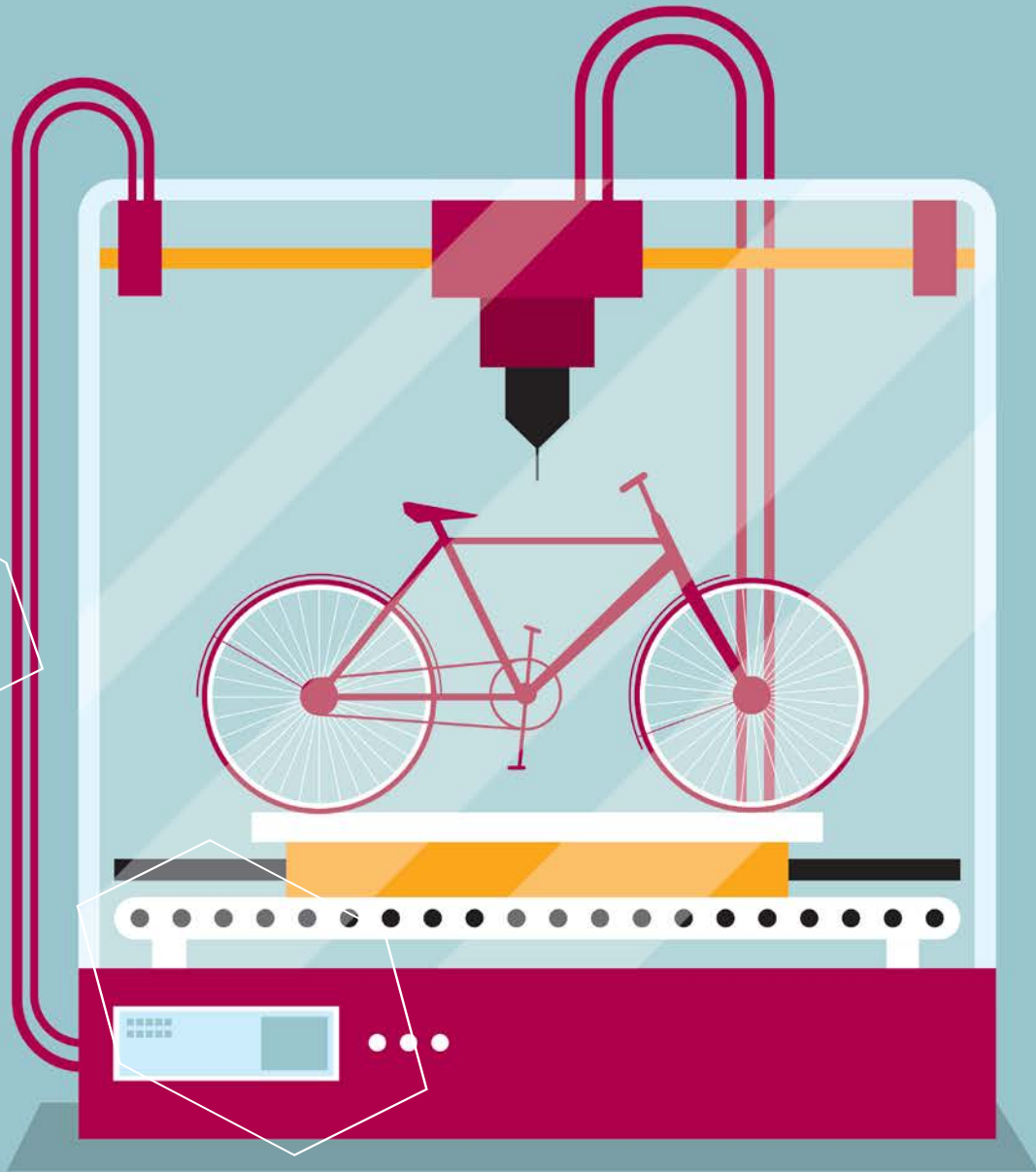


## ERGEBNISPAPIER



**Anwendungsszenario trifft Praxis:  
Auftragsgesteuerte Produktion eines  
individuellen Fahrradlenkers**

## Impressum

### Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Energie (BMWi)  
Öffentlichkeitsarbeit  
11019 Berlin  
[www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

### Redaktionelle Verantwortung

Plattform Industrie 4.0  
Bertolt-Brecht-Platz 3  
10117 Berlin

### Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

### Stand

April 2017

### Druck

Zarbock GmbH & Co. KG, Frankfurt

### Bildnachweis

fandijki – gettyimages (Titel),  
sdecoret – Fotolia (S. 3),  
NicoElNino – Fotolia (S. 12)

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Nicht zulässig ist die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben von Informationen oder Werbemitteln.



Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie ist mit dem audit berufundfamilie® für seine familienfreundliche Personalpolitik ausgezeichnet worden. Das Zertifikat wird von der berufundfamilie gGmbH, einer Initiative der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung, verliehen.



Diese und weitere Broschüren erhalten Sie bei:  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
E-Mail: [publikationen@bundesregierung.de](mailto:publikationen@bundesregierung.de)  
[www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

Zentraler Bestellservice:  
Telefon: 030 182722721  
Bestellfax: 030 18102722721

# Anwendungsszenario trifft Praxis: Auftragsgesteuerte Produktion eines individuellen Fahrradlenkers

Wie spielen die Bereiche Standards, Forschung, Sicherheit, Recht, Arbeit und Qualifikation zusammen? Diese Publikation gibt Antworten.

In der vorliegenden Publikation verbindet die Plattform Industrie 4.0 erstmals die in ihren Arbeitsgruppen entwickelten einzelnen Teilaspekte von Industrie 4.0 zu einem umfassenden Gesamtbild. Sie zeigt auf der Basis des entwickelten Szenarios „Auftragsgesteuerte Produktion (AGP)“, wie die unterschiedlichen Bereiche Standards, Forschung, Recht, Sicherheit sowie Arbeit und Qualifikation zusammenspielen. Gleichzeitig veranschaulicht sie, welche Auswirkungen die Aspekte auf die Praxis für Unternehmen – insbesondere für KMU – haben. Die Hauptrolle dabei spielt ein Fahrradlenker, der individuell und automatisiert für ein E-Bike hergestellt wird.



# Inhalt

<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>Der kundenindividuelle Fahrradlenker</b> .....	<b>5</b>
<b>Übergeordnete Aspekte</b> .....	<b>7</b>
<b>Schritt 1: Konfigurator</b> .....	<b>8</b>
<b>Schritt 2: Ausschreibung</b> .....	<b>10</b>
<b>Schritt 3: Auswahl des Zulieferers</b> .....	<b>13</b>
<b>Schritt 4: Auftragsvergabe</b> .....	<b>14</b>
<b>Schritt 5: Fertigung</b> .....	<b>15</b>
<b>Ausblick</b> .....	<b>16</b>



## Einleitung

In den vergangenen Jahren erlebt die produzierende Industrie einen nachhaltigen Wandel – und steht mit der Digitalisierung und den sich ändernden Marktanforderungen vor vielfältigen Herausforderungen: Zahlreiche Produkte verändern sich immer schneller, wie etwa im Fahrzeugbau. Dort nimmt das Spektrum an eingesetzten Materialien stetig zu: Aluminium, hochfeste Stähle oder faserverstärkte Kunststoffe kommen zum Einsatz. Sie erfordern immer wieder neue, spezifische Fähigkeiten, die eine Fertigung mitbringen muss.

Dazu kommen eine hohe Marktdynamik und ein verändertes Kundenverhalten, die den Wettbewerbsdruck erhöhen: Innovations- und Produktzyklen werden kürzer und neue Fertigungstechnologien etablieren sich am Markt. Das führt dazu, dass Unternehmen schneller reagieren und Investitionsentscheidungen ad hoc treffen müssen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Und das nicht nur bei Konsum, sondern auch bei Investitionsgütern.

