei großen Wachstumsschüben profitiert. Der erste kam mit dem Mikrocontroller in Großrechenanlagen und in der industriellen Steuerungs- und Regelungstechnik, der zweite mit den PCs und der jüngste mit dem World Wide Web und dem mobilen Internet. Wie wichtig die Mikroelektronik als Treiber für die elektrotechnische Industrie ist, sieht man an folgendem Vergleich: Während die gesamte Elektroindustrie in Deutschland seit 2009 jährlich im Schnitt nur um ein Prozent gewachsen ist, wuchs der Halbleitermarkt deutlich schneller, zuletzt mit vier Prozent (2013).

Nachdem die Menschen mit dem Siegeszug des mobilen Internets weitgehend vernetzt sind, wird der nächste Wachstumsschub durch die Kommunikation von Objekten im Internet der Dinge erwartet. Gegenstände aller Art werden mit Sensoren, Platinen und Netztechnologie ausgestattet. Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) spielen dabei eine entscheidende Rolle. Das Anwendungsspektrum dieser vielseitigen Miniaturschaltkreise reicht von Kühlschränken und Waschmaschinen über Kraftfahrzeuge und Züge bis hin zu Bauteilen, Produktionsmaschinen und ganzen Anlagen. Cisco geht davon aus, dass bis 2020 rund 50 Milliarden Objekte miteinander verbunden sein werden, und nach Schätzungen von Gartner wird das weltweite Marktvolumen für Halbleiter von 7,5 Milliarden US-Dollar in 2013 auf knapp 45 Milliarden US-Dollar in 2020 anwachsen.

Wo werden offene, wo weiterhin proprietäre Systeme gebraucht?

Heute setzen viele Anbieter weiterhin auf geschlossene ("proprietäre") Systeme. Hierdurch lassen sich vermeintlich höhere Sicherheit und bessere Systemleistung realisieren. Allerdings ist die Wertschöpfungskette der Elektrotechnik heute stark fragmentiert und zerfällt weiter: Zunehmend werden Teilschritte von Fertigungsdienstleistern und Komponentenherstellern mit Skalenvorteilen übernommen. Diese Fragmentierung macht es erforderlich, dass sich die Hersteller auf einheitliche Standards einigen und Interoperabilität anstreben.

Schon heute setzen einige Bereiche der Elektrotechnik auf etablierte Standards oder Quasi-Standards und nutzen zur Vernetzung beispielsweise TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Über VPN-Verbindungen (Virtual Private Networks) lässt sich dabei auch das Thema Netzwerksicherheit in den Griff bekommen. Es ist davon auszugehen, dass sich künftig Standards und offene Schnittstellen in großen Bereichen der Elektroindustrie durchsetzen. Nur wo Sicherheit oder Systemqualität außergewöhnlich wichtig sind (z.B. bei Flugzeugen), mag es weiter geschlossene Systeme geben. Bei vielen Anwendungen ist zudem die Abwärtskompatibilität von zentraler Bedeutung, d.h., neue Systeme oder Versionen müssen sich mit älteren vertragen. Anbieter müssen sich entscheiden, ob sie proprietäre Nischenprodukte oder Produkte nach globalen Standards anbieten wollen – dazwischen wird es wenig geben.

Gelingt es, mit intelligenten Halbleitern neue Märkte zu erobern?

Elektrotechnische Komponenten finden sich in immer mehr Bereichen des täglichen Lebens wieder und erleichtern den Alltag für Industrie und Endkonsumenten. Dabei werden Innovationen, die sich in einem Markt durchgesetzt haben, oft auch für weitere Märkte interessant. So sind die Positions- und Bewegungssensoren, die ein deutscher Elektrotechnikkonzern ursprünglich für Fahrassistenzsysteme im Auto entwickelt hat – Stichwort "Elchtest" – heute in jedem Smartphone mit Bildschirmrotation zu finden. Das Beispiel zeigt, wie Hersteller durch kluge Ausweitung innova-

tiver Technologie- und Produktangebote in neue Märkte selbst dazu beitragen können, dass ihre Komponenten weitere Verbreitung finden.

Maschinen- und Anlagenbau

Der Maschinen- und Anlagenbau ist Motor der deutschen Industrie. In 16 von 32 weltweit vergleichbaren Teilbereichen dieser Branche führen deutsche Unternehmen. Natürlich steht die Digitalisierung auf der Tagesordnung der deutschen Maschinen- und Anlagenbauer weit oben. Schon als der Begriff "Industrie 4.0" im Jahre 2011 u.a. von Henning Kagermann und Wolfgang Wahlster geprägt wurde, war klar, dass hiesige Branchenvertreter ganz vorne mitspielen wollen. Seither treiben viele unter ihnen diese Entwicklung kräftig voran.

Maschinen- und Anlagenbauer sind von der Digitalisierung gleich doppelt betroffen: Zunächst pilotieren sie neue Produktionsmöglichkeiten in ihrer eigenen Fabrik, anschließend bieten sie diese ihren Kunden als Produkt oder Dienstleistung an. Ein Beispiel ist das Elektronikwerk von Siemens in Amberg (Bayern) als Musterfall der "digitalen Fabrik". Dort werden nicht nur neue Methoden der Prozessautomatisierung erprobt, sondern interessierten Kunden auch vernetzte Produktionsanlagen vorgeführt. Beispiellose 75 Prozent der Wertschöpfung des Werks sind automatisiert, auch dank der Digital Enterprise Platform von Siemens, die alle eingesetzten Systeme miteinander verknüpft.

Suche nach Anwendungsfällen für digitale Technologien

Bereits heute ermöglichen digitale Technologien erste neue Anwendungsfälle entlang der gesamten Wertschöpfungskette eines Maschinen- und Anlagenbauers (Abbildung 11).

Viele Innovationen kommen aus der immer mächtiger werdenden Software. Das gilt sowohl für den eigentlichen Bau von Maschinen und Anlagen als auch für die nachfolgende Wartung und Nutzung. Siemens etwa baut deshalb zunehmend Software-Kompetenz auf; im Industriesektor des Konzerns arbeiten heute 5.000 Software-Ingenieure, fünfmal so viele wie noch vor fünf Jahren. Um seine Produktentwicklung zu unterstützen, kaufte das Unternehmen 2007 die CAD-Software NX, die seither zur kontinuierlichen Weiterentwicklung der hauseigenen Product Lifecycle Management (PLM) Suite beiträgt. Inzwischen kann Siemens mit diesem System ganze Fabriken und ihre Abläufe simulieren.

Sogar klassische IT-Anbieter treten in den Markt für industrielle Fertigung ein. So investiert Cisco aktuell 30 Millionen US-Dollar in ein Forschungszentrum in Berlin. Es soll erforschen, wie sich Software in der Industrie 4.0 und im Internet der Dinge anwenden lässt, und "Converged Solutions" entwickeln mit höherer Interoperabilität zwischen Rechner, Speicher, Netzwerk und Software. Auch Microsoft bietet seine "Cloud Solutions" inzwischen als Technologiebasis für den Maschinen- und Anlagenbau an.

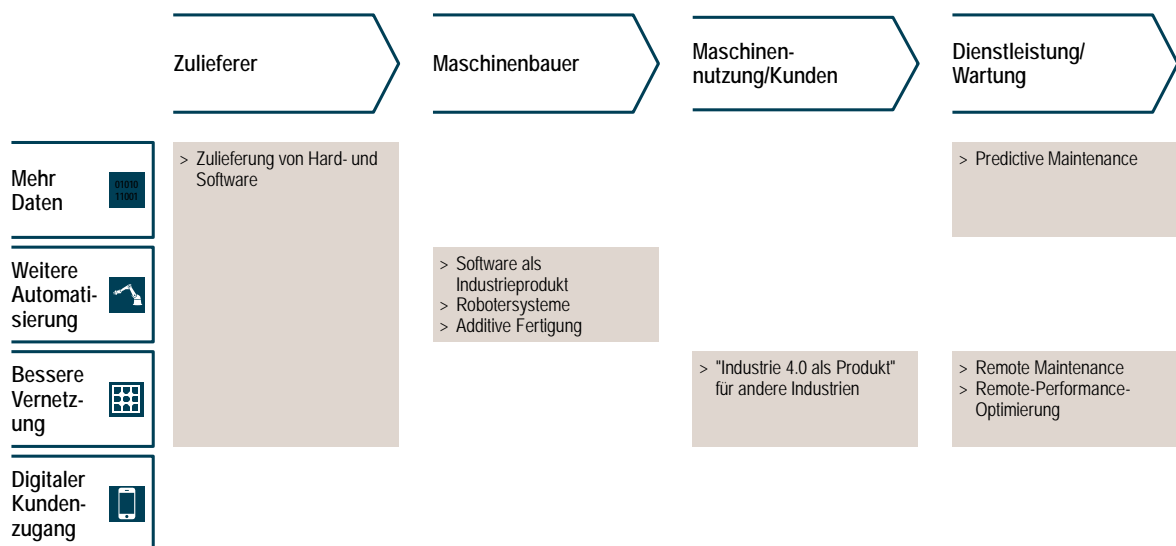
Im Hardware-Bereich gibt es ebenfalls Bewegung. Die Maschinenbauer entwickeln immer intelligentere Roboter, die sich teilweise selbst steuern. Diese Automaten ersetzen mehrere andere Maschinen oder übernehmen weitere manuelle Tätigkeiten. Sie erhöhen Geschwindigkeit und Flexibilität der Fertigung ganz erheblich. Die schwenkbaren Leichtbauroboter von Kuka etwa übernehmen in der Automobilindustrie mehr und mehr hochpräzise Arbeitsschritte. Sie lernen besonders schnell und erleichtern somit die Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Innovative Anbieter erschließen der Robotik auf diese Weise ganz neue Anwendungsmöglichkeiten.

