

1 Einführung

Digitalisierung und Automatisierung sind wie der Begriff der **Industrie 4.0** in den vergangenen Jahren im industriellen wie auch im wissenschaftlichen Bereich in aller Munde. Fortschreitende technologische Entwicklungen auf der einen Seite und der Wettbewerbsdruck, diese Entwicklungen auch erfolgreich in den Alltag umzusetzen, auf der anderen Seite führen dazu, dass sich die Gesellschaft zunehmend mit den verschiedensten 4.0-Anwendungen beschäftigen muss. Im Gesamtkomplex der Industrie 4.0 spielt dabei insbesondere die Logistik 4.0 eine große Rolle. Viele Digitalisierungstechnologien zielen auf die Bereitstellung und den Transport von Einsatzmaterialien zur Unterstützung und Optimierung der Produktion ab und bilden somit den Kern der digitalisierten Logistik (vgl. Werner 2017, S. 29 ff.).

Der **Ursprung der Logistik** geht dabei zum einen zurück auf die Verkehrsverkehrslehre, die sich mit der Gestaltung von Abläufen in Transportunternehmen beschäftigt, und zum anderen auf die Materialwirtschaft, deren Fokus auf der innerbetrieblichen Materialversorgung liegt. Bei der Logistik steht die möglichst effiziente und kostengünstige Abwicklung von Transport, Umschlag und Lagerung (TUL) im Vordergrund, die als logistische Kernprozesse gelten und auch als TUL-Prozesse bezeichnet werden. Seit den 1980er Jahren bekommt im Zuge des Supply Chain Managements die unternehmensübergreifende Koordination von Materialflüssen in der Wertschöpfungskette eine immer größere Bedeutung (vgl. Göpfert 2013, S. 24 ff.). Dabei profitiert die Logistikbranche zunehmend von der verbesserten Informationsvernetzung, denn erst durch die Echtzeit-Verfügbarkeit von Informationen auf den unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfung lässt sich der Vernetzungsgedanke des Supply Chain Managements in die Realität umsetzen

In einer **flussorientierten Sichtweise** versteht man unter der Logistik die integrierte Planung, Gestaltung, Abwicklung und Kontrolle des gesamten physischen Materialflusses und der zugehörigen Informationsflüsse von den Zulieferern in das Unternehmen hinein, innerhalb des Unternehmens und vom Unternehmen zu seinen Abnehmern. Der Fokus liegt somit auf der Durchführung von raum-zeitlichen Gütertransformationen sowie den zugehörigen unterstützenden Prozessen und Dienstleistungen (vgl. Weber/Kummer 1998, S. 9 ff.; Pfohl 2018; Steven 2015, S. 2 f.).

Um die dabei auftretenden Datenmengen zu bewältigen, wurde in fast allen Teilbereichen der Logistik schon früh auf **IT-Unterstützung** zurückgegriffen. Insbesondere die Möglichkeit, anfallende Material- und Informationsflüsse in Echtzeit aufeinander abzustimmen, führt zu einer Neugestaltung von Logistikprozessen. Analog zu den Digitalisierungsbestrebungen in anderen Funktionsbereichen der Industrie wie

beispielsweise in der Beschaffung 4.0, im Personal 4.0 in der Instandhaltung 4.0 oder auch im Marketing 4.0 wandelt sich die Logistik zu einer Logistik 4.0 (vgl. Dörseln 2020; Hirsch-Kreinsen 2020; Steven/Grandjean 2020).

