

# Entwicklung und Evaluation eines Informationsversorgungskonzepts für die Prozess- und Produktionsplanung im Kontext von Industrie 4.0

Jens Lachenmaier<sup>1</sup>, Heiner Lasi<sup>1</sup> und Hans-Georg Kemper<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Stuttgart, Lehrstuhl für ABWL und Wirtschaftsinformatik I, Stuttgart, Germany  
{jens.lachenmaier, heiner.lasi, kemper}@wi.uni-stuttgart.de

**Abstract.** Aktuell wird in Industrieunternehmen die zunehmende Digitalisierung, Vernetzung und IT-Durchdringung der Produktion unter dem Begriff Industrie 4.0 diskutiert. Aus der Umsetzung von Industrie 4.0 resultieren Änderungen, von denen die Prozess- und Produktionsplanung (PPP) betroffen ist. Die Veränderungen werden anhand eines innovativen Use Case in der Motorenproduktion eines international agierenden Automobilherstellers exploriert. Dieser Use Case bringt wertvolle Erkenntnisse in Bezug auf die möglichen Veränderungen der Aufgaben in der PPP und des damit verbundenen Informationsbedarfs. Der konkrete Informationsbedarf der Aufgabenträger in der PPP wird auf Basis von Experteninterviews empirisch erhoben und anhand des Use Case auf Industrie 4.0 übertragen. Im Anschluss wird ein Informationsversorgungskonzept auf Basis von Business Intelligence (BI) entwickelt, das den Informationsbedarf der Aufgabenträger zielgerichtet deckt. Das Konzept wird prototypisch realisiert und im Rahmen eines Workshops von Experten aus Industrieunternehmen evaluiert.

**Keywords:** Industrie 4.0, Business Intelligence, Informationsbedarf, Prozess- und Produktionsplanung

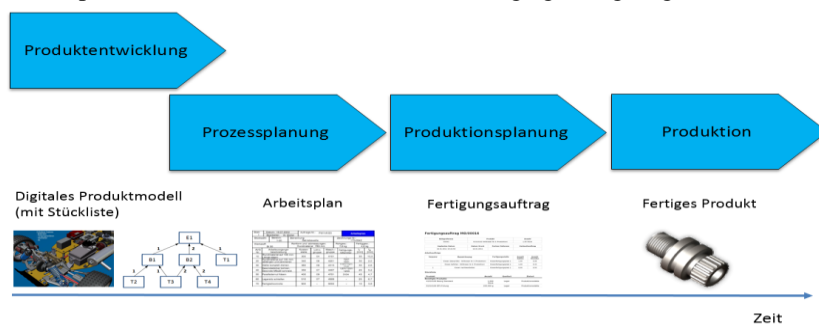
## 1 Motivation und Zielsetzung

Industrieunternehmen stehen aktuell vor den Herausforderungen der zunehmenden Individualisierung von Produkten, der notwendigen Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Reduzierung der Time-to-Market. Diesen Herausforderungen begegnen sie insbesondere mit zunehmender Digitalisierung, IT-Durchdringung und Vernetzung von Produkten, Fertigungsressourcen und Prozessen. Konzepte hierfür werden aktuell vielfach unter dem Begriff Industrie 4.0 subsumiert. [1]

Aus funktionaler Sicht kommt der Bewältigung der Herausforderungen der Prozess- und Produktionsplanung (im Weiteren als PPP bezeichnet) eine wesentliche Rolle zu, da innerhalb der Planung Entscheidungen getroffen werden, die unter anderem einen wesentlichen Einfluss auf die Losgröße, die benötigten Ressourcen sowie die Fertigungszeit haben. [2, 3]

Die hohe Bedeutung der PPP zeigt sich auch in den zahlreichen Veröffentlichungen, unter anderem aus den Ingenieurwissenschaften zu den technischen Aspekten und aus der Betriebswirtschaftslehre zur Entwicklung von Optimierungsansätzen im Rahmen des Operations Research, z.B. [2, 4-8].