Immer mehr Industriebetriebe beginnen daher, diesem Trend zu begegnen und langwierige Investitionsentscheidungen zu umgehen. Ihre Strategie: Sie vernetzen ihre Kapazitäten und Fertigungsfähigkeiten stärker, wie etwa die in ihrem Unternehmen verfügbaren Technologien oder Qualifikationen der Belegschaft – auch über Unternehmensgrenzen hinweg. So gelingt es ihnen, sich schnell an verändernde Markt- und Auftragsbedingungen anzupassen und die Fähigkeiten und Kapazitäten ihrer eigenen Produktionsmittel – dazu zählen neben Maschinen auch Beschäftigte

### **Auftragsgesteuerte Produktion: Von starren Strukturen hin zu dynamischen Beziehungen**

Läuft eine Produktion auftragsgesteuert, dann können Hersteller weitgehend automatisiert auch externe Produktionsmodule einbinden. Je nach Auftragslage erweitern sie flexibel ihre eigenen Fertigungsfähigkeiten und Kapazitäten und binden dabei keine Investitionsmittel. Sie sind in der Lage, sehr flexibel auf veränderte Markt- und Kundenanforderungen zu reagieren. Auf der anderen Seite verbessern Unternehmen die Auslastung ihrer Produktion, indem sie ihre Fähigkeiten und Kapazitäten auf dem Markt anbieten. Außerdem werden neue Geschäftsmodelle im Sinne einer flexiblen Auftragsfertigung möglich. Eng verknüpft ist damit der Übergang zur sogenannten Plattformökonomie, bei der, wie im Szenario „Value Based Services“ beschrieben, auch im B2B-Bereich Dienste über digitale Plattformen angeboten werden.

und die gesamte Organisation – bestmöglich zu nutzen. Wie? Unternehmen, die freie Fertigungskapazitäten haben, bieten diese an und steigern auf diese Weise die Auslastung des eigenen Maschinenparks. Auf der anderen Seite greifen Unternehmen auf die angebotenen Kapazitäten zu und erweitern so temporär das eigene Fertigungsspektrum.

Um solche dynamischen Beziehungen kostengünstig zu realisieren, müssen externe Fertigungskapazitäten möglichst selbstständig und automatisiert in die eigenen Abläufe eingebunden werden. Einzelne Prozessschritte in der Produktion können so wesentlich flexibler als früher miteinander kombiniert und ihre spezifischen Fähigkeiten genutzt werden. Die heute vergleichsweise starren, individuell ausgehandelten Beziehungen von Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette verwandeln sich in ein stark verteiltes und dynamisches Wertschöpfungsnetzwerk, das sich teilweise je Auftrag ändert.

Ausführlich beschrieben wird diese Entwicklung durch das Anwendungsszenario „Auftragsgesteuerte Produktion“<sup>1</sup>, das die Plattform Industrie 4.0 erarbeitet hat.

Es umfasst sämtliche Produktionsmittel und Schritte und beschreibt, wie Aufträge vollautomatisiert geplant, vergeben und gesteuert werden. Ein komplexer Prozess, in dem viele verschiedene Aspekte und Anforderungen stecken: von technischen Voraussetzungen und einer einheitlichen Maschinensprache über einen sicheren Datenaustausch hin zu gesetzlichen Vorschriften und neuen Qualifikationsanforderungen an Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Entlang dieser Fragestellungen aus den AG-Bereichen der Plattform Industrie 4.0 Standards, Forschung, Sicherheit, Recht und Arbeit wird anhand eines konkreten Beispiels veranschaulicht und diskutiert, was es braucht, um die „Auftragsgesteuerte Produktion“ praxistauglich zu machen – im Mittelpunkt des Beispiels: die auftragsgesteuerte Produktion eines individuellen Fahrradlenkers.

**Anmerkung der Redaktion:** Aufgrund der Komplexität aller mit der Produktion eines kundenindividuellen Fahrradlenkers verbundenen Aspekte fokussiert sich das vorliegende Papier darauf, zu veranschaulichen, wie ein geeigneter Zulieferer automatisiert gesucht und ausgewählt wird und wie der gewählte Zulieferer in die Fertigung des Fahrradherstellers mittels Auftragsvergabe eingebunden wird.

1 Veröffentlicht in „Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0“, abrufbar über die Online-Bibliothek der Plattform Industrie 4.0

# Der kundenindividuelle Fahrradlenker

Im Kern beschäftigt sich das Szenario „Auftragsgesteuerte Produktion“ damit, wie ein Unternehmen, im vorliegenden Fall ein Fahrradhersteller, automatisiert Aufträge vergeben kann, um Kapazitäten und Fähigkeiten anderer Unternehmen in die eigene Produktion einzubinden. Wie dies konkret in der Praxis aussehen kann, wird am Beispiel eines kundenindividuell gefertigten Lenkers für ein E-Bike veranschaulicht:

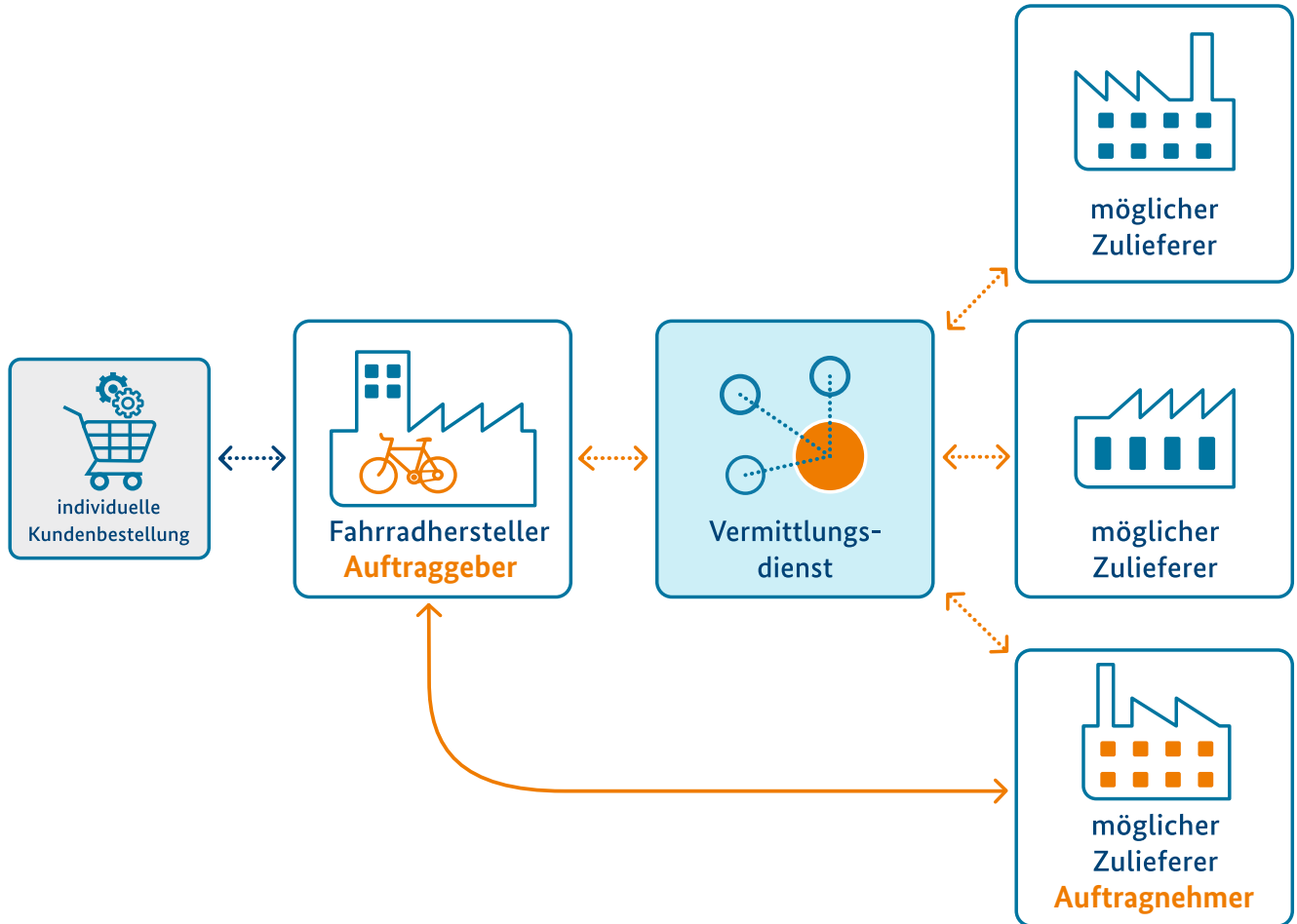
1. Ein Hersteller von E-Bikes bietet seinen Kunden umfassende Konfigurationsmöglichkeiten, um sich ein individuelles Rad zusammenzustellen. Die einzelnen Komponenten bezieht der Fahrradhersteller von Zulieferern, um daraus dann die Räder zu montieren.
2. Neben Standardteilen, die er direkt über den Großhandel bezieht, kommen je nach Wunsch des Kunden auch Komponenten zum Einsatz, die spezifisch hergestellt werden müssen.
3. Der Kunde kann beispielsweise aus einer Reihe von Fahrradlenkern wählen. Neben Standard-Modellen, die auf der Basis von Aluminium-Rohr oder kohlefaserverstärkter Kunststoffe gefertigt werden, gibt es auch ein Modell, das mittels additiver Fertigung hergestellt wird. An die Stelle eines Rohres, das alle Belastungen aufnimmt, tritt bei diesem Lenker eine kraftflussoptimierte Gerüststruktur im Inneren des Lenkers, was neue Design-Möglichkeiten eröffnet. Ob eine spezielle Lenkergeometrie oder zusätzliche Bedienelemente für den Elektroantrieb oder für eine elektrische Gangschaltung – dank des innovativen Fertigungsverfahrens können sie bei der Produktion berücksichtigt werden.
4. Mittels des bereitgestellten Konfigurators des Fahrradherstellers können Kunden die Lenkerform und Position der Bedienelemente verändern. Das Konfigurationssystem stellt sicher, dass diese Wünsche machbar, konform zur Bauteilbeanspruchung und kompatibel zu weiteren Anbauteilen sind.
5. Das Design der kraftflussoptimierten Netzstruktur des Lenkers stellt schützenswertes Know-how des Fahrradherstellers dar. Eine hauseigene Software erstellt automatisiert das Design auf Basis der Konfiguration.
6. Da zu erwarten ist, dass dieser Lenkertyp, der nach individuellen Wünschen des Kunden gebaut wird, eher stark schwankend nachgefragt wird, hat sich der Fahrradhersteller dafür entschieden, nicht in eigene Maschinen zu investieren. Stattdessen vergibt er im Fall einer Bestellung einen Fertigungsauftrag an einen externen Zulieferer. Um die Kosten für diese individuelle Beschaffung möglichst niedrig zu halten, muss der gesamte Prozess der Auftragsvergabe und Fertigung automatisiert ablaufen.