Dabei bilden verschiedene Digitalisierungstechnologien das Grundgerüst, welches sowohl die Produktionsprozesse in der Industrie 4.0 als auch die Bereitstellungsfunktionen in der Logistik 4.0 unterstützen (► Abb. 1.1):

- **Smarte Objekte kommunizieren** autonom Informationen über ihre Identität und ihre Zustände.
- Die autonom erfassten Daten werden über das **Internet der Dinge** dezentral an verschiedenen Orten in Echtzeit verfügbar gemacht.
- Im **Cloud Computing** werden Daten dezentral verwaltet und gespeichert, sodass an verschiedenen Standorten auf diese Daten und Services über das Internet zurückgegriffen werden kann.
- Eine hohe Datenverfügbarkeit erweitert zudem die Möglichkeiten der Datenanalyse in **Big Data** und bietet die Grundlage einer fundierten Entscheidungsunterstützung.
- Die Verfügbarkeit von großen Datenmengen bildet wiederum die Basis der **künstlichen Intelligenz**, mithilfe derer Maschinen lernen, intelligente Entscheidungen auf Basis von umfassenden Vergleichsanalysen mit zuvor eingegebenen Vergleichsmustern zu treffen.

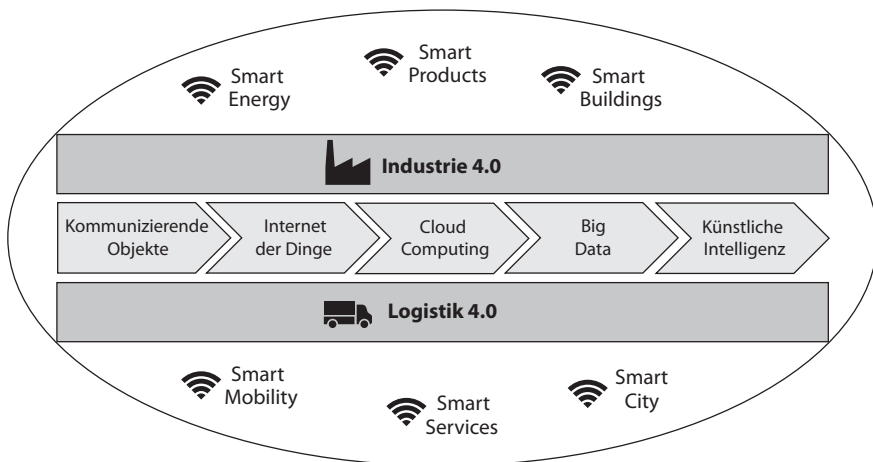


Abb. 1.1: Spannungsfeld der Logistik 4.0

Die genannten Technologien unterstützen gleichermaßen die Digitalisierung von Produktion und Logistik und finden ihren Einsatz in verschiedensten smarten Anwendungen. Angefangen bei smarten Produkten wie z. B. Werkzeugen, die ihren Abnutzungsgrad anzeigen, über smarte Gebäude, die ihre Haustechnik oder Zugangs-

berechtigungen digital steuern, bis hin zur digitalen Regelung der Energieversorgung zeigt sich die Vielseitigkeit der Einsatzmöglichkeiten. Im Bereich der Logistik finden sich von smarten Services wie dem Auftragstracking über smarte Mobilitätsalternativen wie autonome Fahrzeuge oder Drohnen bis hin zu komplexen Smart City-Konzepten unterschiedlichste Beispiele für das Potential der Digitalisierung. Die Vielseitigkeit und Verschiedenheit der Konzepte, Methoden und Instrumente, die eine digitalisierte Logistik ausmachen und damit weit über die klassische Logistik hinausgehen, lassen sich in einer **Arbeitsdefinition Logistik 4.0** zusammenfassen:

Unter dem Begriff **Logistik 4.0** werden sämtliche, auf der Digitalisierung aufbauenden Methoden zusammengefasst, die zur Entwicklung, Gestaltung, Steuerung und Kontrolle von Material- und Informationsflüssen in inner- und zwischenbetrieblichen Wertschöpfungsnetzwerken eingesetzt werden. Logistik 4.0 umfasst den Einsatz der Technologien und Konzepte von Industrie 4.0 in der Logistik. Dadurch können logistische Prozesse, Objekte und Akteure besser vernetzt werden, intelligente, sich selbst steuernde und lernfähige logistische Prozesse und Systeme erzeugt werden und Entscheidungsprozesse durch digital verfügbare und ausgetauschte Informationen beschleunigt und verbessert werden.