Einen weiteren Beitrag zum zunehmend digitalisierten Produktportfolio von Maschinen- und Anlagenbauern leisten Maschinen zur additiven Fertigung, allgemein als 3D-Drucker bekannt. Additive Fertigung erlaubt es, dreidimensionale Teile nach virtuellen Modellen Schicht für Schicht aufzubauen oder zu "drucken". Mit dieser Methode lassen sich Komponenten in Kleinserien oder sogar als Einzelstücke fertigen – und das, anders als bei anderen Kleinserientechnologien, zu absolut wettbewerbsfähigen Kosten. Die Einsatzmöglichkeiten reichen sehr weit, von Rapid Prototyping über neue Geometrien in hochfesten Werkstoffen bis hin zu selten gebrauchten Ersatzteilen. Weil sie Bestelldaten

direkt in fertige Produkte umsetzt, senkt additive Fertigung außerdem in manchen Bereichen die Lieferzeiten. Deshalb wurden bereits ein Flugzeugträger der US Navy und Containerschiffe der Reederei Maersk mit 3D-Druckern ausgerüstet, genau wie seit September 2014 auch die internationale Raumstation ISS.

Durch die Ausrüstung von Maschinen und Anlagen mit Sensoren werden automatisch Leistungsdaten erfasst und verarbeitet. Fehler und Produktionsausfälle lassen sich dadurch besser vorhersehen. Die Unterstützung aus der Ferne beschränkt sich aber nicht auf die Diagnose: Mittels Augmented-Reality-Brillen wie Google Glass oder Microsoft HoloLens können Hersteller großer Maschinen den Nutzer bei Inspektion, Wartung und Instandsetzung instruieren. Diese Anwendung nutzt zum Beispiel der skandinavische Schiffsausrüster Wärtsilä. Virtuelle Umgebungen kommen auch im Rahmen von Trainings an der Maschine oder Anlage zum Einsatz. Das geht bis hin zu virtuellen Trainingsräumen oder -situationen, die mithilfe von "Oculus Rift" (Facebook) oder "Project Morpheus" (Sony) dargestellt werden.

Abb. 11: Ausgewählte Anwendungsfälle der Digitalisierung – Maschinen- und Anlagenbau



Quelle: Roland Berger

Geschwindigkeit der Umrüstung und Auswirkungen der Standardsetzung

Solange unklar ist, mit welcher Geschwindigkeit und in welchem Umfang sich die Branche auf Industrie 4.0 umstellt, ist es für den einzelnen Anbieter schwierig zu entscheiden, wie schnell und wie stark er sich wandeln soll – zumal sich noch nicht mit Gewissheit sagen lässt, wo sich offene und wo sich geschlossene Standards durchsetzen werden. Jeder Branchenakteur wird auf diese Fragen jedoch schon jetzt seine individuelle Antwort finden müssen.

Ab wann müssen Maschinen und Anlagen 4.0-konform sein?

Im Markt existieren noch unterschiedliche Überzeugungen hinsichtlich des Einführungszeitraums der Industrie 4.0. Im Wesentlichen hängt die Umrüstung zu 4.0-konformen Anlagen von drei Faktoren ab.

Erstens: Einige Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsfälle digitaler Technologien sind zwar bekannt, aber längst nicht ausreichend erforscht. Es ist teils unklar, wie groß der tatsächliche Nutzen dieser Neuerungen sein wird und

welche technologischen Voraussetzungen erforderlich sind. Um dies herauszufinden, sind Pilotprojekte notwendig wie das des Steuerungs- und Automatisierungsanbieters Festo: Er baut gerade für 70 Millionen Euro eine intelligente Technologiefabrik, die 70 bis 80 Prozent des 4.0-Standards erreichen soll. Dieser Technologie-Push zielt explizit darauf, nutzenstiftende Anwendungsfälle ("Use Cases") für den Einsatz von 4.0-Lösungen zu identifizieren, um somit die Durchdringungsgeschwindigkeit entscheidend zu beeinflussen.

Zweitens: Ausschlaggebend dafür, ob und wann Maschinen auf neue Technologien nachgerüstet werden, ist unterm Strich der Business Case. Sobald sich Effizienzsprünge erreichen lassen, werden Unternehmen mit dem Update einzelner Komponenten beginnen. Dafür ließen sich gegebenenfalls vorhandene Schnittstellen nutzen und effizienzsteigernde "Overlays" für bestehende Systeme entwickeln.

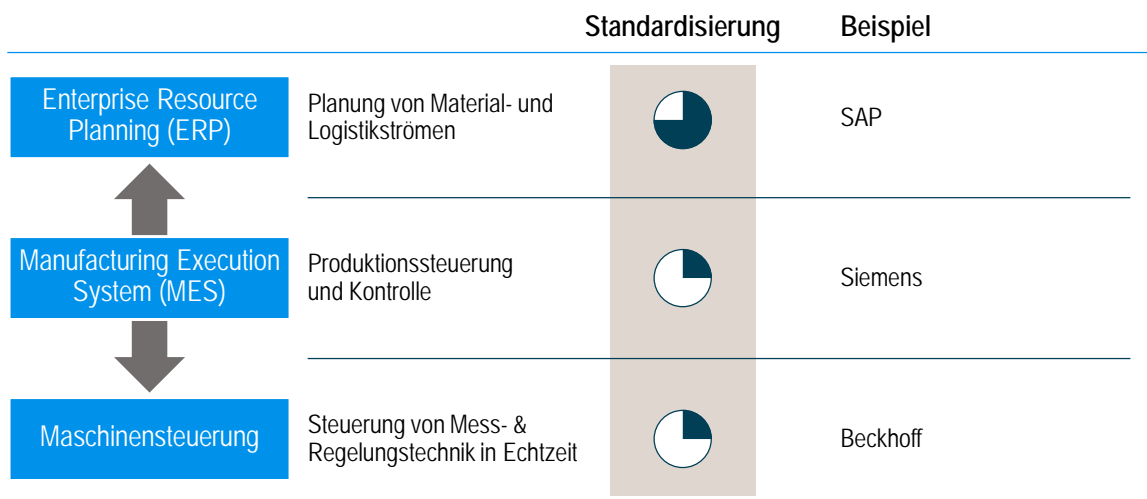
Drittens: Die Umrüstung wird in verschiedenen Regionen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit stattfinden. Neubauten, wie sie gerade in den USA und China im großen Maßstab entstehen, werden mehr Bestandteile von Industrie 4.0 enthalten als eine bereits installierte Basis. In welchen Regionen dann die größten Technologiesprünge stattfinden, hängt davon ab, wo es der Industrie am besten gelingt, die extrem kurzen, disruptiven Innovationszyklen der digitalen Welt mit den langlebigen, sequenziellen Produktlebenszyklen der eigenen Branche zu vereinbaren.

Auf welcher Ebene werden sich Standardisierungen auswirken?

Das typische Betriebssystem-Paket ("Operating Stack", Abbildung 12) für Fabriken hat drei wesentliche Bestandteile:

- > Mit dem Enterprise Resource Planning System (ERP) wird geplant, welches Material mit welcher Logistik, wann und in welcher Menge zu welchem Zweck einzusetzen ist.
- > Mit dem Manufacturing Execution System (MES) wird die Produktion in kontrollierte Bahnen geleitet.
- > Mit der Maschinensteuerung wird die Steuerung der gesamten Mess- und Regelungstechnik in Echtzeit ermöglicht.

Abb. 12: Das Betriebssystem einer Fabrik: Bestandteile, Funktionen und Informationsfluss im Operating Stack



Quelle: Roland Berger

Theoretisch sind die Anforderungen der Kunden an Maschinen- und Anlagenbauer klar. Am liebsten hätten sie keine proprietären, sondern völlig offene Systeme. Geräte sämtlicher Hersteller könnten sie dann kombinieren und gleich nach dem Anschluss mit der Fertigung beginnen ("Plug & Produce"). Dazu wäre aber Kompatibilität mindestens auf MES-Ebene notwendig. Dass eine komplette Standardisierung unrealistisch sein dürfte, zeigt schon der Blick in die Systemwelt der Konsumenten, die bis heute vergeblich auf volle Kompatibilität von Architekturen wie Windows, iOS, Android oder Unix hoffen. Realistischer erscheint die Erwartung von Systemen mit integrativem Charakter, besonders auf Ebene des MES. Eine Standardisierung der Mess- und Regelungstechnik ist demgegenüber unwahrscheinlich, da hier der Wertanteil von Hardware an den Systemen hoch ist, die Anwendungen häufig stark spezialisiert sind und somit der Mehrwert einer Standardisierung gering ausfällt.

Tatsächlich wird die Vereinheitlichung des MES und indirekt des Operating Stack sowie die höhere Interoperabilität zwischen Maschinen im Wettbewerb der Regionen entschieden. In Deutschland sind die wichtigsten Akteure im Wettlauf um die Standards die Plattform Industrie 4.0 und das Industrial Data Space, in den USA ist das Industrial Internet Consortium in der Vorhand.

Das zentrale Nervensystem des Maschinen- und Anlagenbaus wächst also heran. Offen ist allerdings noch die entscheidende Frage: Wer stellt künftig das virtuelle Großhirn einer Fabrik? Bislang kann dies weder das SAP-ERP leisten noch einer der parallel bestehenden proprietären MES-Standards zum Beispiel von Siemens. Zwei Szenarien sind denkbar: ein offener Standard mit einer großen Anzahl von Integratoren oder ein geschlossener Standard mit einem/ wenigen dominanten Akteur(en).

Daraus ergibt sich, dass bestehende MES-Anbieter mit einem Umbruch rechnen müssen. Selbst ein Szenario wie im Mobilfunk ist denkbar. Ein Akteur wie Google könnte mit einem "Android für Maschinen" den MES-Markt von außen aufrollen und sich u.a. über die intelligente Analyse von Daten differenzieren. Für spezialisierte Systemanbieter auf der darunter liegenden Ebene der Maschinensteuerung bedeutet dies, dass sie ihre Maschinen mit der dominanten MES kompatibel machen müssen. Dies wäre dann zwar kein vollständiger Bruch mit dem Hergebrachten, würde aber den Margendruck deutlich verstärken: Bestehende Lösungen würden austauschbar und Ersatz wäre eventuell nur noch über Systemintegratoren zu beschaffen, die mit gebündelter Einkaufsmacht die Preise drücken könnten. Die Innovationen auf Ebene physischer Komponenten, wie sie Google mit zugekauften Robotikfirmen anstrebt, dürften demgegenüber einen vergleichsweise kleinen Anteil der Industrie betreffen.