Unter dem Begriff Prozess- und Produktionsplanung werden die Planungsaktivitäten an der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktion zusammengefasst. In Abbildung 1 ist dargestellt, wie sich die PPP in den Produktentstehungsprozess einordnen lässt. Die Prozessplanung findet teilparallelisiert zur Produktentwicklung statt. Ergebnis der Prozessplanung ist ein Arbeitsplan für ein spezifisches Produkt. Ist der Prozess definiert, kann die Produktionsplanung beginnen, Fertigungsaufträge einzuplanen. Anschließend werden die Aufträge gefertigt (vgl. Abb. 1).



**Abb. 1.** Einordnung der Prozess- und Produktionsplanung in den Produktentstehungsprozess

Trotz der umfangreichen Arbeiten, die in diesem Kontext bereits erstellt wurden, zeigt eine aktuelle großzählige Studie, dass die Aufgabenträger im Produktionsbereich von Industrieunternehmen mit ihrer aktuellen Informationsversorgung tendenziell unzufrieden sind. [9] Insbesondere der Aufwand zur Informationsbeschaffung wird als hoch und zeitintensiv sowie die Flexibilität der Analysemöglichkeiten als gering eingeschätzt. [9, 10] Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Probanden der Studie nach dem Status innerhalb der aktuell vorherrschenden, relativ statischen PPP befragt wurden. Wie in Kapitel 4 noch gezeigt wird, ändern sich die Rahmenbedingungen der PPP im Kontext von Industrie 4.0 dahingehend, dass diese wesentlich dynamischer wird und Entscheidungen zunehmend zu früheren Zeitpunkten getroffen werden müssen. Damit führen der aktuelle Stand sowie die anstehenden Veränderungen zu der Einschätzung, dass aus Sicht der Praxis ein dringender Bedarf an Konzepten zur adäquaten Informationsversorgung im Kontext der PPP besteht.

Diesem Themenbereich ist der vorliegende Beitrag gewidmet. Das Ziel des Beitrags ist die Entwicklung und Evaluation eines Informationsversorgungskonzepts für die PPP im Kontext von Industrie 4.0. Die forschungsleitenden Fragen, die in diesem Beitrag untersucht werden, lauten daher:

- Wie verändert sich die PPP durch Industrie 4.0?
- Welche Informationsbedarfe bestehen innerhalb der PPP im Kontext von Industrie 4.0?
- Wie kann ein Konzept zur adäquaten Informationsversorgung ausgestaltet sein?



Die Fallstudienmethodik dient dem Zweck, aktuelle Fragestellungen in einem realen Umfeld zu untersuchen. [15] Nach Yin kann eine Einzelfallstudie verwendet werden, um explorative Fragestellungen nach dem „Wie“ und „Warum“ zu beantworten, wenn der Einzelfall als innovativ bzw. ungewöhnlich oder kritisch anzusehen ist. Bei der Durchführung der Fallstudie ist es wichtig, mehrere Erhebungsmethoden zu verwenden, die Ergebnisse strukturiert zu dokumentieren, eine Beweiskette zu führen und möglichst keine elektronischen Quellen zu verwenden. Im Folgenden wird beschrieben, welche Aspekte der Fallstudienmethodik für den Use Case umgesetzt wurden.

Der vorliegende Use Case wurde von drei Forschern im Juni 2012 erhoben und im Anschluss dokumentiert. Das Case-Study-Objekt ist eine Pilot-Fertigungsanlage innerhalb der Motorenproduktion eines internationalen Automobilherstellers. Der Use Case soll die erste Forschungsfrage nach den Veränderungen durch Industrie 4.0 beantworten. Im Rahmen der Erhebung fanden jeweils dreistündige Gespräche mit dem Leiter der Fertigung sowie dem Leiter der Programmplanung und Planung Steuerungstechnik statt. Des Weiteren ist eine nicht-teilnehmende Beobachtung innerhalb der Fertigung erfolgt. Der Use Case wird in Kapitel 4 näher beschrieben.

Zur Validierung des Konzepts wurde als Methodik ein Workshop mit Experten aus der Industrie gewählt, der im Mai 2014 stattfand. Anwesend waren 22 Experten aus den Bereichen Produktentwicklung und Produktion. Den Experten wurde zunächst das Lösungskonzept anhand eines Prototyps präsentiert. Anschließend fand eine kritische Diskussion statt. Die Erkenntnisse der Evaluation werden in Kapitel 6 und 7 vorgestellt.