Die starke Fokussierung auf effiziente Prozesse wirkt sich auf die Kostensituation in der Logistik aus, wobei der Anteil der Logistikkosten an den Gesamtkosten je nach Branche auf 5-8 % geschätzt wird (vgl. Schulte 2017, S. 14). Somit besteht gerade in der Logistik ein großes Potential, durch den Einsatz von digitalen Technologien die Wertschöpfungsprozesse effektiver und effizienter zu gestalten. In einer Bitkom-Studie aus dem Jahr 2017 bei 508 Unternehmen der Logistikbranche wurde hinterfragt, welche Vorteile diese durch den **Einsatz von digitalen Technologien** im Logistikbereich erwarten (► Abb. 1.2). Dabei zeigte sich, dass fast alle befragten Unternehmen mit einer Senkung der Logistikkosten und einer Beschleunigung der Prozesse innerhalb der Transportkette rechnen. Ein etwas kleinerer Anteil der Befragten geht davon aus, dass die Transportketten weniger fehleranfällig werden, und gut die Hälfte erwartet eine Reduktion der Umweltbelastungen durch die Transportprozesse (vgl. Bitkom 2017). Somit leistet die Digitalisierung der Logistik einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der elementaren unternehmerischen Ziele.

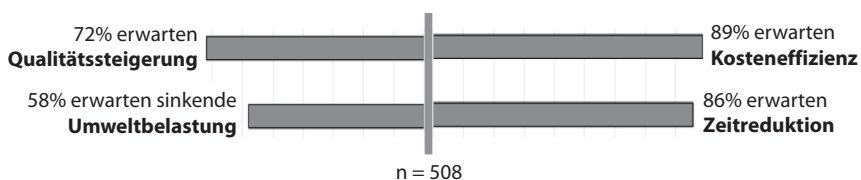


Abb. 1.2: Erwartungen an die Logistik 4.0 (vgl. Bitkom 2017)

Weitere Bitkom Recherchen ergaben bereits zwei Jahre später ein deutlich differenzierteres Bild der unternehmerischen Erwartungshaltung hinsichtlich einer digitalisierten Logistik (vgl. Bitkom 2019). Neben Zeit- und Kostenersparnis sowie sinkender Fehleranfälligkeit und Umweltbelastung, die auch 2017 bereits antizipiert wurden, sehen die befragten Unternehmen zudem Digitalisierungschancen bezüglich der Arbeitsplatzgestaltung sowie der Möglichkeiten, mehr Kundenservice anzubieten (► Abb. 1.3). Während sie zum einen von geringeren körperlichen Belastungen für die Mitarbeiter ausgehen (35 %), erwarten sie zum anderen attraktivere Arbeitsplätze (9 %). Durch die Annahme, dass der Arbeitskräftebedarf aufgrund der Digitalisierung sinken werde (21 %), erhoffen die Unternehmen, den Trend des schrumpfenden Arbeitskräfteangebots in der Logistik kompensieren zu können. Ein steigender Kundenservicegrad (33 %), nicht zuletzt durch eine bessere Informationsversorgung der Kunden, geht einher mit einer besseren Nahversorgung im ländlichen Raum (7 %) sowie attraktiveren Innenstädten (6 %). Digitale Transportalternativen und Verbesserungen der Routenplanung dürften diese Hoffnungen nähren.