Ein autonom ablaufender Prozess kann erreicht werden, wenn alles automatisch funktioniert: die Konfiguration eines Produkts durch den Endkunden, die Auftragsvergabe an einen Zulieferer, die Fertigung sowie die gesamte Logistik. Denn nur so kann der Fahrradhersteller ein individuelles Produkt fertigen, das annähernd den Preis eines Massenprodukts hat.

Im Beispiel werden **drei Rollen** betrachtet:

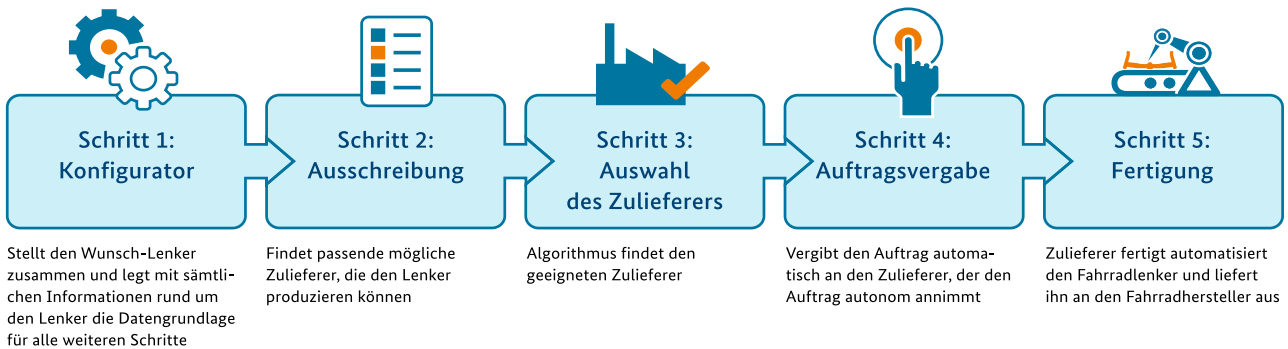
1. **Fahrradhersteller** (Auftraggeber)
2. **Zulieferer** (Auftragnehmer für Fertigung und Lieferung des kundenindividuellen Fahrradlenkers)
3. **Vermittlungsdienst** (Vermittlung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer; kann beim Auftraggeber selbst oder als dritte Partei realisiert werden. Im Folgenden wird der Fall betrachtet, dass der Vermittlungsdienst von einem Dritten bereitgestellt wird und eine eigene Rechtseinheit bildet.)

Abbildung 1: Rollen und Beziehungen in der auftragsgesteuerten Produktion des individuellen Fahrradlenkers



Plattform Industrie 4.0

Abbildung 2: Die einzelnen Prozessschritte im Überblick



Plattform Industrie 4.0



# Übergeordnete Aspekte

Vor Einstieg in die einzelnen Prozessphasen gibt es verschiedene Aspekte, die übergeordnet zu betrachten sind, insbesondere Sicherheits- und rechtliche Themen aber auch der aktuelle Forschungsstand sowie geänderte Kompetenzanforderungen an die Belegschaft.

**Sicherheit** Integrität und Authentizität der ausgetauschten elektronischen Informationen und der Schutz des geistigen Eigentums des Fahrradherstellers (z. B. im Datensatz der Konstruktion) sind das A und O. Nur wenn sie sichergestellt sind, können Aufträge automatisch vergeben werden. Integrität und Authentizität gewährleisten, dass die Vereinbarungen nachweisbar sind. Von ihnen hängt die technisch einwandfreie Herstellung des Produkts ab. Daher ist es wichtig, dass alle Teilnehmer (Fahrradhersteller, Zulieferer und Vermittlungsdienst) und ausgetauschten Informationen eindeutig und sicher identifizierbar sind.<sup>2</sup> Da die Auftragsvergabe innerhalb eines sehr kurzen Zeitfensters erfolgt, ist es von Bedeutung, dass insbesondere die Kommunikationskanäle unternehmensübergreifend technisch verfügbar und gegen unberechtigte Zugriffe abgesichert sind.<sup>3</sup> Ausschließlich die Auftragnehmer, die zeitgerecht ihr Angebot unterbreiten und den ausgelösten Auftrag annehmen, können berücksichtigt werden.

**Recht** Eine weitere Herausforderung, die die auftragsgesteuerte Produktion des Fahrradlenkers mit sich bringt, ist die aktuelle Rechtslage: Gesetzliche Vorschriften sind zurzeit noch nicht auf Industrie 4.0 ausgerichtet und gelten nur national. Rechtliche Erfordernisse der Industrie 4.0 müssen daher durch Vereinbarungen und vertragliche Regelungen umgesetzt werden. Sie schaffen die Grundlage, um den Fahrradlenker auftragsgesteuert produzieren zu können.<sup>4</sup> Notwendige Inhalte solcher Vereinbarungen lassen sich in drei Kategorien unterteilen:

1. Regelungen für die Teilnahme an der auftragsgesteuerten Produktion für alle Beteiligten;
2. Regelungen für Angebote durch Anbieter und für die Vermittlung durch den Vermittlungsdienst;
3. Regelungen für den konkreten Auftrag zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer.