### **3 Etablierte Ansätze und Aufgaben in der Prozess- und Produktionsplanung**

Um ein Informationsversorgungskonzept entwickeln zu können, müssen die Anforderungen an ein solches Konzept in Form von Informationsbedarfen bekannt sein. [9, 16] Der vorliegende Beitrag folgt der Ansicht, dass der Informationsbedarf zum einen von der zu lösenden Aufgabe und zum anderen vom Aufgabenträger abhängig ist. Aufgaben werden in strukturierte, semi- und unstrukturierte Aufgaben unterteilt – je nachdem, ob der Lösungsweg oder die Ursache-Wirkungs-Beziehung für die Aufgabe bekannt sind oder nicht. [17, 18] Bei strukturierten Aufgaben sind sowohl Lösungsweg als auch Ursache-Wirkungs-Beziehung bekannt und der Informationsbedarf zur Lösung der Aufgabe kann objektiv festgestellt werden. Handelt es sich hingegen um semi- oder unstrukturierte Aufgaben, gibt es einen subjektiven Informationsbedarf, den der zuständige Aufgabenträger festlegt. [19-21] Zunächst werden daher relevante Aufgaben und Aufgabenträger in der Prozess- und Produktionsplanung identifiziert.

#### **3.1 Aufgaben in der Prozess- und Produktionsplanung**

Die Erhebung der Aufgaben innerhalb der PPP erfolgt empirisch im Rahmen einer Voruntersuchung der Autoren mittels einer Literaturrecherche (siehe Kapitel 2). Da-

bei wurde vor allem Basisliteratur verwendet, um bewusst etablierte Konzepte zu berücksichtigen, die im folgenden Abschnitt den Veränderungen durch Industrie 4.0 gegenübergestellt werden.

Die Aufgaben in der PPP lassen sich unterteilen in produkt- bzw. auftragspezifische Aufgaben und übergeordnete Aufgaben, die unabhängig von einem einzelnen Produkt oder Auftrag ausgeführt werden (siehe Tabelle 1). Im Folgenden werden die produkt- bzw. auftragspezifischen Aufgaben fokussiert, da sich bei diesen im Kontext von Industrie 4.0 Änderungen ergeben. Die Aufgaben sind ihrer Abfolge entsprechend nummeriert.

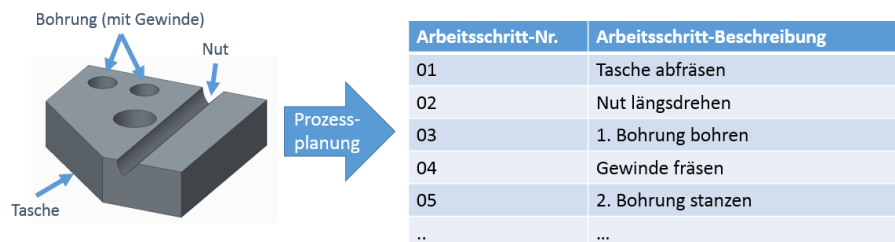
**Tabelle 1.** Aufgaben in der Prozess- und Produktionsplanung, u.a. [3, 5, 7, 22-24]

	<b>Prozessplanung</b>	<b>Produktionsplanung</b>
<b>Produkt- bzw. auftrags-spezifische Aufgaben</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Erstellung von Arbeitsplänen</li> <li>2. Erstellung von Steuerprogrammen</li> <li>3. Simulation des Produktionsprozesses</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Losgrößenplanung</li> <li>5. Terminplanung</li> <li>6. Kapazitätsplanung (fein)</li> </ol>
<b>Übergreifende Aufgaben</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulation des gesamten Produktionssystems</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primärbedarfsplanung</li> <li>• Materialbedarfsplanung</li> <li>• Kapazitätsplanung</li> <li>• Standortplanung</li> <li>• Technologieplanung</li> </ul>