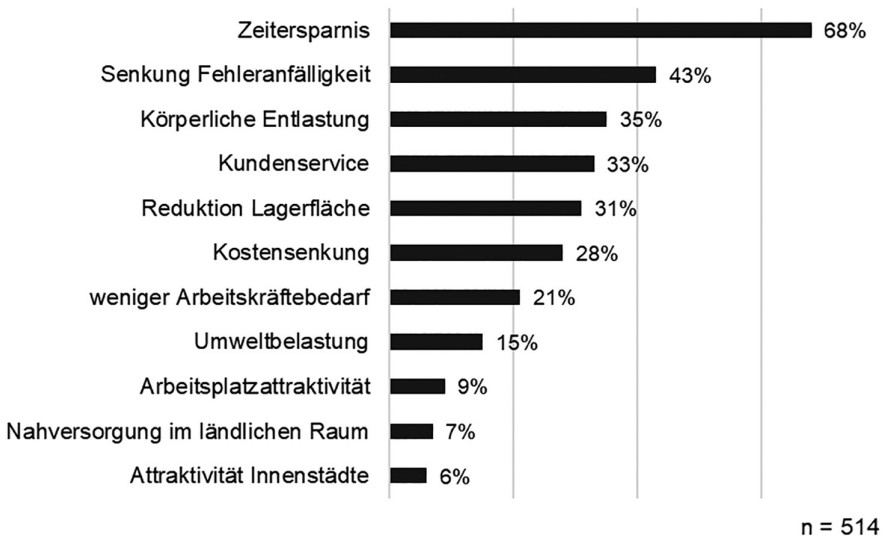


Abb. 1.3: Bewertung der Digitalisierungschancen für die Logistik (vgl. Bitkom 2019)

Neben der Bitkom zeigen auch andere Studien die großen Erwartungen an die positiven Auswirkungen der Digitalisierung auf die Entwicklungspotentiale der Logistik (► Abb. 1.4). So sehen laut einer Umfrage über 90 % der befragten Unternehmen hohe Chancen, die Transparenz innerhalb der gesamten Supply Chain mittels Digitalisierung zu verbessern (vgl. Pflaum et al. 2017, S. 39). Weitere Hoffnungen setzen die befragten Logistikunternehmen insbesondere auf eine verbesserte **Prozesssteuerung**, die nicht zuletzt auch im Zusammenhang steht mit mehr Vernetzung und Automatisierung der einzelnen Prozesse.

Mittels Echtzeitinformation steigen die Erwartungen in eine hohe Datenverfügbarkeit sowie in die schnelle Reaktionsfähigkeit. Mehr Informationen und mehr Möglichkeiten, diese auch mit adäquatem Aufwand zu verarbeiten, verbessern die **Entscheidungskompetenz** und helfen somit, komplexe Entscheidungen zu vereinfachen und insbesondere im Hinblick auf individuelle Anforderungen der Kunden auszurichten. Abbildung 1.4 zeigt, dass die Unternehmen sich hinsichtlich sämtlicher Kriterien mit mehr als 50 % große bzw. gute Chancen ausrechnen, das eigene Logistik-Geschäftsmodell positiv zu beeinflussen.

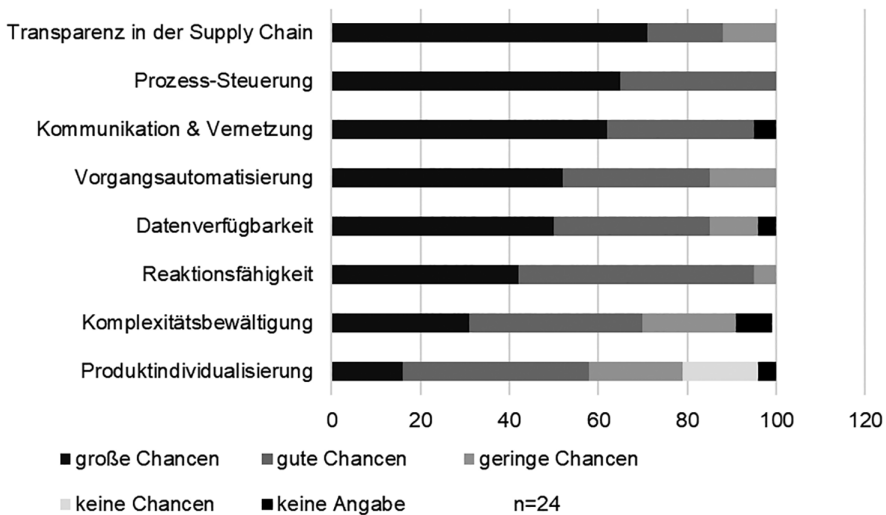
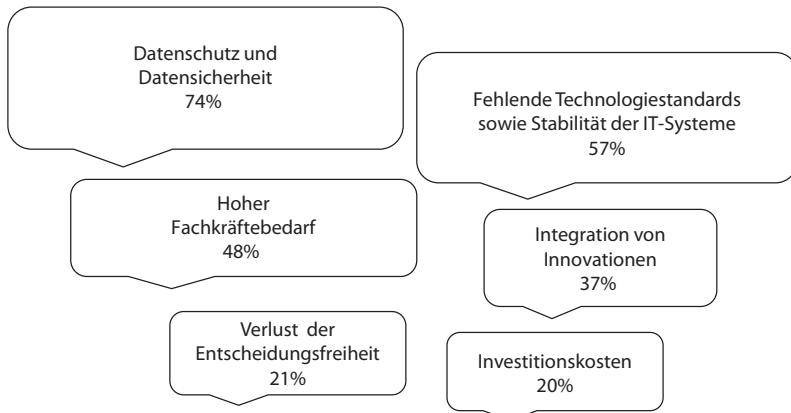