<sup>2</sup> Weitere Informationen in „Technischer Überblick: Sichere Identitäten“

<sup>3</sup> Mehr dazu in „Technischer Überblick: Sichere unternehmensübergreifende Kommunikation“

<sup>4</sup> Details in „Industrie 4.0 – wie das Recht Schritt hält“. Alle Publikationen der Plattform sind abrufbar über die Online-Bibliothek der Plattform Industrie 4.0: [www.plattform-i40.de/I40/Online-Bibliothek](http://www.plattform-i40.de/I40/Online-Bibliothek)

**Arbeit & Qualifizierung** Die auftragsgesteuerte Herstellung eines Fahrradlenkers verändert nicht nur die Art und Weise, wie Maschinen und Technologien in den Produktionshallen miteinander kommunizieren und arbeiten. Sie verändert auch die Qualifikations- und Kompetenzanforderungen an die Beschäftigten: Die Aufgaben gehen über bisher erforderliche Arbeiten hinaus. Insbesondere die Fähigkeit, abstrakte Schnittstellen zu digitalisierten Maschinen bedienen zu können, werden auf allen Ebenen immer mehr nachgefragt. Deshalb sind vor allem Schnittstellenkompetenzen gefragt, auch wenn einzelne Produktionsschritte ausgelagert bzw. automatisiert werden. Denn technische und fachliche Prozesse wachsen durch den Einsatz digitaler Technologien immer enger zusammen. Um diese neuen und zusätzlichen Prozesse zu implementieren, braucht es auf Ebene der IT-Infrastruktur deutlich mehr Personen. Aber auch Montageprozesse verändern sich durch die dahinterliegende, sich verändernde Logik. Die Bedienung von Maschinen, Automatisierung und Flexibilisierung nimmt zu – ebenso die Qualifikationsbedarfe: Jede Mitarbeiterin und jeder Mitarbeiter im Betrieb benötigt ein besseres Produktionsverständnis als bisher und muss mehr Verantwortung übernehmen. Auch die sogenannten „Firefighter“, die als hochqualifizierte Beschäftigte schnell Probleme lösen können, werden weiterhin wichtig sein.

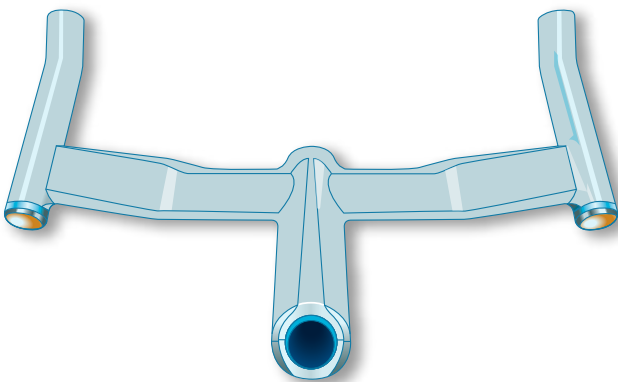
Aber auch „analoge“ Expertise gewinnt an Bedeutung, wie etwa das Verständnis und die (Weiter-)Entwicklung von Geschäftsmodellen für die digitale Welt. Darüber hinaus sind fortgeschrittene analytische Fähigkeiten gefragt, um etwa Sensor- und Plattformdaten sinnvoll zu verarbeiten. Kompetenzen im Bereich der Sicherheit, aber auch Kommunikations-, Kooperations- und Entscheidungsfähigkeit sowie Eigenverantwortung in dematerialisierten und asynchronen Remote-Arbeitsprozessen werden immer stärker gefragt. Schließlich werden auch Kompetenzen im kundenorientierten Design (u. a. für Bedienoberflächen) wichtiger. Dazu werden heute bereits Kompetenzen zu Design Thinking oder bei IT-Anwendungen zu UX-/UI-Design vermittelt. Hier ist eine Zunahme des Bedarfs zu beobachten, damit Kundenbedürfnisse im gesamten Produktionsablauf berücksichtigt werden können. Zur Gestaltung der Arbeitswelt von Morgen bedarf es vermehrter Forschungsaktivitäten zu der Frage, wie sich eine hier im Beispiel geschilderte auftragsgesteuerte Produktion auf Arbeitsorganisation, -abläufe und Kompetenzanforderungen auswirkt.

# Schritt 1: Konfigurator

**Stellt den Wunsch-Lenker zusammen und legt mit sämtlichen Informationen rund um den Lenker die Datengrundlage für die weiteren Schritte – bis hin zur Lenkerfertigung bei einem externen Zulieferer**

Dank der umfassenden Möglichkeiten des Konfigurators kann der Fahrradhersteller – neben seinem gewöhnlichen Repertoire – seinen Kunden Lenkräder anbieten, die ganz nach ihren Design-Wünschen und Funktionen gestaltet sind. So nutzt auch der langjährige Kunde Peter Meier diese Möglichkeit und lässt sich ein E-Bike mit seinem Wunsch-Lenker herstellen. Dafür gibt er sämtliche Informationen zum Fahrradlenker wie Maße und gewünschte Geometrie in den Konfigurator ein, der die Angaben automatisiert mit allen verfügbaren Informationen abgleicht. Der Konfigurator erkennt so bereits während des Bestellprozesses, ob die Wünsche von Peter Meier, wie zum Beispiel die von ihm definierte Lenkerform, physikalisch machbar sind und ob der Lenker kompatibel mit weiteren Anbauteilen ist. Gleichzeitig bündelt der Konfigurator die Typ- und Konfigurationsinformationen beispielsweise zu Struktur, Lenkerkonstruktion und mechanischer Festigkeit und stellt somit die Datengrundlage für die weiteren automatisierten Schritte „Ausschreibung“, „Zuliefer-Auswahl“, „Auftragsvergabe“ und „Fertigung“ bereit.

**Abbildung 3: Peter Meiers Wunsch-Lenker**



Plattform Industrie 4.0

## Der Konfigurator in der Praxis: Vier Blickwinkel



**Standards & Forschung** Bereits heute werden Konfiguratoren in verschiedenen Branchen sehr intensiv eingesetzt – allerdings mit einem entscheidenden Unterschied zum Konfigurator im vorliegenden Beispiel: Während ein Fahrradhändler in der heutigen Praxis

relevante und gewünschte Lenker aus einer Typstückliste auswählt und zusammenstellt, wird im hier gezeigten Fahrradlenker-Beispiel ein kundenspezifisches Produkt konfiguriert, das es in der Form noch nicht gibt und das von einem Zulieferer automatisiert und autonom hergestellt wird. Anstelle eines programmierten Regelwerks mit vorgegebenen Lenker-Varianten, müssen im Szenario-Konfigurator flexiblere Regeln angewandt werden. Der hier angenommene Konfigurator stellt deutlich höhere Anforderungen an die Informationen, die es braucht, um einen Fahrradlenker autonom und individuell herzustellen. Für den individuellen Lenker gibt es weder CAD-Zeichnungen noch exakte Anweisungen für die produzierenden Maschinen. Das können CNC- oder SPS-gesteuerte Anlagen sein, aber auch Roboter und 3D-Drucker.

Ein geeignetes Konzept, um die Daten der Konfiguration aufzunehmen und zwischen Fahrradhersteller und Zulieferer auszutauschen, bietet das „Referenzarchitekturmodell der Industrie 4.0 – RAMI 4.0“ mit seiner Verwaltungsschale. Der konfigurierte Lenker wird damit zur Industrie 4.0-Komponente und erhält einen digitalen Zwilling. Dieses Abbild begleitet genau diese Lenker-Konfiguration von Peter Meier sowie das physikalische Produkt über den gesamten Lebenszyklus hinweg.

Inhaltlich ist es von großer Bedeutung, dass die gelieferten Informationen ohne weitere manuelle Bearbeitung, Verfeinerung oder Ergänzung von allen beteiligten Systemen – vom Konfigurator bis hin zur Maschine in der Fertigungshalle – eindeutig verstanden werden.

### EXKURS: Mit RAMI 4.0 zu einheitlichen Standards

Ein zentrales Ergebnis der Plattform Industrie 4.0 aus den vergangenen Monaten ist das einheitliche „Referenzarchitekturmodell der Industrie 4.0 – RAMI 4.0“. Es führt erstmals die wesentlichen technologischen Elemente der Industrie 4.0 in einem einheitlichen Modell zusammen und bietet damit Unternehmen aus verschiedenen Branchen – von der Fertigungsautomatisierung über den Maschinenbau bis hin zur Verfahrenstechnik – einen einheitlichen Orientierungsrahmen. RAMI 4.0 schafft für alle, die an den Industrie 4.0-Standards arbeiten, ein gemeinsames Verständnis für Normen, Standards und Fallstudien. Außerdem hilft ihnen RAMI 4.0 dabei, relevante Standards zu identifizieren – je nach Anwendungsszenario und Lösungsansatz. Falls kein geeigneter Standard vorhanden ist, unterstützt RAMI 4.0, diese Lücken zu erkennen. Auf Initiative der Arbeitsgruppe 1 ist das Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0 als DIN-Spezifikation DIN-SPEC 91345 zertifiziert und veröffentlicht worden. Zudem ist ein großer Schritt in Richtung internationaler Standardisierungsbemühungen bei Industrie 4.0 gelungen: RAMI 4.0 wird seit kurzem auch in den internationalen Normungsorganisationen International Organization for Standardization (ISO) und International Electrotechnical Commission (IEC) diskutiert.