**Aufgaben in der Prozessplanung.** Prozess- und Produktionsplanung bilden wie eingangs dargestellt gemeinsam die Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktion. Die Produktentwicklung beginnt mit der Konstruktion, die in der Regel durch Computer-Aided-Design (CAD)-Systeme unterstützt wird. [25] Dabei werden die Eigenschaften des zu fertigenden Produkts in einem Digitalen Produktmodell festgelegt. Das Digitale Produktmodell beinhaltet eine Stückliste, die sämtliche Einzelteile enthält, aus der das Produkt besteht. Jedes Einzelteil besteht wiederum aus verschiedenen technischen Merkmalen, auch Features genannt. Features sind „Elemente [...] von besonderem technischen Interesse“ [26], unter anderem Bohrungen, Gewinde, etc. Sie werden vom Konstrukteur mit Parametern (z.B. Durchmesser der Bohrung oder Art des Gewindes) versehen und können um weitere Semantik angereichert werden (z.B. Fertigungsverfahren, Toleranzen, Funktion). [26] Diese Parameter und die weitere Semantik sind die Basis für die anschließende Prozess- und Produktionsplanung, die Produktion und die Qualitätskontrolle. [2, 26] Aus Sicht der Ingenieurwissenschaften ist ein Produkt durch die Summe der Features (und dem Rohmaterial) über alle Einzelteile im Digitalen Produktmodell vollständig beschrieben. [25]

Zu einem vordefinierten Entwicklungsstand wird das Digitale Produktmodell zur Prozessplanung freigegeben. Ab diesem Zeitpunkt läuft die Prozessentwicklung teilerweitert parallelisiert zur Produktentwicklung im Rahmen des Simultaneous Engineering. [2, 3]

Die Prozessplanung hat die Aufgabe, einen Fertigungsprozess für alle im Produkt enthaltenen eigengefertigten Einzelteile zu entwickeln sowie einen Montageplan zu erstellen (vgl. Abb. 3). Diese Aufgabe wird in der Literatur auch als technische Produktionsplanung oder Arbeitsvorbereitung bezeichnet. [2, 27, 28] Konkret entsteht als Artefakt ein auftragsunabhängiger Arbeitsplan. [2, 3] Der Arbeitsplan beschreibt, wie aus einem Rohmaterial oder einem zugekauften Einzelteil durch Bearbeitungsschritte (z.B. Bohren oder Fräsen) das Endprodukt entsteht. Für die Prozessplanung entspricht die Durchführung der Bearbeitungsschritte der Realisierung der einzelnen Features aus dem Digitalen Produktmodell, d.h. um ein Endprodukt zu fertigen, müssen alle Features realisiert werden. Es kann für ein Endprodukt mehrere alternative Arbeitspläne geben, da Einzelteile an unterschiedlichen Standorten mit verschiedenen Maschinen oder Features mittels anderer Fertigungstechnologien realisiert werden können. Der Arbeitsplan legt zusätzlich zu den notwendigen Bearbeitungsschritten auch deren Reihenfolge fest. [2, 26, 27]



**Abb. 3.** Aufgabe der Prozessplanung ist die Erstellung eines Arbeitsplans

Die Prozessplanung umfasst dabei zunächst die manuelle Erstellung des Arbeitsplans, d.h. einzelne Arbeitsschritte werden entsprechenden Ressourcen zugewiesen. Handelt es sich bei den Ressourcen um Maschinen, werden für die einzelnen Arbeitsschritte direkt aus dem CAD-Modell heraus automatisiert Anweisungen für die ausführenden Maschinen in Form von Steuerprogrammen generiert. Diese automatische Erzeugung des Steuerprogramms wird in der Literatur mit den Begriffen Computer-Aided-Design-Computer-Aided-Manufacturing (CAD-CAM) oder Computer-Aided-Process-Planning (CAPP) bezeichnet. [2, 3, 6] Die fertigen Steuerprogramme werden z.B. in CAP-Systemen abgelegt. [29]

Im Anschluss kann der Produktionsprozess mit Hilfe eines sogenannten Digital Mock-Ups simuliert werden, um Fehler im Prozess aufzudecken. So können beispielsweise Probleme bei der Maschinenkoordination oder zu kurze Taktzeiten bei der Fließbandproduktion entdeckt werden.