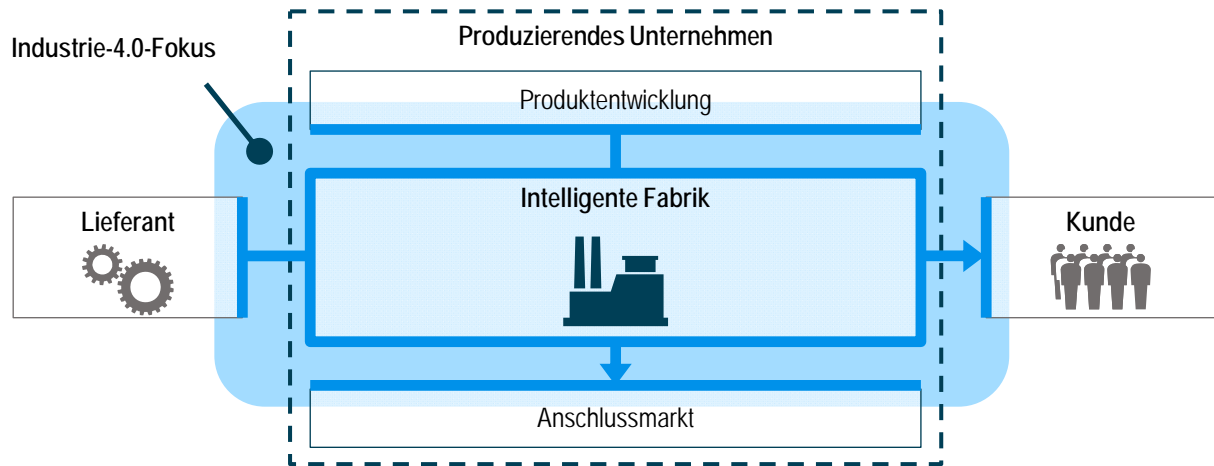
Ausblick: Schrittweises Ausgreifen der Digitalisierung, installierte Basis und Cyberangriffe als Hürden

Viele Maschinen und ganz besonders große Anlagen sind mit hohem Kapitaleinsatz verbunden und ihre langen Lebenszyklen bedeuten, dass sie in der Regel erst nach jahrzehntelanger Nutzung ausgetauscht werden. Eine typische Maschine in der industriellen Produktion bleibt rund dreißig Jahre im Einsatz und wird auch nur etwa alle zehn Jahre umfassend nachgerüstet. Dementsprechend wird der Austausch der installierten Basis zwingend länger dauern als in anderen Industrien.

Eine weitere Hürde sind die hohen Sicherheitsanforderungen innerhalb der Produktion. Einerseits besteht durch Cyberangriffe die Gefahr, dass Eindringlinge von außen die gesamte Produktion lahmlegen. Andererseits sorgen sich viele Maschinen- und Anlagenbauer zunehmend um ihr geistiges Eigentum, insbesondere falls die in ihren Produkten codierte Software-Kompetenz irgendwann nur noch in der Cloud gespeichert sein sollte.

Gleichwohl wird auch im Maschinen- und Anlagenbau die Digitalisierung unaufhaltsam sein. Insbesondere die Vorteile von Industrie 4.0 hinsichtlich Schnelligkeit, Flexibilität und Effizienz sprechen für eine zügige, wenn auch schrittweise Durchdringung.

Infobox: Industrie 4.0



Industrie 4.0 beschreibt den Teil der digitalen Transformation, der sich auf die Produktion inklusive der betroffenen Schnittstellen bezieht. Dabei wird die gesamte industrielle Wertschöpfungskette integriert und digitalisiert. Hieraus ergeben sich sechs wesentliche Vorteile:

1. Schnellere Reaktion auf Kundenanforderungen
2. Größere Flexibilität in der Fertigung
3. Möglichkeit zur (wirtschaftlich sinnvollen) Herstellung kleiner Losgrößen
4. Höhere(r) Verfügbarkeit/Wirkungsgrad und stabilere Prozesse
5. Verbesserte Produkte
6. Effizienzsteigerung beim Ressourceneinsatz

Energietechnik

Die Digitalisierung erschließt dem gesamten Energiesektor ein enormes wirtschaftliches Potenzial mit zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten. Die größten Chancen wie auch Herausforderungen kommen dabei aus dem Smart Grid: Über intelligente Strom- und Kommunikationsnetze werden Erzeuger und Konsumenten stetig Verbrauchsdaten austauschen und so die Energieeffizienz erheblich steigern, ohne Netzstabilität und Versorgungssicherheit zu gefährden. So könnte jeder Privathaushalt laut Bundesnetzagentur allein durch Einsatz intelligenter Stromzähler jährlich 50 Euro an Energiekosten sparen, ein Gesamtvolumen für die Verbraucher von jährlich über zwei Milliarden Euro. Die hier näher betrachtete Branche der Energietechnik – also die Herstellung von Produkten für Energieerzeugung und -netz – trägt zu diesem Potenzial entscheidend bei und wird den Wandel des gesamten Energiesektors vorantreiben.

Vorteile der Digitalisierung entlang der Wertschöpfungskette

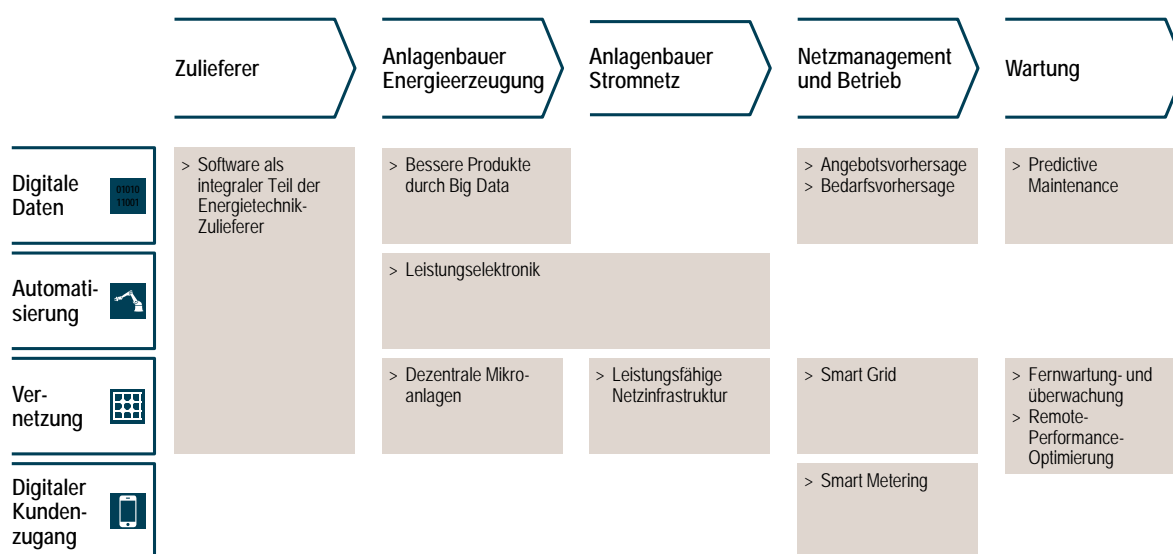
Digitale Technologien wie Big Data und Leistungselektronik gestatten es Anbietern von Energietechnik, am Anfang der Wertschöpfungskette bessere Produkte zu entwickeln, im Betrieb die Leistung zu erhöhen und an ihrem Ende eine Fernüberwachung und -wartung zu etablieren (Abbildung 13).

Die Aufzeichnung und Auswertung aller verfügbaren Daten liefert wertvolle Erkenntnisse für die gesamte Wertschöpfungskette. Ihre Analyse kann helfen, künftige Anlagen effizienter, stabiler und mit höherem Wirkungsgrad zu konzipieren. Nicht nur Betriebsdaten aus der Anlage selbst, sondern auch Informationen aus der Umgebung werden einbezogen, um etwa Prognosen der erzeugten Leistung aus erneuerbaren Energien sowie zur Abschätzung der künftigen Nachfrage zu treffen. Das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES etwa nutzt Wetterdaten für Vorhersagen. IWES hat einen 200 Meter hohen Mast aufgestellt, der unweit von Kassel Windgeschwindigkeiten, Turbulenzen und weitere meteorologische Größen erhebt. Die detaillierten Werte helfen, neue Windränder in passender Größe am richtigen Ort aufzustellen.

Der Prozesswirkungsgrad von Anlagen lässt sich zudem durch digitale Leistungselektronik (vgl. Kapitel Elektroindustrie) und durch bessere Informationen zur optimalen Steuerung erhöhen. GE beispielsweise überwacht schon heute 1.500 Turbinen von einem Standort aus. Durch Softwareeinsatz und Netzwerkoptimierung kann GE eigenen Angaben zufolge die Effektivität um mindestens ein Prozent steigern. Was auf den ersten Blick als inkrementelle Verbesserung erscheinen mag, entspräche über einen Zeitraum von 15 Jahren hinweg Einsparungen in Höhe von schätzungsweise 66 Milliarden US-Dollar.

Zu den Herausforderungen für Stromnetzbetreiber zählt, im komplexer werdenden Zusammenspiel von Erzeugung und Netz den Betrieb immer stabil aufrechtzuerhalten. Hierbei bietet die kommunikative Vernetzung großes Potenzial, denn Live-Daten helfen, Fehler frühzeitig zu erkennen und über Fernwartung schneller und einfacher zu beheben. Ein Beispiel: Bei Windkraftanlagen werden mechanische Schwingungen gemessen und mit einer Datenbank abgeglichen, in der Messwerte von mehr als 6.000 Windturbinen hinterlegt sind. Zeigt sich eine Anomalie, kann der Betreiber frühzeitig reagieren und lässt sofort ein Serviceteam eingreifen, bevor die Anlage ausfällt.