Abb. 1.4: Chancen durch Digitalisierung im Geschäftsmodell (vgl. Pflaum et al. 2017, S. 39)

Allerdings werden in einigen Studien auch **Nachteile** einer Logistik 4.0 ersichtlich (► Abb. 1.5). Diese beziehen sich auf die hohen Investitionskosten und den Verlust der Entscheidungsfreiheit durch die Dezentralisierung der Entscheidungen. Der gesteigerte Fachkräftebedarf für die Implementierung und Nutzung der Technologien erweist sich für viele Unternehmen als weitere Herausforderung, zumal für die Integration der Innovationen in die alltäglichen Prozesse ausgebildetes Fachpersonal benötigt wird.

Die Gefahr der Spionage von Betriebsdaten sowie der Aufwand, der für Datenschutz und Datensicherheit aufzubringen ist, bilden die größten Blockaden, die von der Nutzung digitaler Anwendungen in der Logistik abhalten. Weitere Probleme wie fehlende Prozessabsprache bei der unternehmensübergreifenden Technologienutzung, Skepsis gegenüber der Stabilität der IT-Systeme oder die Sorge vor Abhängigkeiten von den IT-Dienstleistern lassen sich nur bewältigen, wenn einheitliche Technologiestandards gesetzt und Innovationen darauf aufbauend systematisch und umfassend in die Prozesse integriert werden (vgl. Bitkom 2019).



Hürden für den Einsatz von Digitalisierungstechnologien in der Logistik in 2019, n = 606 Unternehmen

Abb. 1.5: Erwartete Blockaden bei der Digitalisierung der Logistik (in Anlehnung an Bitkom 2019)

Trotz aller Bedenken ist die Erwartungshaltung gegenüber einzelnen Technologien und Konzepten in der digitalisierten Logistik ungebremsst. Pflaum et al. kategorisieren die einzelnen Konzepte in unterschiedliche Digitalisierungswellen, wobei die ersten beiden Wellen mittlerweile als abgeschlossen gelten (► Abb. 1.6).