**Aufgaben in der Produktionsplanung.** Ist die Prozessplanung abgeschlossen, werden die fertigen Arbeitspläne in der Regel in das Enterprise-Resource-Planning-(ERP)-System übertragen und Produktionsaufträge im ERP-System erzeugt. Sobald diese vorliegen, beginnt die Produktionsplanung. [2, 3, 23] Die Losgrößenplanung legt die optimale Losgröße für den Fertigungsauftrag in Abhängigkeit von der zu

produzierenden Menge und den Rüstkosten fest. [3-5] Die Terminplanung bestimmt die Abfolge der Fertigungsaufträge und führt die Ressourcenallokation durch. [3, 23] Diese Aufgaben sind zum Großteil programmierbar oder automatisierbar und damit strukturiert.

### 3.2 Aufgabenträger in der Prozess- und Produktionsplanung

Der Gesamtkomplex der PPP ist sehr arbeitsintensiv und wird überwiegend arbeitsteilig bearbeitet. Aufgabenträger sind beispielsweise ein Konstrukteur, der das Produkt entwickelt und noch während der Planung Anpassungen vornehmen kann, ein Produktionsverantwortlicher, der auf die Fertigbarkeit des Produkts achtet, ein Qualitätsmanager, der die Qualität des Endprodukts verantwortet, sowie ein Produktionsplaner, der sich mit den verfügbaren Fertigungstechnologien und Maschinen auskennt und dadurch in der Lage ist, eine Zuordnung zwischen Produkt, Standort und Maschine vorzunehmen. Dies erfordert eine enge Abstimmung zwischen den beteiligten Aufgabenträgern. Da die verschiedenen Aufgabenträger vielfach mit unterschiedlichen Anwendungssystemen zur Unterstützung der jeweiligen Aufgaben arbeiten [3, 23], ist es schwierig, eine integrierte Gesamtsicht auf das Produkt und den Produktionsprozess zu erhalten.

### 3.3 Informationsbedarf in der Prozess- und Produktionsplanung

Zur Erhebung des Informationsbedarfs bezogen auf die etablierte PPP werden sechs Interviews aus den Jahren 2011 und 2012 als Basis herangezogen (vgl. Tabelle 2).

**Tabelle 2.** Liste der durchgeführten Experteninterviews

<b>Jahr</b>	<b>Position der Interviewpartner</b>	<b>Branche</b>	<b>Unternehmensgröße</b>
2011	Leiter Fabrikdatenmanagement	Automobilzulieferer	Groß
2011	Produktionsleiter und Entwicklungsleiter	Maschinenbau	Mittelständisch
2011	Produktionsleiter	Motorenhersteller	Mittelständisch
2012	Verantwortlicher für das Produktdatenmanagementsystem	Maschinenbau	Mittelständisch
2012	Leiter Engineering-IT und Verantwortlicher für das PPS-System	Maschinenbau	Groß
2012	Leiter Qualitätsmanagement	Automobilbau	Groß

Der Informationsbedarf setzt sich aus den Komponenten Informationsart und Informationsbeschaffenheit zusammen. [9, 30, 31] Die Informationsart beschreibt, welche Information der Aufgabenträger benötigt und die Beschaffenheit zeigt auf, in welcher Form, Aktualität und Güte die Information benötigt wird. Als Ergebnis der Interviews wurden die in Tabelle 3 dargestellten wesentlichen Informationsarten ermittelt.

**Tabelle 3.** Wesentliche Informationsarten für die PPP

<b>Objekt</b>	<b>Beispiele für relevante Stammdaten</b>	<b>Beispiele für objektabhängige Kennzahlen</b>
Produkte	Enthaltene Einzelteile, Sachnummer	Durchlaufzeit, Produktionskosten, Verkaufsmenge
Einzelteile	Abmessungen, technische Merkmale	Durchlaufzeit, Produktionskosten, Schadensquote
Materialien	Dichte, Materialart	Bearbeitungszeit, Schadensquote
Technische Merkmale (Features)	Bohrungen, Durchmesser der Bohrung, zulässige Toleranz	Abweichungen beim Durchmesser, Einhaltung der Toleranzvorgaben
Fertigungsverfahren	Benötigte Fertigungsverfahren, verfügbare Fertigungsverfahren	Durchlaufzeit, Oberflächengüte, Produktionskosten
Maschinen	Bauraum, verfügbare Werkzeuge	Durchlaufzeit, Schadensquote
Werkzeuge	Genauigkeit des Werkzeugs, Verwendbarkeit in Maschinen	Abweichungen der Oberflächengüte, Ausschuss