Abb. 13: Ausgewählte Anwendungsfälle der Digitalisierung – Energietechnik



Quelle: Roland Berger

Die zentrale Frage: Welche Voraussetzungen braucht das Smart Grid – und was bringt es?

Der gesamte Energiesektor steht am Anfang eines Strukturwandels: Das Stromnetz wird intelligent. Mit dem Smart Grid verändert sich die Netztopologie von einem hierarchischen Aufbau zu einer vermaschten, heterogenen Infrastruktur mit offenen Schnittstellen zu zahlreichen Erzeugern und der Notwendigkeit eines adaptiven Netzmanagements.

Erzeugung ganz groß bis ganz klein: Hier ergänzen sich zwei Trends. Einerseits werden weiterhin Großanlagen benötigt, die besonders effizient und nachhaltig sind. Zur Deckung der Grundlast etwa bauen die Energieversorger ihre Windkraftkapazitäten vor den Küsten aus; zusätzlich werden neue Verfahren wie die Kernfusion technisch vorangetrieben und, so von der Politik zugelassen, vielleicht schon bald in die Praxis umgesetzt. Als strategische Reserve kommen besonders flexibel einsetzbare Kraftwerke hinzu, die fossile Brennstoffe nutzen, etwa über Gasturbinen. Andererseits wird die Nachfrage nach dezentralen Produktionsanlagen steigen; Kleinanlagen auf kommunaler Ebene, aber auch Kleinstanlagen einzelner Haushalte gewinnen an Bedeutung. Zu den digital vernetzten Stromquellen zählen etwa Blockheizkraftwerke im Keller von Bürotürmen oder Einfamilienhäusern, Solaranlagen auf Haus- und Scheuendächern sowie die lokale Gewinnung und Verstromung von Biogas.

Gegensätze in der Netzinfrastruktur: Das Netz der Zukunft muss große Entfernungen vom Erzeuger zum Verbraucher überbrücken und das möglichst verlustfrei – etwa von küstennahen Kraftwerken an der windreichen Nordsee zum energiehungrigen, aber windschwachen Süden Deutschlands. Damit wird der Bedarf an Höchstspannungstrassen mit Gleichstromübertragung (HGÜ) steigen. Das neue Makronetz ist direkt mit kommunalen, selbststeuernden Mikronetzen verbunden. Digitale Technik mit Leistungshalbleitern regelt Spannung und Frequenz dieser dezentralen Netze und sorgt für nahtlose Kommunikation mittels TCP/IP-basierten Protokollen auf Stromleitungen (vgl. Kapitel Elektroindustrie). Im Vergleich zu den Verteilnetzen wird das bestehende Hoch- und Mittelspannungsnetz an Bedeutung verlieren.

Neue Standards im Netzmanagement: Die aktuelle hierarchische Netztopologie wird sich durch das Smart Grid weiter auflösen und es werden sich neue Standards für das Netzmanagement herausbilden. Die Mikronetze müssen einerseits in das Makronetz integriert werden, andererseits mit den Konsumenten kommunizieren. Damit alle beteiligten Akteure die benötigten Informationen austauschen können, sind übergreifende (Quasi-)Standards und offene Schnittstellen notwendig. Digitale Technologien sind hier unabdingbar.

Bedarf für Speicher: Um Lastschwankungen auszugleichen, lassen sich gegebenenfalls Speicher in die Netze einbinden. Wegen des meist großen Energieverlusts bei Wandel und Rückwandel ist zwar umstritten, ob und welche Energiespeicher im großen Maßstab wirtschaftlich sind. Potenzial könnte zum Beispiel P2G (Power-to-Gas) haben, also die Umwandlung von Strom in Gas und umgekehrt. Auch die Zweckentfremdung von Batterien ist angedacht, etwa bei V2G (Vehicle-to-Grid), also der Zweitnutzung von Elektrofahrzeugen als bidirektionale Speichermedien. Bei der Steuerung dieser Lade- und Entladevorgänge sowie beim Management der Speicherlandschaft werden digitale Technologien eine zentrale Rolle spielen.

Gelingt der Aufbau einer solchen Netztopologie, kann Deutschland als Vorreiter der Energiewende mit weltweiten Vermarktungschancen seiner digitalen Energietechnik rechnen.

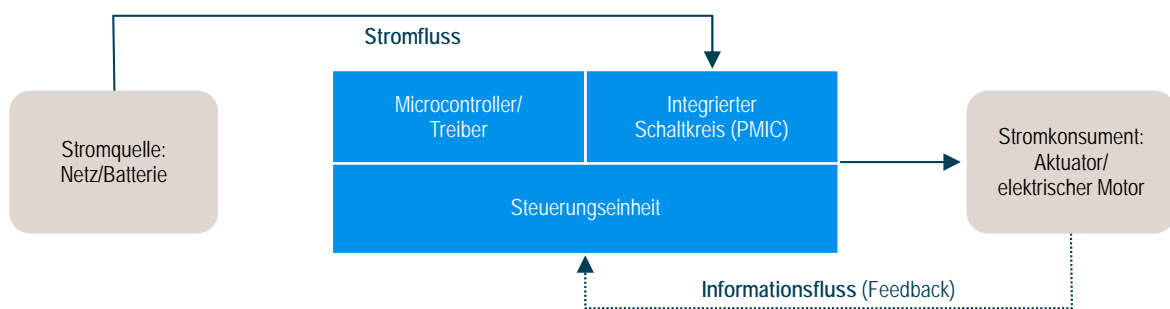
Ausblick: Energiewende als Chance und Herausforderung – staatliche Investitionen und hohe Sicherheitsstandards gefragt

Für die hier nicht betrachteten Netzbetreiber und vor allem für die Hersteller von Energieverteilungstechnik könnte es durch die Energiewende zu einem ähnlich großen Bruch kommen wie im Telekommunikationsmarkt der neunziger Jahre. Die Unternehmen der Energietechnik sollten sich jedenfalls auf die neuen Anforderungen des Smart Grid einstellen; sie können profitieren, wenn sie entsprechende Produkte und Services entwickeln und liefern – für eine intelligente, effiziente und ressourcenschonende Erzeugung, Übertragung oder Speicherung von Energie.

Noch gibt es große Unwägbarkeiten. Der europäische Energiemarkt ist stark reguliert und Veränderungen unterliegen der politischen Willensbildung. Die Energiewende zeigt, dass dies besonders in Deutschland gilt, wo außerdem die Energieversorger teilweise der öffentlichen Hand gehören. Diese beeinflusst somit auch maßgeblich den Ausbau des Smart Grid und damit die Zukunft der Energietechnik-Branche. Fraglich ist vor allem, ob der Staat die finanziellen Mittel für den Wandel aufbringen kann und will: In Europa sind laut EU-Energiekommissar etwa 45.000 Kilometer Stromleitungen zu bauen oder zu modernisieren, der entsprechende Investitionsbedarf beträgt insgesamt rund 400 Milliarden Euro. Schätzungen inklusive HGÜ-Supernetz sowie Datennetz belaufen sich sogar auf 600 Milliarden Euro.

Beim Stromnetz spielten Sicherheitsaspekte schon immer eine große Rolle. Sie könnten zur Hürde für die digitale Transformation werden: je intelligenter das Netz, desto wichtiger auch die IT-Sicherheit. Die Energietechnik muss ihre Software und Kommunikationsnetze gegen Cyberangriffe sichern, um geistiges Eigentum zu schützen und Produktionsausfälle oder gar Sabotage zu vermeiden. Denn mit gezielter Spionage und Sabotage gegen Kraftwerke ist zu rechnen. Die Branche muss das Sicherheitsthema aktiv angehen, wenn sie in der digitalen Zukunft Erfolg haben will.

Infobox: Leistungselektronik



Leistungselektronik hat die Energiewandlung revolutioniert und den klassischen Transformator abgelöst. Leistungselektronische Komponenten nutzen Halbleitertechnik zur intelligenten Energiewandlung. Dabei kommt eine Vielzahl von Bauteilen zum Einsatz, im Wesentlichen Power-Module auf Basis von IGBTs (Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode), Thyristoren oder MOSFETs (Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren). Dabei ergeben sich zwei Vorteile: weniger Verlust bei der Wandlung und optimaler Betrieb des Aktuators.

In Zukunft wird die Leistungselektronik eine bedeutende Rolle in der Energiewende spielen. Diese Technologie ermöglicht wesentliche Innovationen in verschiedenen Bereichen, u.a.

- > *Regenerative Energiequellen:* Inverter sorgen für eine stabile Einspeisung unregelmäßig erzeugter Solar-energie in Energienetze oder wandeln Wechselstrom in Gleichstrom, um Energie, die in Offshore-Windkraftanlagen erzeugt wurde, mit hohem Wirkungsgrad transportieren zu können.
- > *E-Mobilität:* Leistungselektronik steuert das Energiemanagement für den Antriebsstrang. In Hybridfahrzeugen betrifft das zum einen die Wandlung von Gleichstrom in Drehstrom und damit die Versorgung des Motors mit Energie, zum anderen die Steuerung der spritsparenden Funktion zur Bremskraftrückgewinnung.

Welle 3: Chemie und Luftfahrttechnik erfahren zeitversetzt einen digitalen Wandel

Schwächer und vor allem evolutionär wird sich die Digitalisierung auf die Branchen Chemie und Luftfahrt auswirken – aus sehr unterschiedlichen Gründen. Sie machen mit 47 Milliarden Euro Bruttowertschöpfung lediglich ein Siebtel des Untersuchungsumfangs aus.