So muss auch die Verständigung zwischen dem Konfigurator und Vermittlungsdienst im folgenden Prozessschritt einwandfrei funktionieren. Denn dieser Dienst übernimmt eine zentrale Rolle: Er ist im gesamten automatisierten Prozess der Vermittlerknoten zwischen dem Fahrradhersteller (Auftraggeber) und Zulieferer (Auftragnehmer). Die Verständigung gelingt dann, wenn alle Daten und Informationen maschinell lesbar sind und Daten sowie Maschinen sich untereinander mittels einer genauen und eindeutigen Sprache verstehen. Daher sind insbesondere Syntax und Semantik zu berücksichtigen.

Wichtig ist es, dass der Fahrradlenker im Konfigurator hinreichend präzise beschrieben ist. Denn nur so können die automatisierte Fertigung sichergestellt und Liefertermin, Qualität und Preis exakt bestimmt werden.

**Sicherheit** Um die Daten zu schützen, die im Konfigurator gesammelt und hinterlegt sind – insbesondere Dritten gegenüber – sind die Informationen technisch so zu klassifizieren, dass die Anforderungen an die Vertraulichkeit bekannt sind, also, ob eine Information als beispielsweise schützenswert oder nicht schützenswert eingestuft wird. Gleichzeitig müssen die Informationssicherheits-Anforderungen der potenziellen Zulieferer maschinenlesbar enthalten sein. Vertraulichkeit kann vor allem dann sichergestellt werden, wenn die enthaltenen technischen Daten so reduziert sind, dass sie ausreichen, um ein Angebot abzugeben, aber noch nicht das gesamte zu schützende Know-how offenbaren.

**Arbeit & Qualifikation** Für die Entwicklung eines solchen Konfigurators benötigt der Fahrradhersteller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die nicht nur klassische Ingenieursarbeit verstehen. Produktentwickler und auch der Einkauf müssen den gesamten Prozess im Blick haben – beginnend mit dem Konfigurator bis hin zur Auslieferung. Beschäftigte, die Daten in das System eingeben, müssen über eine breite Kompetenzpalette verfügen, wie etwa Technik- und Materialwissen, Datenmanagement sowie juristische und kaufmännische Kenntnisse.

### Konfigurator der Zukunft: Eine Sprache für alle

In Ontologien werden Informationen klassifiziert und zueinander in Beziehung gesetzt. Dadurch erlauben sie logische Schlussfolgerungen, die Ergänzung von Informationen und das Erkennen von Widersprüchen. Alle Beteiligten greifen auf das gleiche formale Wissen und Vokabular zu.

## Schritt 2: Ausschreibung

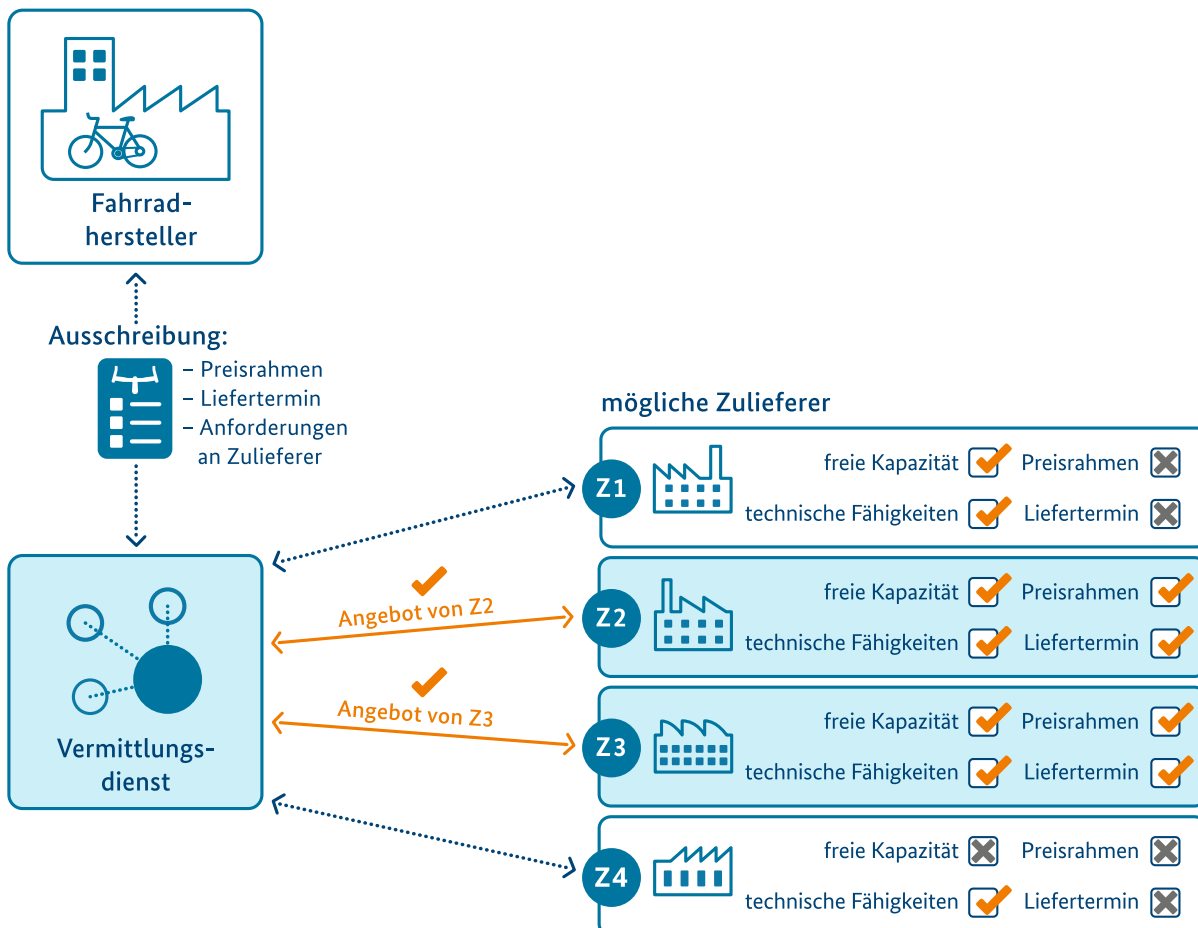
### Findet passende mögliche Zulieferer, die den Lenker produzieren können

Zusätzlich zu den Daten aus der individuellen Konfiguration stellt das Auftragsverwaltungssystem des Fahrradherstellers im zweiten automatisierten Schritt potenziellen Zulieferern alle für die Ausschreibung erforderlichen Informationen bereit. Wichtig auch bei diesem Schritt: Die Daten müssen maschinenlesbar sein und verstanden werden. Dazu gehören etwa der erwartete Preisrahmen und der gewünschte Liefertermin. Im Fall von Peter Meiers E-Bike soll der Lenker spätestens bis Ende Juni geliefert werden, um es vom Fahrradhersteller noch rechtzeitig für den geplanten Sommerurlaub am Bodensee fertig zu montieren.

An dieser Stelle kommt nun der Vermittlungsdienst ins Spiel: Anhand dieser Informationen und den Qualifikationsan-

forderungen des Herstellers ermittelt er automatisch geeignete Zulieferer. Wenn die qualifizierten Zulieferer feststehen, fordert der Vermittlungsdienst sie zur Abgabe eines Angebots auf. Sofern Zulieferer freie Kapazitäten und die notwendigen technischen Fähigkeiten haben, wird automatisch ein Angebot erstellt und dem Vermittlungsdienst übermittelt. Auf dieser Basis identifiziert ein Algorithmus, welche Zulieferer zu den Anforderungen des Fahrradherstellers passen und übermittelt diese Auswahl an den Fahrradhersteller. Geben beispielsweise Zulieferer Angebote ab, die sich im Rahmen der Preisangabe bewegen und den gewünschten Liefertermin halten, werden sie als geeignet eingestuft – sofern natürlich alle anderen Anforderungen auch übereinstimmen.