#### **4 Veränderungen in der Prozess- und Produktionsplanung durch Industrie 4.0**

Aktuell wird die zunehmende Durchdringung der Produktentstehung mit IT unter dem Schlagwort Industrie 4.0 intensiv und kontrovers diskutiert. Die Akteure sind hier Vertreter unterschiedlicher Disziplinen, darunter Produktengineering, Manufacturing-Engineering, Informatik, etc. Eine einheitliche begriffliche Abgrenzung ist aufgrund der unterschiedlichen Interessengruppen bisher nicht erfolgt. Generell wird unter Industrie 4.0 ein Verbund aus Basistechnologien (bspw. Radio-Frequency-Identification (RFID)) und Basiskonzepten (bspw. Smart Factory, Digitale Fabrik und Cyber-physische Systeme) verstanden, die mittels (Echtzeit-)Kommunikation zwischen Produkten und Fertigungseinheiten eine autonome Produktion auch über Unternehmensgrenzen hinweg ermöglichen. [1, 32, 33] Der vorliegende Beitrag fokussiert die Produktion und legt daher ein fertigungsnahes Verständnis von Industrie 4.0 zu Grunde, bei dem intelligente Maschinen und Produkte den Herstellungsprozess steuern. [34, 35]

Die Erhebung von Anforderungen an ein Informationsversorgungskonzept im Kontext von Industrie 4.0 erfolgt, wie in Abschnitt 2 erläutert, mittels eines Use Case. Der Use Case beinhaltet ein sogenanntes Cyber-Physisches-Produktionssystem (CPS) und wird im Folgenden näher beschrieben. Daran schließt sich die Ableitung der Erkenntnisse an.



Der Aufbau des betrachteten Produktionssystems entspricht einer Zellenfertigung, in der ca. 90 Zellen mit einem flexiblen Logistiksystem verbunden sind. Jede Zelle entspricht einer automatisierten Fertigungsmaschine. Die Rohteile werden nach Auftragsingang an einem Übergabepunkt vom Produktionssystem übernommen und verlassen das System nach Fertigstellung an einem Ausgabepunkt. Innerhalb des Produktionssystems erfolgt die Realisierung mehrerer hundert technischer Merkmale (bspw. Oberflächen fräsen, Löcher bohren und Gewinde schneiden) über eine mehrstufige Fertigung, also unter Nutzung unterschiedlicher Fertigungszellen. Die Fertigungsdauer beträgt im Durchschnitt ca. acht Stunden. Der Zielwert der Kapazität liegt in der Fertigung bei 120 Stück/Stunde. Das Produktionsprogramm umfasst sechs Produkte, die jeweils über eine hohe Varianz verfügen. Diese ergibt sich auch dadurch, dass konstruktive Änderungen an den Produkten im Durchschnitt einmal pro Woche erfolgen. Der Ablauf der Fertigung wird im Folgenden anhand des Durchlaufs eines Teils erläutert (vgl. Abb. 4).



**Abb. 4.** Produktionssystem im Use Case

Rohteile, die an das Produktionssystem (PS) übergeben werden, enthalten einen Identifikationsmechanismus, mit welchem sie sich am Fertigungssystem anmelden. Über eine Identifikationsnummer ist ein Digitales Produktmodell hinterlegt, das sämtliche zu realisierende technische Merkmale (Bohrungen, etc.) enthält. Meldet sich ein Bauteil am PS an, beginnt eine Kommunikation zwischen den Zellen und dem Bauteil. Dabei wird ermittelt, welche Fertigungskapazitäten unter Beachtung der aktuellen Werkzeugzustände zur Verfügung stehen. Das Bauteil wird nach Abschluss der Kommunikation automatisiert zur entsprechenden Zelle gebracht. Nach Abschluss der Bearbeitung beginnt die Kommunikation erneut und die nächsten Fertigungsschritte werden ausgehandelt. Dies erfolgt so lange, bis das Produkt erkennt, dass alle technischen Merkmale realisiert sind und es sich „fertig“ meldet.