- > *Chemie*: Der ohnehin schon hohe Automatisierungsgrad, wie er der Chemiebranche als Prozessindustrie immanent ist, wird sich durch neue Technologien nur noch evolutionär weiterentwickeln. Innovative Anwendungsfälle wie Mikroproduktionsanlagen oder die Kombination von Daten und Agrochemie sind im Verhältnis zum gesamten Marktvolumen eher Nischenphänomene. Mittelbar werden allerdings Segmentverschiebungen zu beobachten sein. So wird das schnelle Wachstum additiver Fertigungsverfahren ("3D-Druck") die Nachfrage nach unterschiedlichen Kompositen erhöhen.
- > *Luft- und Raumfahrttechnik*: Das größte Potenzial in der Luftfahrt besäßen – anders als oftmals angenommen – nicht vollautomatische Flugzeuge, also Drohnen; es entstünde vielmehr durch einen einheitlichen, automatisiert gesteuerten Luftraum. Dieses Szenario scheitert auf absehbare Zeit allerdings am fehlenden politischen Ordnungsrahmen. Trotzdem spiegelt auch hier die rasante Entwicklung zum Beispiel bei unbemannten Kleindrohnen den mittelbaren Einfluss anderer Digitalisierungstrends wider.

Chemie

Die Chemieindustrie unterscheidet sich von den anderen betrachteten Sektoren insofern, als sie der Logik der Prozessfertigung unterliegt. In der Basischemie werden skalierte, große Volumina produziert, in der Spezialchemie eher kleinere Losgrößen. Vieles, was im Maschinenbau unter dem zukunftsorientierten Schlagwort "Industrie 4.0" verstanden wird, ist in der Chemie schon gängige Praxis. So steuert die deutsche Chemieindustrie ihre Herstellung bereits rechnergestützt und hochintegriert. Die Automatisierung ist besonders in der Basischemie weit fortgeschritten, die ihr Augenmerk längst auf möglichst große Integration und Effizienz gerichtet hat.

Stärkung der Innovationskraft in Entwicklung, Herstellung und Einsatz

Ansatzpunkte für eine weitergehende Digitalisierung gibt es entlang der gesamten chemischen Wertschöpfungskette (Abbildung 14): Die Innovationskraft lässt sich durch eine zentrale Datenbasis und Cloud Computing stärken. Eine dezentrale Produktion von Spezialchemikalien wird möglich. Und durch Vernetzung der Lieferkette und neue Mehrwertdienste lässt sich der Kundennutzen einiger Produkte (z.B. Agrochemikalien) weiter erhöhen.

Innovation ist und bleibt auch in der Chemiebranche ein entscheidender Wettbewerbsvorteil. Chemische Produkte lassen sich immer vielfältiger anwenden, neue Anforderungen der Endkunden entstehen. Besonders die Bedeutung der Spezialchemie wächst, dort werden die Produktlebenszyklen immer kürzer. Die Branchenbesten setzen daher auf IT-basiertes Innovationsmanagement und rechnergestützte Anwendungstechnik, um neue Produkte schneller zu entwickeln und besser auf den Markteinsatz vorzubereiten. Dazu braucht der Hersteller eine zentrale Datenbasis etwa in der Cloud, die seinen Forschern einfachen Zugriff auf alle intern verfügbaren Forschungsdaten gewährt und damit die Zusammenarbeit im Unternehmen effektiver macht. Die Markteinführung beschleunigt sich weiter, wenn nach Forschung & Entwicklung auch andere Unternehmensfunktionen wie Marketing & Vertrieb die hauseigenen Datenbanken und Software-Tools für Simulationen nutzen können, um Marktchancen zu testen.

Mit sogenannten Mikroproduktionsanlagen lässt sich die chemische Herstellung flexibilisieren, modularisieren und dezentralisieren. Besonders vorteilhaft ist diese Methode für die Spezialchemie, weil dort meist kleinere Mengen benötigt werden. Die flexiblen mobilen Chemiereaktoren sind modular aufgebaut und lassen sich sogar im normalen Con-

tainer verschicken. Sie erfordern einen deutlich geringeren Kapitaleinsatz und können flexibler auf kürzere Produktlebenszyklen und schwankende Nachfrage reagieren.

Das von der EU geförderte Projekt F³ Factory hat nachgewiesen, dass Mikroproduktionsanlagen

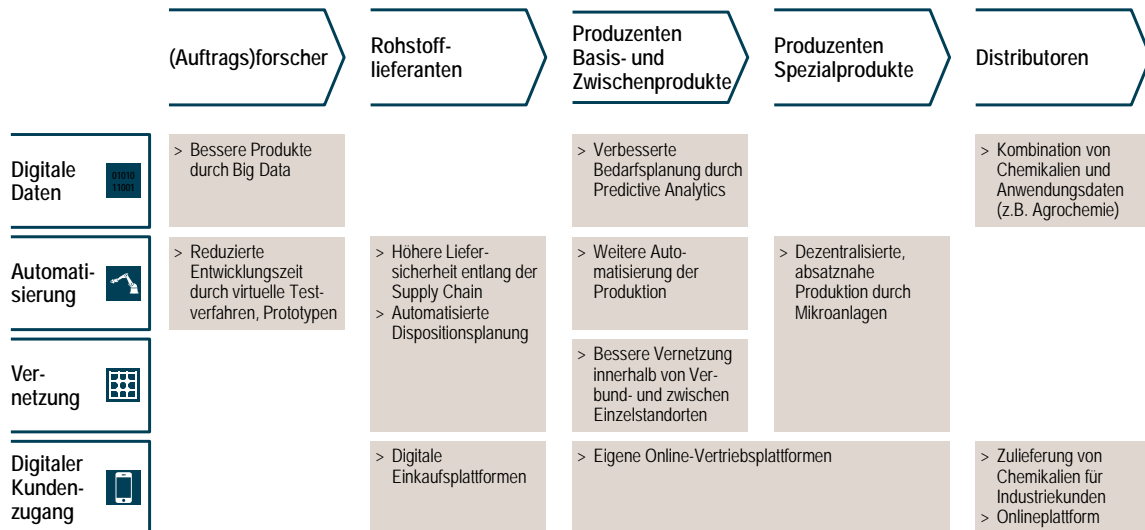
- > die Ressourcen- und Energieeffizienz verbessern;
- > in der Produktion besser ausgelastet und somit leistungsstärker sein können;
- > gut transportabel und leicht umzurüsten sind.

Das Projekt hat vor allem drei Anwendungsgebiete identifiziert: Polymere, Intermediate und organische Chemie. Die BASF hat entsprechende Anlagen, die die verteilte Produktion von Chemikalien mit kleinem bis mittlerem Produktionsvolumen erlauben, bereits erfolgreich in der Praxis getestet.

Solche Kleinstfabriken sind zwar grundsätzlich auch ohne Digitalisierung umsetzbar. Doch erst mit digitaler Unterstützung lässt sich die Produktion so effizient steuern und die Transparenz entlang der Wertschöpfungskette so vergrößern, dass sich das wirtschaftliche Potenzial der dezentralen Aufstellung entfalten kann. Drei technische Voraussetzungen sollten die Mikrowerke erfüllen, damit sie überall schnell betriebsbereit sind ("Plug & Produce"): Es gilt, einen allgemein verfügbaren Backbone mit standardisierten Betriebssystemen zu nutzen, sie in Normcontainer mit einheitlichen Aggregaten einzubauen und den Prozess ganzheitlich zu gestalten – also zum Beispiel auch die Logistik darauf einzustellen, dass die Lieferwege nicht mehr strahlenförmig von einem Mittelpunkt ausgehend verlaufen, sondern in einem Netz mit vielen Knotenpunkten.

Wo Spezialchemikalien genutzt und Servicemitarbeiter zur ihrer Anwendung benötigt werden, etwa in der Agrar- oder Bauwirtschaft, können digitale Technologien dazu beitragen, die Leistung chemischer Produkte zu erhöhen. Viele Hersteller veredeln beispielsweise ihr Angebot von Agrochemikalien mit datengestützten Services, etwa mit Wettervorhersagen und historischen Daten für den richtigen Zeitpunkt von Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte. Auch Bodenanalysen oder die Bestimmung des aktuellen Nährstoffgehalts führen zu relevanten Daten und damit zu höheren landwirtschaftlichen Erträgen. Innovationsführer bieten zudem digitale Schnittstellen zu Landmaschinen wie Pflug, Pflanzmaschine oder Mähdrescher an, um auf diese Weise zu verteilende Düngermengen auszusteuern und die Autonomisierung von Landwirtschaftsfahrzeugen voranzutreiben. Der Agrochemiespezialist Monsanto hat deshalb für knapp eine Milliarde US-Dollar die Climate Corporation übernommen, einen Spezialisten für Wettervorhersagen und Analysen großer Datenmengen. Der Markt für datengestützte Dienstleistungen in der Agrochemie hat für Monsanto ein geschätztes Potenzial von 20 Milliarden US-Dollar.

Abb. 14: Ausgewählte Anwendungsfälle der Digitalisierung – Chemieindustrie



Quelle: Roland Berger

Ausblick: Stabile Marktverhältnisse, Abhängigkeit von Zielindustrien

Durch die Digitalisierung werden sich die Marktverhältnisse in der Chemieindustrie nicht grundlegend verändern. Da die heutigen Akteure bereits über eine hohe digitale Reife verfügen, werden sie auch künftig einen Großteil der aktuellen Wertschöpfung abdecken. Die digitale Transformation stellt die Chemieindustrie weniger vor strategische Fragen als andere Branchen. Es handelt sich überwiegend um evolutionäre Weiterentwicklungen (fortschreitende Automatisierung) oder Spezialprodukte (Agrochemie).

Zudem dient vor allem die Spezialchemie als Zulieferindustrie für andere Branchen, die gegebenenfalls stärker digital transformiert werden, beispielsweise für Chips in der Elektroindustrie oder Kompositen für 3D-Drucker. Hier ist es erfolgskritisch, Trends und Verschiebungen in diesen Branchen frühzeitig zu erkennen und zu verstehen und die passenden Produkte zu entwickeln.