Abbildung 4: Der vollautomatisierte Ausschreibungsprozess über den Vermittlungsdienst findet mögliche Zulieferer.



## Die Ausschreibung in der Praxis: Vier Blickwinkel



**Standards & Forschung** Ziel des hier beschriebenen Beispiels ist eine offene (Vermittlungs-)Plattform. Dafür ist es essenziell, dass alle Beteiligten – Fahrradhersteller, Zulieferer und Vermittlungsdienst – möglichst nahtlos zusammenarbeiten können. Ein

standardisierter Datenaustausch und Kommunikationsmechanismen sind daher unerlässlich. Bereits dieser zweite Schritt legt die Grundlage für alle Funktionalitäten – auch die der späteren Phasen. Das stellt sehr hohe Ansprüche an die inhaltliche Qualität und Detaillierung der Informationen. Die Standards müssen alle notwendigen Informationen für eine Anfrage an den Vermittlungsdienst aber auch die eines Angebots durch potenzielle Zulieferer umfassen.

### Anforderung trifft Eigenschaft: Merkmalsbasierte Beschreibung von Industrie 4.0-Komponenten in der Verwaltungsschale

Um Betriebsmittel, Abläufe und Produkte zu beschreiben, werden im Rahmen zahlreicher Standardisierungsaktivitäten der Fabrik- und Prozessautomatisierung Merkmale und Merkmalslisten genutzt bzw. erarbeitet. So setzt die im Zuge der Plattform Industrie 4.0-Aktivitäten standardisierte Verwaltungsschale auf dieses Konzept und beschreibt Industrie 4.0-Komponenten merkmalsbasiert. Dadurch werden gewünschte Eigenschaften präzise charakterisiert, aber auch abstrahiert. So können beispielsweise ein CAD-Design und Materialeigenschaften anhand charakteristischer Merkmale wie Steifigkeit und Krümmungsradien abstrahiert werden. Dies ermöglicht letztendlich den Schutz des Designs – und somit des geistigen Eigentums. Gleichzeitig eröffnen sich mehr Freiräume hinsichtlich Technologie, Fertigungsprozess und Produkt, da keine vollständige Charakterisierung erfolgen muss.

Dazu gehören Informationen zu:

- **Präqualifikationen:** z. B. soziale Standards für Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer des Zulieferers
- **Auftrag:** z. B. Lieferfrist, Lieferarten wie Just-in-Time oder Just-in-Sequence, Lieferort, etc.
- **Technik und Produkt bzw. Produktion:** z. B. Materialbeschaffenheit, Form, Funktionalität, Fertigungstechnologie
- **Mögliche, zusätzliche Dienstleistungen des Zulieferers:** z. B. Produktionsdaten, Dokumentationen oder Auftragsstatus

Geeignete Modelle und Beschreibungsmittel, die automatisiert verarbeitet werden können, existieren aktuell nur teilweise in standardisierter Form. Oft sind Vokabulare, Protokolle und Interaktionsmechanismen in unterschiedlichen Standards verstreut zu finden. Dadurch liegen ihnen unterschiedlichste Konzepte und Annahmen zugrunde. Das bedeutet: Ein Vermittlungsdienst, wie er im vorliegenden Beispiel beschrieben ist, kann noch nicht existieren, da die gemeinsame, einheitliche Sprache fehlt. Aus diesem Grund muss sich alle Arbeit darauf konzentrieren, vereinheitlichte Standards und geeignete Ontologien zu schaffen. Neben den zerstreuten einzelnen Standardteilen sind aber auch größere Lücken erkennbar, die noch intensiven Forschungsbedarf aufweisen, wie beispielsweise Interaktionsmechanismen, die es möglich machen, dass Systeme automatisiert verhandeln (Angebotsanfrage und -abgabe).

**Sicherheit** Der Fahrradhersteller muss die Authentizität der Ausschreibung sicherstellen. Das heißt, bei der sicheren Übertragung zum Vermittlungsdienst muss der Fahrradhersteller eindeutig als Auftraggeber und die vom Vermittlungsdienst kontaktierten Zulieferer als Auftragnehmer identifiziert werden. Die potenziellen Zulieferer liefern ihre authentisierten Angebote ab, die auch eine Angabe des Trustworthiness-Niveaus der verschiedenen Aspekte von Vertrauen und Sicherheit des Anbieters und seiner Ausrüstung enthalten. Sie zeigt dem Fahrradhersteller, inwieweit die Zulieferer ihre eigenen Systeme IT-seitig schützen und ob dies den Anforderungen genügt.



### Trustworthiness (Vertrauenswürdigkeit)

Umweltstörungen, menschliche Fehler, Systemfehler und Angriffe – Vertrauenswürdigkeit ist der Grad an Zusicherung, den das System mit Blick auf solche Ausfallmöglichkeiten erfüllt. Einbezogen werden alle wichtigen Systemmerkmale wie Sicherheit (Security), Datenschutz (Privacy), Betriebssicherheit (Safety), Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit (Reliability und Resilience). Die Bedürfnisse von Office-IT und Shopfloor-OT müssen beide erfüllt werden.

**Recht** Rechtlich gesehen ist es notwendig, dass alle Beteiligten eine (Rahmen-)Vereinbarung treffen, die die Teilnahme an der digitalen auftragsgesteuerten Produktion grundlegend regelt. Denkbare Inhalte sind:

- Wirksamkeit digitaler Kommunikation zwischen Maschinen („Maschinenerklärungen“)
- Rechte an Informationen und technischen Beschreibungen
- Vertraulichkeit, Datenschutz, Rechtswahl, Gerichtsstand

In der Praxis werden sich die vorgenannten Inhalte häufig bereits in vorformulierten Vertragsbedingungen (Allgemeine Geschäftsbedingungen) wiederfinden, die zwischen den Beteiligten wirksam vereinbart werden müssen. Außerdem ist eine Vereinbarung notwendig für die Rolle und Aufgaben des Vermittlungsdienstes als Vermittler eines Auftrags zwischen dem Fahrradhersteller und dem Zulieferer.

Für ein gültiges Angebot, das der Fahrradhersteller unverändert annehmen kann, müssen die Informationen über den Auftrag alle rechtlichen Vereinbarungen sowie technische und sonstige Anforderungen enthalten. Dazu können gehören:

- Regelungen für die Leistungserbringung (mit Qualitätsanforderungen, -sicherung und -dokumentation) mit allen zu übergebenden Leistungsinhalten
- Gewährleistung, Haftung, Rechtswahl, Gerichtsstand etc.

# Schritt 3: Auswahl des Zulieferers

## Algorithmus findet den geeigneten Zulieferer

Auf Basis der vom Vermittlungsdienst gelieferten Vorauswahl wählt der Fahrradhersteller im nächsten Schritt den konkreten Zulieferer auf Basis eines Algorithmus automatisiert aus, der beauftragt werden soll. Mit berücksichtigt werden dabei auch die individuellen Präferenzen des Fahrradherstellers. Das bedeutet: Das beste Angebot, das alle notwendigen Anforderungen (rechtlich, technisch und kaufmännisch) erfüllt, erhält automatisch den Zuschlag.