Wie aus dem Use Case ersichtlich ist, werden für die Fertigung von Produkten in autonomen cyber-physischen Systemen keine Arbeitspläne mehr benötigt. Aufgrund der ad-hoc ausgehandelten Fertigungspfade liegen erst ex-post „realisierte Arbeitspläne“ vor, die jedoch für jedes gefertigte Produkt individuell sind. Auch werden CPS in der Lage sein, direkt mit den technischen Merkmalen aus dem Digitalen Produktmodell zu arbeiten, so dass kein Steuerungsprogramm mehr nötig sein wird. Damit kann festgehalten werden, dass die Prozessplanung im Kontext von Industrie 4.0 weitestgehend automatisiert und für jedes zu fertigende Produkt individuell durchgeführt wird. Aus der Prozessplanung verbleibt noch die Aufgabe, einmalig die generellen

Restriktionen in Bezug auf den Ablauf zu definieren. Beispielsweise müssen auch im Kontext von Industrie 4.0 technologisch bedingte Restriktionen manuell in Regeln erfasst werden. Dazu gehört die Vorgabe der Reihenfolge von Bearbeitungsschritten, z.B. erst das Loch bohren, dann das Gewinde hinein fräsen. Diese können bei Bedarf Bestandteil von Digitalen Produktmodellen werden. Die verbleibenden nicht automatisierbaren Aufgaben der Prozessplanung können der Produktionsplanung zugeordnet werden. Im Folgenden wird daher in diesem Beitrag nur noch von Produktionsplanung als Überbegriff gesprochen, die aber auch die seither getrennt betrachtete Prozessplanung umfasst. Aktuelle Ansätze in der Literatur bezeichnen dies als „integrierte Struktur- und Ablaufplanung“. [32]

**Tabelle 4.** Änderung der Aufgaben durch Industrie 4.0

<b>Integrierte Prozess- und Produktionsplanung</b>	
<b>Produktspezifische Aufgaben</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definition der Restriktionen im Digitalen Produktmodell</li> <li>2. Definition des Lösungsraums für die Produktion</li> </ol>
<b>Übergreifende Aufgaben</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primärbedarfsplanung</li> <li>• Materialbedarfsplanung</li> <li>• Kapazitätsplanung</li> <li>• Simulation des Produktionssystems</li> <li>• Standortplanung</li> <li>• Technologieplanung</li> </ul>

Auch wird sich der Fokus der Aufgaben verschieben. Aus den Aufgaben der Losgrößen-, Termin- und Kapazitätsplanung entsteht im Kontext der autonomen Produktion eine neue Aufgabe: Der Produktionsplaner benötigt Möglichkeiten, um den Freiheitsgrad der autonomen Fertigung zu definieren, also um zulässige Produkt-Maschinen-Kombinationen zu erlauben bzw. unzulässige Kombinationen zu verbieten. Dies führt auch zu einer Veränderung der Aufgaben bezüglich deren Strukturiertheit. Waren seither viele Aufgaben strukturiert und konnten mathematisch gelöst werden, wechselt der Fokus nun auf unstrukturierte oder semi-strukturierte Aufgaben, da es keine vollständige Beschreibung des Lösungswegs mehr gibt. [32] Stattdessen kann auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. So werden Kosten z.B. auf Basis von Erfahrungswerten mit vergleichbaren Produkten abgeschätzt. Fehler sind zu analysieren und deren Ursachen zu beseitigen. [22] Insbesondere werden diese historischen Erfahrungswerte relevant, da sich die CPS auf Basis der in der Vergangenheit durchgeführten Produktionsschritte selbst optimieren sollen.[32] Tabelle 4 stellt synoptisch dar, wie die veränderten Aufgaben aussehen könnten.

Aus dem Use Case ergeben sich keine Hinweise darauf, dass sich die benötigten Informationsarten, die in den Experteninterviews erhoben wurden, verändern.