Luft- und Raumfahrttechnik

Fahren ohne Fahrer: Was in der Automobilindustrie als Zukunftsvision gilt, ist in der Luftfahrt längst Realität: Sie nutzt den Autopiloten bereits seit den neunziger Jahren. Der Mensch im Cockpit gibt zwar die Richtung vor, aber die Lageregelung hält das Flugzeug automatisch auf Kurs. Passagierflugzeuge könnten ohne Weiteres vollautomatisch abheben, fliegen und landen. Trotzdem sind – zumindest im Passagierbereich – immer mindestens zwei Piloten dabei. Anders in der militärischen Luftfahrt, dort sind Piloten längst keine Pflicht mehr und auch in der Luftfracht sollen zunehmend Drohnen eingesetzt werden, zumindest auf der letzten Meile.

Entlang der Wertschöpfungskette besteht ein unterschiedlich großes Potenzial für eine digitale Transformation der Luft- und Raumfahrttechnik (Abbildung 15). Aber wie schon das Beispiel Autopilot zeigt, sind die Beharrungskräfte

größer als in anderen Branchen – auf den Piloten aus Fleisch und Blut will der Flugpassagier nicht verzichten, damit dieser für die Sicherheit an Bord sorgen kann.

Digitaler Fortschritt bisher ungleich verteilt

Digitale Technologien spielen in der Luftfahrt bereits auf vielen Wertschöpfungsstufen eine Rolle. Noch ist die Branche allerdings nicht so weit entwickelt wie bei der Automatisierung des Flugvorgangs selbst

Erste Implikationen ergeben sich für die Koordination der Lieferkette. Anders als beispielsweise die Automobilindustrie plant der Flugzeugbau sie noch nicht durchgängig gemeinsam mit allen Zulieferern der ersten bis dritten Stufe ("Tier 1 to 3"). Gelingt es nun Herstellern und Zulieferern, ihre Liefersysteme entlang der Wertschöpfungskette besser zu vernetzen, können sie künftig ihre Abläufe stärker integrieren und ihre Planung enger aufeinander abstimmen. Ein großer Teil der europäischen Luft- und Raumfahrtindustrie – darunter Airbus, Dassault, Safran und Thales – arbeitet schon heute auf der virtuellen Plattform BoostAeroSpace zusammen. Dort können die Partner vorausschauend Bestände planen, interaktiv Liefermengen und -termine abstimmen, den Auftrags- und Lieferstatus verfolgen und den Verbrauch entsprechend VMI-Konzept (Vendor-Managed Inventory) steuern. Der resultierende durchgängige Datenfluss über mehrere Stufen stabilisiert die Lieferketten; Engpässe lassen sich frühzeitig erkennen und entschärfen.

Auch bei den Herstellern großer Flugzeuge hält die Digitalisierung zunehmend Einzug, angesichts sehr kleiner Serien allerdings deutlich später als etwa bei den Autobauern. Digitale Baupläne beispielsweise helfen, Fehler zu vermeiden und die Produktqualität zu erhöhen. Mitarbeiter in Produktion und Montage können Abweichungen über ihre Tablets strukturiert aufnehmen und dabei Fotos und Notizen einbinden. Diese umfassende Rückmeldung an Entwickler und Konstrukteure trägt dazu bei, bei Fehlern rasch Abhilfe zu schaffen bzw. sie ganz zu vermeiden. Das Digital Factory Program bei Airbus etwa bündelt eine Vielzahl derartiger Initiativen.

Zusätzliches Optimierungspotenzial in Produktion und Montage ergibt sich durch den Einsatz von Robotertechnik und additiver Fertigung. Forscher am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz entwickeln gerade einen Roboter, der Flugzeugtragflächen montiert und so einen bislang sehr zeitaufwändigen und körperlich anstrengenden Prozess übernimmt. 3D-Druck wiederum ermöglicht neuartige Formen und Teile, die Material und Kosten sparen helfen. So wiegt etwa eine additiv gefertigte Sitzgurtschnalle aus Titan nur 70 Gramm, 55 Prozent weniger als die konventionell hergestellte. Einen Airbus 380 mit 853 Plätzen verschlankt dies um 72,5 Kilogramm; auf seine Lebensdauer gerechnet spart dieses Mindergewicht rund 3,3 Millionen Liter Kraftstoff bzw. rund 2 Millionen Euro Treibstoffkosten. Auch viele Ersatzteile lassen sich im 3D-Druck schneller und flexibler produzieren als auf herkömmlichen Weg; Lieferengpässe und aufwendige Transportwege entfallen.

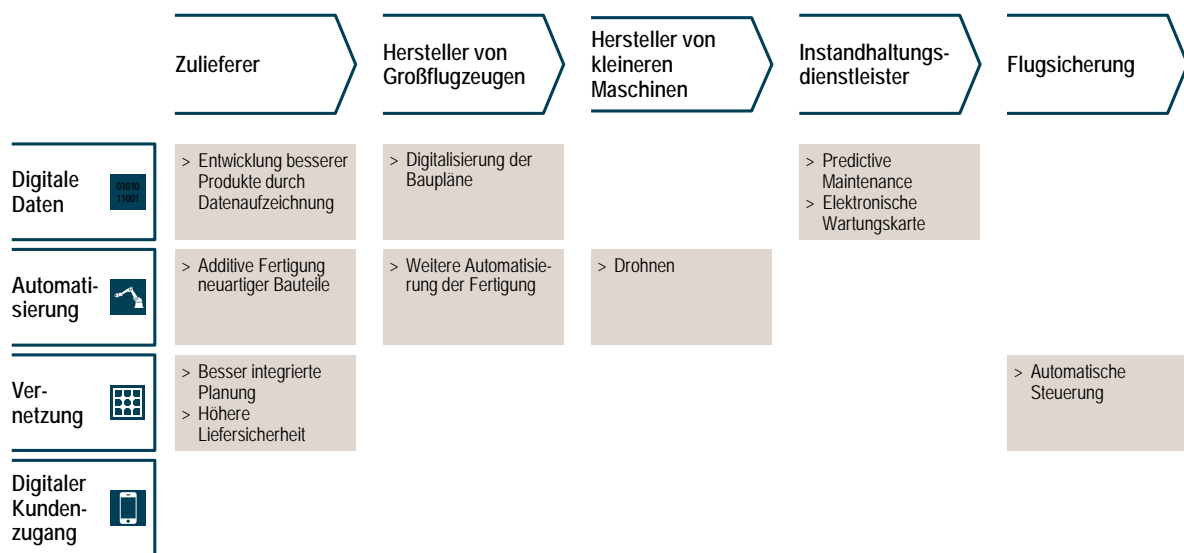
Digitale Werkzeuge dienen jedoch nicht nur der Optimierung des bisherigen Produktionsablaufs, sondern gleichzeitig der Entwicklung neuartiger Produkte. Ein Großteil professionell genutzter Drohnen hat zwar noch immer einen militärischen Verwendungszweck. Aber der zivile Sektor holt kräftig auf, gerade bei unbemannten Kleinstflugzeugen. Drohnen werden heute schon zur Überwachung von Häfen, Pipelines und Stromleitungen sowie zur Wetterbeobachtung eingesetzt. In der Landwirtschaft ermitteln sie zum Beispiel genaue Daten zu Wasserbedarf, Reifegrad und möglichen Erntemengen oder den besten Zeitpunkt für Pflanzenschutz (vgl. Kapitel Chemie). Auch für Landvermessung und Liegenschaftsmanagement oder zur Dokumentation an Hochhäusern sind sie nützlich. Und ihr Potenzial ist längst nicht ausgeschöpft: Der Branchenverband AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International) schätzt, allein in den USA würden nach Freigabe kommerzieller Drohnenflüge innerhalb von zehn Jahren über 100.000 Arbeitsplätze entstehen, die kumuliert 80 Milliarden US-Dollar erwirtschaften.

Bei kapitalintensiven Investitionsgütern wie Flugzeugen sind geringe Ausfallzeiten ein wichtiges Beschaffungskriterium. Die Sammlung und Auswertung großer Datenmengen ermöglicht im Flugzeugbetrieb vorausschauende Wartung: GE etwa setzt Big-Data-Technologien ein, um mit einer Genauigkeit von 70 Prozent vorherzusagen, wann ein Triebwerk das nächste Mal zur Inspektion muss – und zwar einen Monat im Voraus. Airbus entwickelt mit IBM eine Plattform, die im Betrieb anfallende Daten aufbereitet und so wertvolle Wartungshinweise und -empfehlungen liefert.

Zudem gibt es Pläne, jedes Flugzeug über seine gesamte Lebensdauer hinweg mit einer elektronischen Wartungsakte auszustatten, die bei Verkauf mitwandert und Auskunft über die komplette Historie eines Flugzeugs gibt. Dabei werden zahlreiche Teile und Komponenten mit Sensoren und Chips versehen. Durch Auswertung dieser historischen Daten können Techniker auch die Bauteile verbessern und deren lange Testphase verkürzen.

Die automatisierte Steuerung des Luftraums ist ein weiteres vielversprechendes Einsatzgebiet neuer digitaler Technologien. In den USA soll binnen eines Jahrzehnts ein Flugverkehrssystem namens NextGen (Next Generation Air Transportation System) eingerichtet werden. Und die EU hat mit SESAR (Single European Sky Air Traffic Management Research) ein Forschungsprogramm gestartet, um Europas Flugverkehrssysteme zu harmonisieren. Die vollautomatische Steuerung wird den einheitlichen Luftraum effizienter und effektiver machen. Beispielsweise könnte der Sicherheitsabstand zwischen den Flugzeugen sinken und die Anzahl der Flugbewegungen steigen, ohne zusätzliche Start- und Landebahnen bauen zu müssen. Ob und wann sich solche Systeme durchsetzen, ist aber völlig offen und hätte zudem auf die Flugzeughersteller selbst nur geringe Auswirkungen.