### Die Auswahl des Zulieferers in der Praxis: Vier Blickwinkel



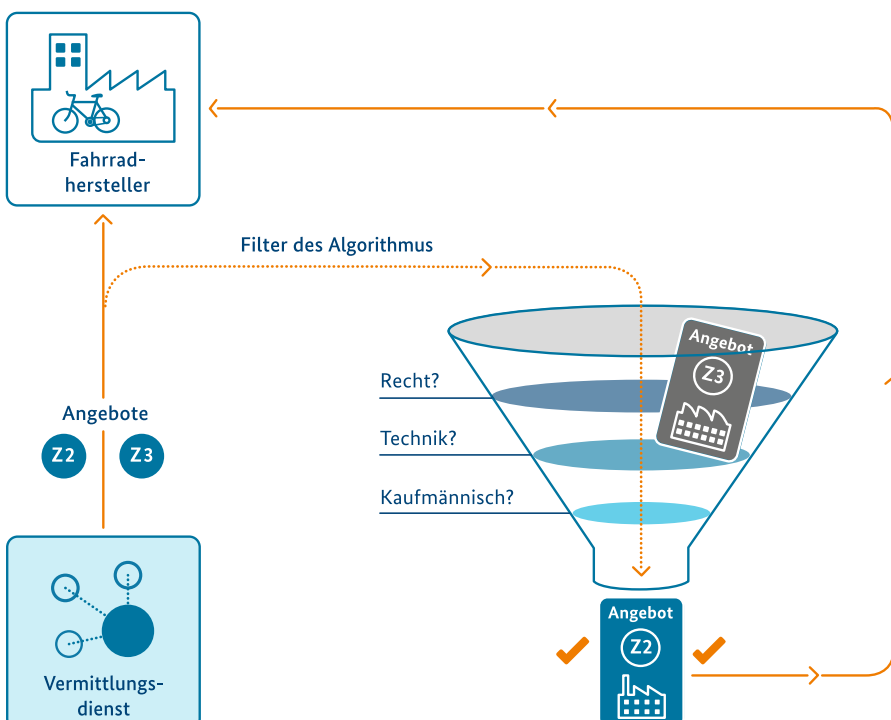
**Standards** Alle Aspekte dazu wurden bereits im zweiten Schritt „Ausschreibung“ betrachtet.

**Sicherheit** In dieser Phase ist zu berücksichtigen, dass der Algorithmus im geschützten Bereich des Fahrradherstellers selbst läuft oder entsprechend gegen Manipulation geschützt ist.

**Recht** Im Rahmen von Plattformökonomien sollte der Fahrradhersteller im Auge behalten, inwieweit Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des ausgewählten Zulieferers einen sozialen Mindestschutz genießen, wie zum Beispiel Sozialversicherung oder Mindestlohn.

**Forschung** Wenn nicht nur ein Angebot darauf geprüft werden soll, ob es zur benötigten Leistung passt, sondern auch Leistung und Preis automatisch verhandelt werden, sind grundlegende Forschungen zum Thema automatische Verhandlungsverfahren notwendig. Dabei ist auch die grundsätzliche Struktur der Algorithmen für die Vermittlung zu beachten, wie zum Beispiel „Broker“- und „Blockchain“-basierte Ansätze. Ein weiterer Aspekt ist die Konvergenz bei der Auswahl bzw. der Vermittlung.

Abbildung 5: Die Auswahl des Algorithmus fällt auf das Angebot des Zulieferers 2.



# Schritt 4: Auftragsvergabe

## Vergibt den Auftrag automatisch an den Zulieferer, der den Auftrag autonom annimmt

Bei der Auftragsvergabe werden alle zuvor gesammelten Informationen und getroffenen Vereinbarungen berücksichtigt und der ausgewählte Zulieferer automatisch beauftragt. Er wiederum nimmt den Auftrag selbstständig an. Ein automatisierter Vertragsschluss zwischen IT-Systemen kommt zustande. Im Anschluss werden die Auftrags- und CAM-Daten transferiert.

### Die Auftragsvergabe in der Praxis: Drei Blickwinkel



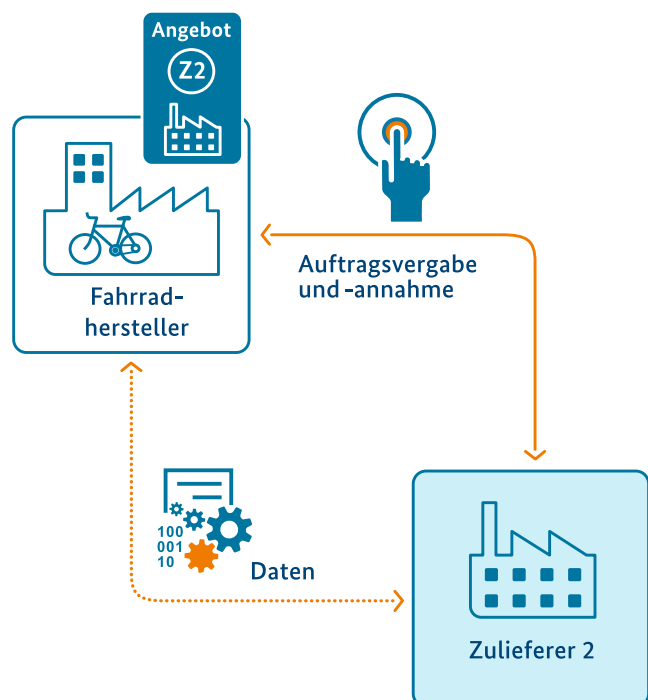
**Standards & Sicherheit** In diesem vierten Schritt ist es von Bedeutung, dass alle Informationen geeignet übermittelt werden, die erforderlich sind, um den Auftrag rechtsverbindlich anzunehmen. Eine Standardisierung ist unumgänglich und ist aktuell bereits

in einem soliden Stand vorhanden. Daneben ist es aber auch notwendig, dass eine standardisierte Schnittstelle und einheitliche Datenformate existieren, um die Produkt- bzw. Produktionsdaten zwischen Fahrradhersteller und Zulieferer automatisiert austauschen zu können und um diese – ebenfalls automatisiert – beim Zulieferer und Auftraggeber zu nutzen. Das bedeutet: Informationen müssen für die Konfiguration der Produktion ohne manuelle Eingriffe direkt verwendet werden können. Gerade bei der additiven Fertigung des Fahrradlenkers spielen Sicherheitsaspekte vor, während und nach dem Druckvorgang eine wichtige Rolle – zum Schutz des geistigen Eigentums, der mittels eines digitalen Rechtemanagements (Digital Rights Management) gewährleistet werden kann. So ist es beispielsweise wünschenswert, dass technisch abgesichert ist, wie das spezifische Wunsch-Design von Peter Meiers Lenker vom Zulieferer und beispielsweise von dessen 3D-Drucker genutzt werden darf (z. B. Anzahl der Fahrradlenker).

**Sicherheit** Ein wichtiger Sicherheitsaspekt in dieser Phase ist, dass der Auftrag authentisiert und nachweisbar erteilt und angenommen wird. Hierbei muss der Transfer der CAM-Daten Vertraulichkeit sicherstellen und erfolgt daher direkt bis zum 3D-Drucker, der den Fahrradlenker produziert. Das ist allerdings nur möglich, wenn die eindeutige, sichere Identifikation gewährleistet ist.

**Recht** Bei der Auftragsvergabe wird der Vertrag über die Leistungserbringung verbindlich mit dem Zulieferer abgeschlossen, den der Fahrradhersteller automatisch als bestgeeigneten ermittelt hat. Mit der automatisch erstellten digitalen Nachricht des Fahrradherstellers an den erfolgreichen Anbieter „Das Angebot ist angenommen“ erfolgt die unveränderte Annahme dieses Angebots. Zu beachten ist: Wird der Auftrag automatisiert angenommen, kann sich das unmittelbar auf den Arbeitseinsatz der beim Zulieferer beschäftigten Arbeitnehmer auswirken. Das wiederum kann Abstimmungsbedarf zwischen dem Zulieferer und dessen Betriebsrat auslösen.

Abbildung 6: Zwischen Zulieferer 2 und dem Fahrradhersteller kommt es zum autonomen Vertragsschluss.