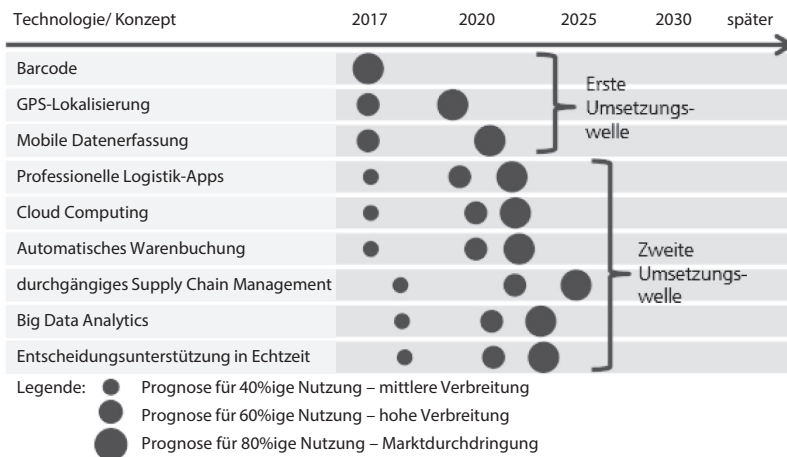


Abb. 1.6: Technologiepotentiale (in Anlehnung an Pflaum et al. 2017, S. 42)

Technologien wie die Identifikation mittels Barcode, die GPS-Lokalisierung oder die mobile Datenerfassung sind bereits seit Jahren etabliert, sodass wesentliche Anteile

der Logistikunternehmen in Deutschland diese inzwischen standardmäßig einsetzen. Mit der hohen **Verbreitung von Technologien** wie der automatischen Warenverbuchung via RFID oder der Nutzung von Logistik-Apps zur Prozesssteuerung ist gemäß der Studie ebenfalls ab Beginn der 2020er Jahre zu rechnen. Umfassende Planungstools zur Entscheidungsunterstützung im gesamten Supply Chain Management werden den Logistikalltag jedoch erst ab Mitte des Jahrzehnts prägen können. Die aktuellen Entwicklungen bestätigen die 2017 getroffenen Vermutungen und lassen auf eine weitere Intensivierung der Umsetzung schließen (vgl. Pflaum et al. 2017, S. 42 ff.).

Wenn man die Vielzahl der digitalen Technologien, auf die Logistikunternehmen bereits setzen nach ihren **Verwendungsbereichen** gruppiert (► Abb. 1.7), so lassen sich insbesondere für die innerbetriebliche Lagerlogistik Potentiale ausmachen (vgl. Bitkom 2019). Während in der überbetrieblichen Logistik die Hoffnungen in autonome Fahrzeuge und Drohnen noch begrenzt sind, planen in der innerbetrieblichen Logistik bereits die Hälfte der Unternehmen mit fahrerlosen Transportsystemen, mit Lagerrobotern immerhin ein Viertel der Logistiker. Auffällig ist, dass auch der Einsatz von künstlicher Intelligenz oder allgemein die Verwendung von Tools wie intelligenten Paletten und Regalen bereits angedacht sind und diese teilweise auch eingesetzt werden. Dies bestätigt die Innovationsfähigkeit der Logistikbranche, die aufgrund des hohen Kostendrucks an stetiger Prozessverbesserung orientiert ist.

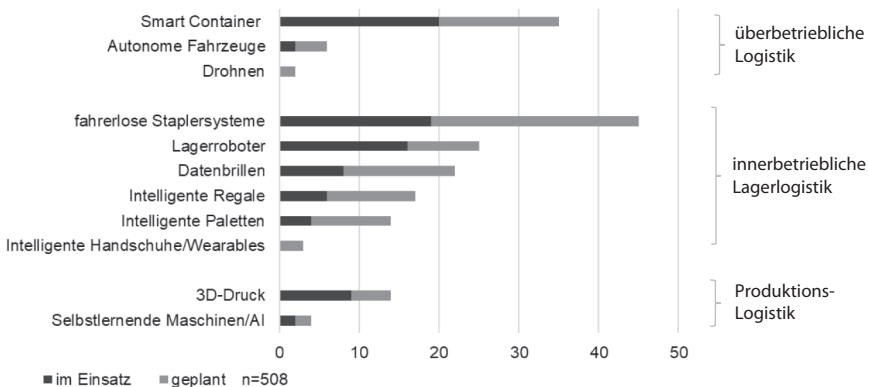


Abb. 1.7: Instrumenteneinsatz in verschiedenen Logistikaufgaben (nach Bitkom 2019)

Bei genauerer Betrachtung der **Digitalisierungsauswirkungen auf die einzelnen Logistikprozesse** werden unterschiedliche Zustandstransformationen an den Logistikobjekten deutlich. In Tabelle 1.1 wird anhand einiger charakteristischer Beispiele gezeigt, welche Auswirkungen die Einführung von Logistik 4.0 auf die verschiedenen innerbetrieblichen Logistikprozesse Lagerung, Transport, Kommissionieren und Verpacken sowie auf die zugehörigen logistischen Zustandstransformationen hat.