Abb. 15: Ausgewählte Anwendungsfälle der Digitalisierung – Luft- und Raumfahrttechnik



Quelle: Roland Berger

Ausblick: Kleine Serien und strikte Regulierung verlangsamen die digitale Transformation, jedoch neue Servicemodelle in Sicht

Die hohen Investitionskosten für neue Flugzeugtypen und der lange Produktlebenszyklus sowie die strenge Regulierung bewirken, dass sich die Digitalisierung in der Luftfahrtbranche langsamer entfaltet als technisch möglich.

Bestehende Akteure können immer nur in begrenztem Umfang neue Entwicklungsprojekte finanzieren, auch weil die Risiken im Falle eines Scheiterns hoch sind. Zudem beträgt die übliche Nutzungsdauer eines zivilen Verkehrsflugzeugs im Schnitt zwanzig Jahre. Entsprechend lang sind die Entwicklungszeiten neuer Modelle bis zur Marktreife.

Ein weiteres Hemmnis für Innovationen liegt im begrenzten Marktpotenzial. Weltweit erwirtschaftet die Luft- und Raumfahrtindustrie lediglich ein Fünftel der Automobilindustrie, in Deutschland ist es mit 30,6 Milliarden Euro vs. 360

Milliarden Euro nicht einmal ein Zehntel. Einen neuen Flugzeughersteller zu etablieren, ist extrem teuer und erfordert den Aufbau eines umfassenden Clusters inklusive Zulieferindustrie.

Vor allem aber ist die Luftfahrt noch mehr auf Sicherheit bedacht als andere Branchen, die Regulierung ist dementsprechend sehr streng. Bis Passagierdrohnen oder vollautomatische Luftraumsteuerung zugelassen werden, dürfte viel Zeit vergehen. Experten gehen sogar davon aus, dass sich daran in den nächsten drei Jahrzehnten nichts grundlegend ändern wird.

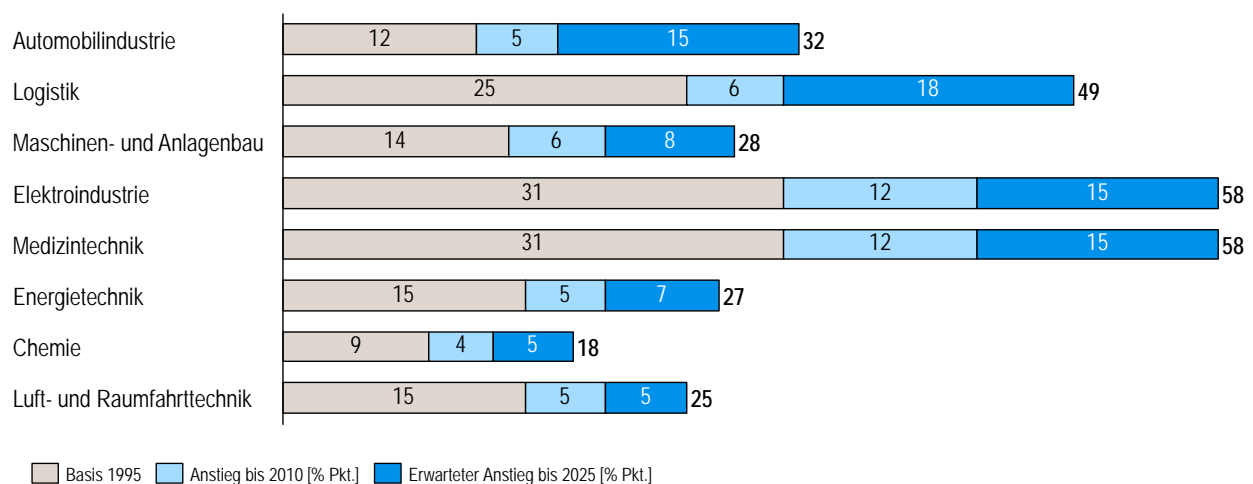
Trotzdem wird die Digitalisierung weiter Einzug halten, auch bei den Geschäftsmodellen. Triebwerke zum Beispiel werden mehr nicht nur verkauft, sondern auch als "Propulsion as a Service" angeboten, ermöglicht durch Connectivity und Remote-Optimierung auf Basis neuer Analytik. Diese neuen Ansätze versprechen der digitalen Transformation der Luftfahrt Auftrieb zu geben.

Risiken der Digitalisierung: Das Bedrohungsszenario für die europäische Industrie

Die zuvor dargestellten Veränderungen stellen die deutsche und europäische Industrie vor enorme Herausforderungen. Die digitale Transformation erfolgreich zu gestalten, wird mit über die Zukunftsfähigkeit der europäischen Industrie entscheiden.

Dies liegt insbesondere im kontinuierlich ansteigenden IKT-Anteil an der Wertschöpfung begründet. Nach Berechnungen der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V. (vbw) betrug der IKT-Anteil an der Wertschöpfung im Jahr 2010 in sechs der acht betrachteten Fokusindustrien bereits 20 Prozent oder mehr, bei einem durchschnittlichen jährlichen Anstieg von 7 Prozentpunkten gegenüber 1995. Aufgrund des Vordringens von IKT-Komponenten entlang der gesamten Wertschöpfungskette und der flächendeckenden Vernetzung auch von Objekten erwarten wir künftig einen noch steileren Anstieg. So gehen wir in den kommenden zehn Jahren von einer Zunahme des IKT-Anteils an der Wertschöpfung von durchschnittlich 11 Prozentpunkten aus, wobei wir die stärksten Effekte in der ersten Welle der digitalen Transformation sehen (Abbildung 16).

Abb. 16: Entwicklung des IKT-Anteils an der Bruttowertschöpfung 1995 – 2025 je Industriesektor



Quelle: Roland Berger

Sind europäische Akteure nicht in der Lage, entsprechende Lösungen zu entwickeln, um diesen IKT-Anteil für sich zu beanspruchen, werden internationale Wettbewerber dies tun. Daraus ergibt sich bis 2025 ein kumuliertes Verlustpotenzial von 605 Milliarden Euro in den EU-15-Ländern plus Norwegen und der Türkei.

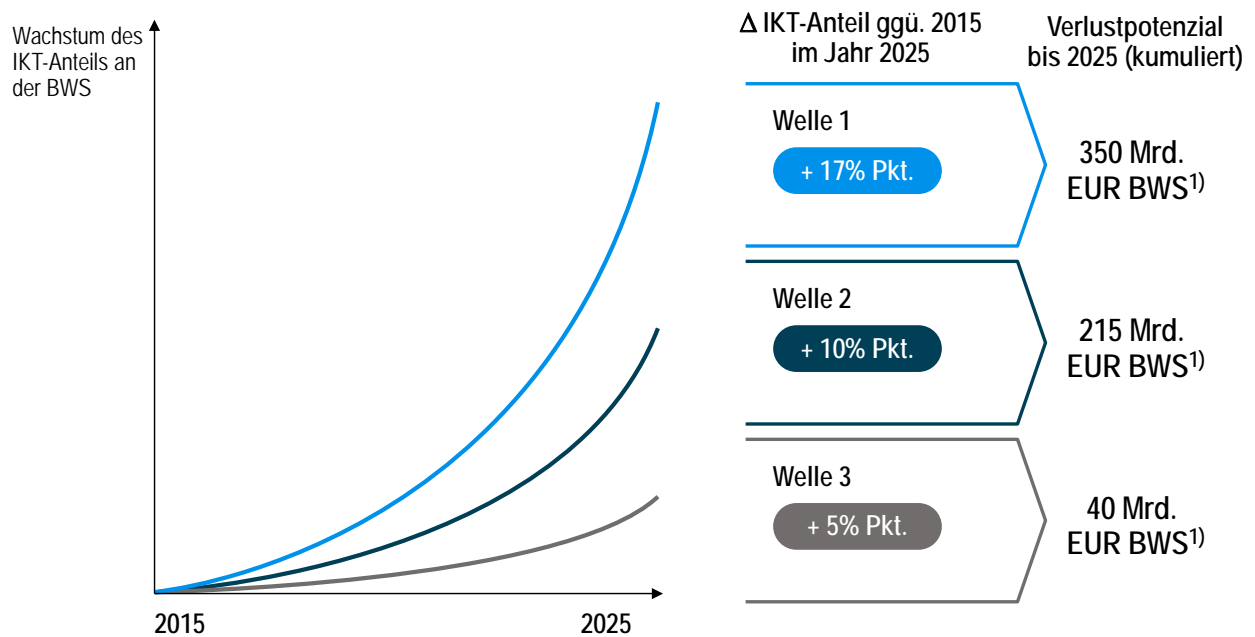
Dabei ist das Bedrohungspotenzial in der ersten Welle der digitalen Transformation deutlich am höchsten. Durch den signifikanten Anstieg des IKT-Anteils stehen hier bis 2025 rund 350 Milliarden Euro an industrieller Wertschöpfung auf dem Spiel (Abbildung 17). Wir gehen davon aus, dass digitale Technologien in der Automobilbranche ein Drittel und in der Logistik rund die Hälfte zur Wertschöpfung beitragen werden. Allein in der Logistik könnten im Jahr 2025 jährlich 49 Milliarden Euro an Bruttowertschöpfung durch internationale Wettbewerber bedroht sein.

In der zweiten Welle finden sich mit der Elektrotechnik und der Medizintechnik zwei Industrien wieder, in denen schon heute ein Großteil der Wertschöpfung auf digitalen Technologien basiert. Dennoch erwarten wir hier, insbesondere aufgrund der zunehmenden Ausstattung elektrotechnischer Komponenten mit Sensoren, einen weiteren Anstieg des IKT-Anteils, der sich vor allem in Form von "Embedded Systems" realisieren wird. Im Maschinen- und Anlagenbau und

in der Energietechnik hingegen rechnen wir trotz des Trends zur "Smart Factory" mit einem schwächeren Anstieg des IKT-Anteils. Im Jahr 2025 werden digitale Technologien rund ein Drittel der Wertschöpfung dieser Branchen ausmachen, ein Großteil wird jedoch weiterhin durch mechanische Komponenten erbracht. Dies reduziert das Bedrohungspotenzial für europäische Industrieunternehmen. Durch das Gewicht dieser vier Branchen stehen für die europäische Industrie bis 2025 dennoch 215 Milliarden Euro industrieller Bruttowertschöpfung auf dem Spiel, wovon mehr als die Hälfte auf den Maschinenbau entfällt.