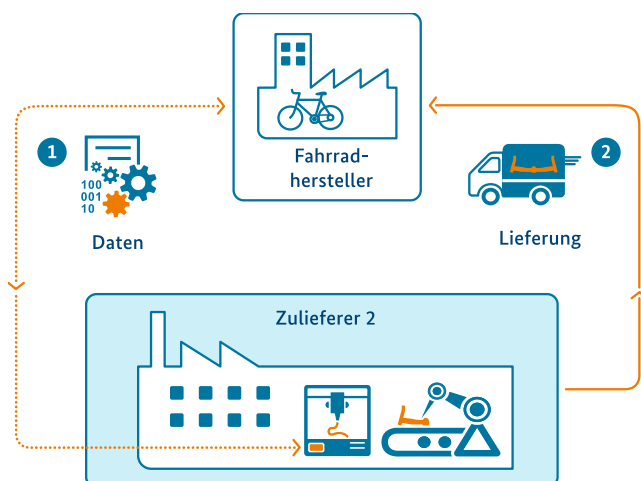


# Schritt 5: Fertigung

## Zulieferer fertigt automatisiert den Fahrradlenker und liefert ihn an den Fahrradhersteller aus

Abschließend fertigt der Zulieferer den gewünschten Fahrradlenker. Dazu kommuniziert der Auftraggeber die gesammelten fertigungsrelevanten Informationen direkt an die Produktionseinrichtungen des Zulieferers – wie etwa an einen Roboter oder 3D-Drucker. Der Fahrradlenker ist über den gesamten weiteren Produktionsablauf identifizierbar, denn der digitale Zwilling des Lenkers enthält alle relevanten Daten und Informationen – auch zur Qualitätssicherung. Der Fahrradhersteller wird kontinuierlich über den Stand der Auftragsdurchführung informiert und kann auch beispielsweise vor der Lieferung einsehen, ob der Fahrradlenker den Qualitätsansprüchen genügt. Ist der Lenker fertig, wird er direkt in die Produktion des Fahrradherstellers geliefert – mit im Gepäck: alle vereinbarten Dokumentationsdaten (Produktgedächtnis).

**Abbildung 7: Der Datenfluss zwischen Hersteller und Produktionsmaschine des Zulieferers sorgt für eine korrekte und transparente Fertigung mit pünktlicher Lieferung.**



Plattform Industrie 4.0

## Die Fertigung in der Praxis: Vier Blickwinkel



**Standards** Die Anforderungen bzw. Dienstleistungen, die in den vorherigen Phasen „Ausschreibung“ und „Auftragsvergabe“ beschrieben wurden, – wie etwa hinsichtlich der Produktverfolgung – müssen bei der Fertigung über

geeignete, durch den Fahrradhersteller und Zulieferer realisierte, standardisierte informationelle Schnittstellen umgesetzt werden. Zudem müssen die Anforderungen in einem geeigneten Format vorliegen, um sie automatisiert weiterverarbeiten zu können.

**Sicherheit** In dieser Phase geht es vor allem darum, Qualitätsmängel und Manipulationen zu erkennen. Damit das gelingt, ist sicherzustellen, dass Prozessdaten, die während der Fertigung gesammelt werden, in das Produktgedächtnis integriert werden können. Nur notwendige und vereinbarte Daten werden an den Fahrradhersteller geliefert. Andere Daten, die zum Beispiel dem Datenschutz unterliegen, müssen beim Zulieferer sicher ausgefiltert werden. Wird das Produktgedächtnis an den Fahrradhersteller übertragen, müssen Vertraulichkeitsanforderungen berücksichtigt werden.

**Recht** Im Rahmen der Fertigungsphase ist es wichtig, dass der Datenschutz gewährleistet ist. Denn zum Beispiel bei der Qualitätssicherung werden Arbeitnehmerdaten der beim Zulieferer Beschäftigten verarbeitet und an den Fahrradhersteller weitergegeben. Die Übernahme der vollständigen Qualitätssicherung für den Lenker mit der entsprechenden Dokumentation durch den Auftragnehmer ist im Auftrag entsprechend zu vereinbaren.

**Arbeit & Qualifizierung** Auch beim Zulieferer kommt es zur Umgestaltung der Rollen und das klassische Verständnis von Engineering, Einkauf und der Rechtsabteilung ändert sich. Neue Qualifizierungsbedarfe sind die Folge, wie etwa für die Produktentwicklung, den Einkauf oder für die Vorbereitung und Durchführung des 3D-Drucks.

# Ausblick

Das vorliegende Beispiel zeigt, wie ein Zulieferer für die Produktion eines kundenindividuellen Lenkers vollständig automatisiert gesucht und beauftragt wird. Das Beispiel fokussiert dabei bewusst einen möglichst einfachen Fall, um die Komplexität handhabbar zu halten. Ziel dieser Publikation ist es, deutlich zu machen, was bei der Umsetzung dieses Szenarios in den Bereichen Standards, Sicherheit, Recht, Arbeit und Qualifikation zu beachten ist und welche Ergebnisse die Plattform Industrie 4.0 hierzu bietet.

Über diesen betrachteten Fall hinaus eröffnen derartige Szenarien der Plattform Industrie 4.0 natürlich viele weitere Möglichkeiten. Beispielsweise kann angenommen werden, dass bereits während der Bestellung durch den Endkunden bei Zulieferern in Echtzeit abgefragt wird. Dieses Ergebnis fließt dann in die Preisgestaltung mit ein, um dem Kunden unterschiedliche Preise in Abhängigkeit von der Lieferfrist zu nennen. Bei einem großen Gestaltungsfreiraum des Kunden kann es sogar sein, dass der Fahrradhersteller ein erhebliches Risiko eingeht, sollte er seinem Kunden einen Preis nennen, ohne zuvor die eigenen Kosten für die Zulieferung und die Lieferfristen geklärt zu haben.

Das Beispiel veranschaulicht bereits im Ansatz, dass komplexe Produkte, wie der individuelle Fahrradlenker, Zulieferbeziehungen zunehmend verschachteln und hochdynamische Wertschöpfungsnetzwerke entstehen. Doch sie werden erst dann Realität, wenn Auftragsvergaben automatisiert und autonom ablaufen.

Auf technischer Ebene existieren heute schon erste Kommunikationsprotokolle für den im Beispiel beschriebenen Informationsaustausch zwischen Fahrradhersteller und Zulieferer. Dennoch gibt es noch einiges zu tun: Für die auftragsgesteuerte Produktion gilt es, die automatisierte Aushandlung von Security-Anforderungen und -Angeboten sowie ein Identitätsmanagement auf unternehmensübergreifender Basis zu erarbeiten.

Hinzu kommt: Je komplexer das Produkt ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass nicht nur eine simple Anfrage ausreicht, die mit „Liefere ich zu dem Preis“ oder „Liefere ich nicht“ beantwortet wird, um eine Lieferantenbeziehung aufzubauen. Denkbar in solchen Fällen: vollständig autonom ablaufende Verhandlungsprozesse, um die unterschiedlichen Interessen von Fahrradhersteller bzw. Auftraggeber (z. B. Preis, Liefertermin, etc.) und Zulieferer bzw. Auftragnehmer (z. B. Auslastung der eigenen Produktion) auszugleichen.

Der Blick in die Zukunft zeigt: Die rasante Entwicklung der Digitalisierung stellt in allen Bereichen der Industrieunternehmen hohe Anforderungen – an Technik, Sicherheit, Recht, Gesamtorganisation und: an ihre Beschäftigten. Wenn auf betrieblicher oder sektoraler Ebene (national oder europäisch) Kompetenzen strategisch geplant werden und vorausschauend gehandelt wird, kann es gelingen, Kompetenzengpässe tatsächlich zu vermeiden. Denn weitsichtiges Aktivwerden stellt sicher, dass rechtzeitig entsprechendes Fachwissen und Qualifikationen angeboten und erworben werden und die Beschäftigten zu den Gewinnern der digitalen Transformation zählen.

## AUTOREN

Klaus Bauer (TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG) | Johannes Diemer (DXC Technology) | Jürgen Ensthaler (TU Berlin) | Claus Hilger (HARTING IT System Integration GmbH & Co. KG) | Lutz Jänicke (PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG) | Michael Jochem (Robert Bosch GmbH) | Konrad Klingenburg (IG Metall) | Bernd Kosch (Fujitsu Technology Solutions GmbH) | Michael Krammel (KORAMIS GmbH) | Christoph Legat (Assystem Germany GmbH) | Thomas Schauf (Deutsche Telekom AG) | Johannes Schipp (T/S/C Fachanwälte für Arbeitsrecht Schipp & Partner Rechtsanwälte mbB) | Hans-Jürgen Schlinkert (ThyssenKrupp AG) | Karsten Schweichhart (Deutsche Telekom AG) | Martin Schweinoch (SKW Schwarz Rechtsanwälte mbB)

Das vorliegende Papier fasst Ergebnisse der Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0 zusammen, zu deren Erarbeitung die Mitglieder aller Arbeitsgruppen beigetragen haben.