Tab. 1.1: Logistische Transformationen und Logistik 4.0

Logistische Transformation	Lagerung	Transport	Kommissionieren	Verpacken	Auswirkungen von Logistik 4.0
Zeitänderung	X				RFID-Identifikation Lagerplatzverwaltung
Raumänderung		X			Automatischer Transport Tracking and Tracing
Mengenänderung			X		Automatische Kommissionierung Mengensensorik
Sortenänderung			X		Palettierroboter Verräumautomatismen
Änderung der Umschlageigenschaften				X	Verpackungsroboter Verpackungskontrolle

Die **Lagerung** bewirkt eine Veränderung der zeitlichen Verfügbarkeit von Logistikobjekten. Durch die RFID-gestützte Identifikation der ein- und auszulagernden Materialien und eine automatische Lagerplatzverwaltung, die jedem Logistikobjekt ein zu seinen Anforderungen passendes Lagerfach zuweist, lässt sich die Effizienz der Lagerung erheblich steigern.

Durch **Transportprozesse** verändert sich die räumliche Verfügbarkeit der Logistikobjekte. In der innerbetrieblichen Logistik kommt dem Einsatz von automatisierten, autonomen, dezentral gesteuerten Transportsystemen eine große Bedeutung zu. Diese sorgen dafür, dass Aufträge und Werkstücke zeitnah zu ihrer – durch die Produktionssteuerung erst kurzfristig zugewiesenen – nächsten Bearbeitungsstation gebracht werden. Auf der Distributionsseite wird durch die als Tracking und Tracing bezeichnete Möglichkeit zur Sendungsverfolgung der Kundenservice vor allem im E-Commerce deutlich verbessert.

Bei der **Kommissionierung** wird eine Mengenänderung an den Logistikobjekten vorgenommen. Hier findet im Rahmen von Logistik 4.0 ein Übergang zur weitgehend automatisierten Kommissionierung statt. Fortgeschrittene Systeme der Mengensensorik, wie sie z.B. bei dem Behältersystem iBin eingesetzt werden, unterstützen die rechtzeitige Nachbestellung von verbrauchten Materialien.

Weiter findet durch die **Kommissionierung** eine Sortenänderung der Logistikobjekte statt. Palettierroboter stellen auf die Kundenwünsche abgestimmte Sendungen zusammen und aktuell nicht benötigte Ware wird automatisch ins Lager zurückgebracht.

Das **Verpacken** führt zu einer Änderung der Umschlageigenschaften von Logistikobjekten. Hier kommen im Rahmen von Logistik 4.0 unter anderem Verpackungsroboter und eine automatisierte Verpackungskontrolle zum Einsatz.

Um einen umfassenden Einblick in die Anwendungsfelder und Potentiale der verschiedenen Methoden und Instrumente zu ermöglichen, werden im zweiten Kapitel zunächst die wesentlichen **Grundlagen** und **Technologien** einer Logistik 4.0 erarbeitet. Dazu zählen zum einen cyberphysische Systeme, das Internet der Dinge und Dienste, Big Data und Cloud Computing als wesentliche Treiber der Digitalisierung der Logistik und zum anderen die künstliche Intelligenz, die Blockchain-Technologie und Virtual bzw. Augmented Reality als Enabler-Technologien. Aufbauend auf dieser technologischen Basis wird in den folgenden Kapiteln das Erkenntnisobjekt Logistik 4.0 systematisch untersucht. Diese Untersuchung orientiert sich an den betrieblichen Funktionen Beschaffung, Produktion und Distribution, d. h. an den verschiedenen Stufen des betrieblichen Wertschöpfungsprozesses (► Abb. 1.8). Da einzelne der behandelten Technologien in mehreren Logistikbereichen zum Einsatz kommen, lassen sich dabei Redundanzen nicht vollständig vermeiden.