Für die Branchen der dritten Welle erwarten wir ähnliche Entwicklungen, ausgehend von einer unterschiedlichen Basis. Obwohl die stark prozessorientierte Chemieindustrie schon nahezu vollständig auf eine rechnergestützte Produktionssteuerung vertraut, ist der Anteil der IKT an ihrer Wertschöpfung relativ niedrig. Aufgrund des vergleichsweise geringen Entwicklungspotenzials in der chemischen Produktion erwarten wir entsprechend nur einen mäßigen Anstieg des IKT-Anteils. Obwohl die europäische Chemieindustrie nahezu die gleiche Bruttowertschöpfung wie die Automobilindustrie generiert, ergibt sich bis 2025 ein vergleichsweise geringes Bedrohungspotenzial von 40 Milliarden Euro.

Abb. 17: Verlustpotenzial der europäischen Industrie in der digitalen Transformation



1) Verlorene Bruttowertschöpfung in EU-15-Ländern plus Norwegen und Türkei bei Verlust des zusätzlichen IKT-Anteils an internationale Wettbewerber

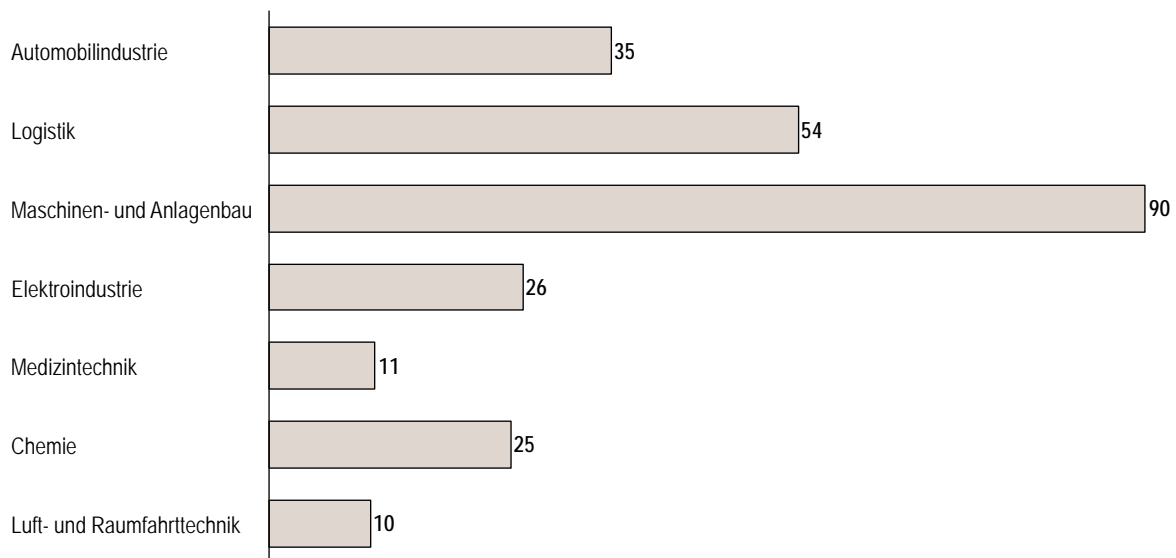
Quelle: Roland Berger

Potenziale eines erfolgreichen Wandels: Die digitale Transformation als Chance für die europäische Wirtschaft

Am Ende der gemeinsamen Anstrengungen von Politik und Wirtschaft muss die erfolgreiche digitale Transformation Deutschlands und Europas stehen. Dabei darf diese nicht nur als Mittel zum Schutz der wirtschaftlichen Stärke der Industrie betrachtet werden, sondern zugleich als signifikante Chance, durch Digitalisierung die Gesamtwirtschaft voranzubringen. So schätzt der Branchenverband BITKOM das zusätzlich entstehende Bruttowertschöpfungspotenzial für die Gesamtwirtschaft auf jährlich 79 Milliarden Euro, wovon 62 Milliarden auf die Industrie entfallen würden. Das wäre ein entscheidender Beitrag zur Stärkung des industriellen Sektors.

Wir sehen kumuliert ein Potenzial von 1,25 Billionen Euro in der europäischen Industrie bis 2025, was einer Steigerung der industriellen Bruttowertschöpfung um 20 bis 30 Prozent entspricht. Dabei berücksichtigen wir, dass insbesondere Industrien mit vergleichsweise geringer "digitaler Reife" von Wertschöpfungssprüngen durch die digitale Transformation profitieren könnten. Zur Bewertung möglicher Produktivitätssprünge wurden zusätzlich die Kapitalintensität in der betrachteten Branche, d.h. die mit einer Digitalisierung verbundenen Investitionskosten, sowie die Relevanz der Kundenschnittstelle herangezogen.

Abb. 18: Zusätzliche jährliche Wertschöpfung je Industrie in 2025 [Mrd. EUR] ¹⁾



¹⁾ Energietechnik in Maschinen- und Anlagenbau inkludiert

Quelle: Roland Berger

Maschinenbauer etwa könnten Produktivitätssprünge von bis zu 30 Prozent erreichen und die digitale Transformation als Multiplikator nutzen, um in 2025 zusätzliche Wertschöpfung in Höhe von 90 Milliarden Euro zu realisieren (Abbildung 18). In Branchen mit vergleichsweise hoher digitaler Reife oder starker Prozessorientierung hingegen werden die Wertschöpfungssprünge geringer ausfallen. Dies wird etwa in der Chemie und Logistik mit möglichen Produktivitätssprüngen von rund 20 Prozent deutlich. Trotz des relativ geringen Produktivitätsanstiegs ergibt sich in der Logis-

tik das zweitgrößte Chancenpotenzial. Europäische Logistikunternehmen könnten im Jahr 2025 zusätzlich 54 Milliarden Euro an Wertschöpfung erzielen.

Dafür ist allerdings eine starke eigene digitale Industrie in Europa nötig. Derzeit gibt es unter den Top-20-Internetfirmen der Welt keinen einzigen Europäer. China hat es in relativ kurzer Zeit geschafft, Unternehmen in diesem Segment zu etablieren, die gemeinsam 13 Prozent der Gesamtbewertung ausmachen. Wir sollten uns dies als Messlatte nehmen. Ziel muss es sein, europäische IKT-Champions zu etablieren, die ebenfalls 13 Prozent des Unternehmenswerts der Top-20-Internetfirmen repräsentieren.

Antworten auf zentrale Fragen dieses strukturellen Wandels lassen sich jedoch nicht innerhalb weniger Wochen oder Monate finden. Die digitale Transformation ist ein langwieriger Prozess, in dem das Zielbild für einzelne Unternehmen an vielen Stellen uneindeutig ist. Der notwendige Kraftakt ist also nicht vergleichbar mit einer Mondlandung, sondern eher mit der Erkundung eines neuen Kontinents, bei der das Ziel der Reise noch nicht erkennbar ist – sich sehr wohl aber Chancen und Möglichkeiten abzeichnen, die sich im Verlauf der Transformation bieten werden.

Von der Digitalisierung einzelner Prozesse bis hin zur Entwicklung neuer, digital getriebener Geschäftsmodelle ist es ein weiter Weg. Die digitale Transformation steckt voller Komplexität, die eine Abfolge von Phasen gründlicher Abwägung und schnellen Handelns geboten erscheinen lässt. Deshalb rechnen wir damit, dass eine durchgreifende und nachhaltige Digitalisierung der deutschen Industrie mindestens zehn Jahre in Anspruch nehmen wird.

Autoren

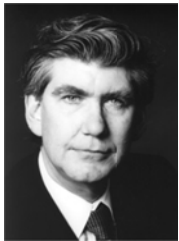
Bei Fragen und Anmerkungen stehen wir jederzeit gerne zur Verfügung



Prof. Dr. Björn Bloching
Partner und Leiter Competence Center Digital
+49 40 37631-4446
bjoern.bloching@rolandberger.com



Philipp Leutiger
Partner
+49 89 9239-8904
philipp.leutiger@rolandberger.com



Prof. Dr. Torsten Oltmanns
Partner und Leiter Global Marketing & Communications
+49 30 39927-3366
torsten.oltmanns@rolandberger.com



Carsten Rossbach
Partner
+49 69 29924-6318
carsten.rossbach@rolandberger.com



Dr. Thomas Schlick
Partner
+49 69 29924-6202
thomas.schlick@rolandberger.com



Gerrit Remane
Senior Consultant
+49 89 9230-8313
gerrit.remane@rolandberger.com



Paul Quick
Consultant
+49 30 39927-3619
paul.quick@rolandberger.com



Oksana Shafranyuk
Senior Researcher
+49 89 9230-8204
oksana.shafranyuk@rolandberger.com

Herausgeber

Roland Berger Strategy Consultants GmbH
Sederanger 1
80538 München
Deutschland
+49 89 9230-0
www.rolandberger.com

Bildnachweis

Alle verwendeten Bilder und Abbildungen sind durch Roland Berger Strategy Consultants lizenziert, sofern nicht anders ausgewiesen.

Haftungsausschluss

Die Angaben im Text sind unverbindlich und dienen lediglich zu Informationszwecken. Ohne spezifische professionelle Beratungsleistung sollten keine Handlungen aufgrund der bereitgestellten Informationen getätigt werden. Haftungsansprüche gegen Roland Berger Strategy Consultants GmbH, die durch die Nutzung der in der Publikation enthaltenen Informationen verursacht wurden, sind grundsätzlich ausgeschlossen.



iTunes Store
[www.rbsc.eu/THINK ACT app](http://www.rbsc.eu/THINK_ACT_app)



Google Play
www.rbsc.eu/RBAndroid

© 2015 Roland Berger Strategy
Consultants GmbH.
Alle Rechte vorbehalten.