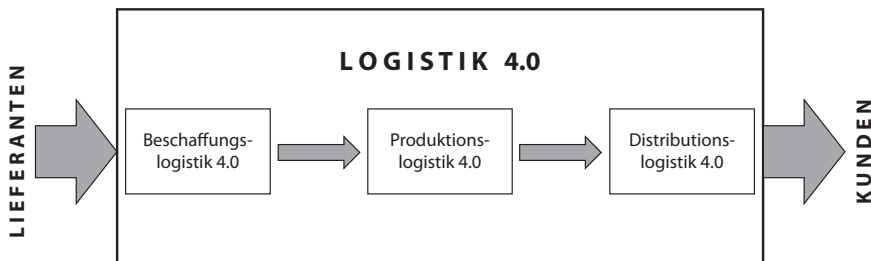


Abb. 1.8: Aufgabenbereiche der Logistik 4.0

Die Versorgung des Unternehmens mit sämtlichen nicht selbst erzeugten Einsatzmaterialien und Vorprodukten ist die Aufgabe der Beschaffung. Im Rahmen der **Beschaffungslogistik 4.0** werden im dritten Kapitel die Ansatzpunkte der Digitalisierung und ihre Auswirkungen auf die Beschaffungsprozesse herausgearbeitet. Weiter werden die wichtigsten Instrumente der Beschaffungslogistik im Hinblick auf ihre Veränderungen durch Industrie 4.0 untersucht. Schließlich erfolgt eine Analyse der Kostenwirkungen, die durch die Digitalisierung in der Beschaffungslogistik ausgelöst werden.

Im Mittelpunkt der **Produktionslogistik 4.0** steht im vierten Kapitel die Veränderung der innerbetrieblichen Transformationsprozesse, die vor allem durch digitale Fertigungskonzepte wie z.B. cyberphysische Systeme beeinflusst werden. Neue Herausforderungen für die Logistik ergeben sich hier vor allem in den Bereichen der Layout- und Fabrikplanung, der additiven Fertigung, der Digitalisierung der Lagertechnik und dem Einsatz von intelligenten innerbetrieblichen Transportsystemen. Eine tiefgreifende Veränderung der betrieblichen Wertschöpfungsstrukturen ergibt sich durch das innovative Konzept Manufacturing as a Service (MaaS), das zum Abschluss des Kapitels dargestellt wird.

Die Aufgabe der Distribution besteht darin, die Erzeugnisse eines Unternehmens über verschiedene Vertriebskanäle zu den Kunden zu bringen. Die **Distributionslo-**

gistik 4.0, die im fünften Kapitel untersucht wird, wird durch die Entwicklung autonomer Fahrzeuge stark beeinflusst. In der Kommissionierung kommen verstärkt Technologien wie Virtual bzw. Augmented Reality zum Einsatz. Neue Plattformen wie Portale und Frachtbörsen bringen Nachfrager und Anbieter von Logistikdienstleistungen zusammen und sorgen für eine Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Effizienz. Dies wird durch Telematik-Anwendungen unterstützt und wirkt sich über die einzelne Anbieter-Nachfrager-Beziehung hinaus auf die gesamte Supply Chain aus. Weitere wichtige Aspekte der Distributionslogistik sind die Abwicklung der Prozesse auf der letzten Meile der Auslieferung und die Rolle der Logistik in einer Smart City.

Das sechste Kapitel befasst sich abschließend mit dem **Logistik 4.0-Reifegrad**, der nicht nur eine Selbsteinschätzung von Unternehmen im Hinblick auf die digitale Reife ihrer Logistikprozesse erlaubt, sondern auch ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Auswahl von Partnern in der Supply Chain darstellt.