Die Informationsbeschaffenheit ändert sich jedoch. Im Kontext von Industrie 4.0 ergeben sich in Bezug auf die Informationsgüte hohe Anforderungen, da die Informationen aktuell (teilweise beinahe in Echtzeit), vollständig und korrekt auf einer feingranularen Transaktionsebene (also auf Ebene des einzelnen Fertigungsschritts) sein müssen. Neben den aktuellen Daten werden historische Daten und Planwerte in der-

selben Granularität benötigt. In Bezug auf den Informationszugang und die Informationspräsentation sind flexible Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten notwendig, um die heterogenen Aufgabenträger adäquat zu versorgen.

Der Informationsbedarf eines Produktionsplaners mit der unstrukturierten Aufgabe, problematische Kombinationen von technischen Merkmalen, Produkten, Maschinen und Werkzeugen auszuschließen, könnte im Kontext Industrie 4.0 folgendermaßen aussehen: Er benötigt historische Informationen zu Produkten und Einzelteilen (Ausschuss, Schadensfälle), historische Informationen aus der Produktion der Einzelteile (Abweichungen von Toleranzen) sowie Plandaten zu den technischen Merkmalen aus der Produktentwicklung (geplante Toleranzen) und aktuelle Daten zu den verfügbaren Maschinen und Werkzeugen (Zustand). Diese sollten auf Transaktionsebene vorliegen, korrekt und vollständig sein sowie flexible Analysen (z.B. Drill-Down) zulassen. Damit können Probleme bei ähnlichen Fällen bzw. Produkten identifiziert und in der weiteren Produktion vermieden werden.

## **5 Ausbau eines Business-Intelligence-Konzepts für die Prozess- und Produktionsplanung**

Für die Ausgestaltung des Informationsversorgungskonzepts wird ein Business-Intelligence-Konzept ausgewählt, da es mit BI möglich ist, den Informationsbedarf adäquat zu decken. [9] Die benötigten Informationsarten können mit BI in der gewünschten Informationsgüte (d.h. vollständig, aktuell und qualitätsgesichert auf der Transaktionsebene), Informationspräsentation (z.B. als Tabelle oder Diagramm) und mit entsprechendem Informationszugang (d.h. mit flexiblen Analysemöglichkeiten durch Data Mining und Online Analytical Processing (OLAP) sowie Zugriff auf historische Daten) bereitgestellt werden. In Bezug auf den Aufwand der Informationsbeschaffung ist davon auszugehen, dass sich der Aufwand reduziert, da die Informationen direkt aus dem BI-System bezogen werden können und nicht mehr die einzelnen Quellsysteme verwendet werden müssen. Zusätzlich können die verschiedenen Aufgabenträger durch ein BI-Konzept individuell mit konsistenten Informationen versorgt werden. Für die Designphase wird als etabliertes BI-Konzept ein BI-Ordnungsrahmen aus der Literatur zugrunde gelegt (vgl. Abb. 5) [36] und im Folgenden wird der Ausbau dieses Konzepts zur Deckung des Informationsbedarfs beschrieben.

### **5.1 Quellsysteme**

Zur Deckung der oben genannten Informationsbedarfe werden Daten aus unterschiedlichen Anwendungssystemen (hier als Quellsysteme bezeichnet) benötigt. In den untersuchten Fällen werden Daten sowohl aus technischen Systemen wie CAD-, Manufacturing-Execution (MES)- oder Betriebs-/Maschinendatenerfassungen (BDE/MDE)-Systemen herangezogen als auch aus betriebswirtschaftlichen Administrations- und Dispositionssystemen wie z.B. ERP-Systemen. Dies ist darin begründet, dass die Aufgabenträger sowohl technische Informationen (z.B. Toleranzen, Oberflächengüte)

als auch betriebswirtschaftliche Kennzahlen (z.B. Kostenabweichungen oder Durchlaufzeiten) benötigen. Der Bereich der Integration betriebswirtschaftlicher Systeme ist in Forschung und Praxis weitgehend durchdrungen. Im Kontext der technischen Systeme bestehen noch Lücken. Daher werden Extraktions-, Transformations- und Ladeprozesse (ETL-Prozesse) für diese Quellsysteme als Bestandteil des Informationsversorgungskonzepts fokussiert. Insbesondere werden ETL-Prozesse entwickelt, um die technischen Merkmale aus den Digitalen Produktmodellen zu erhalten, da diese wie im Use Case dargestellt durch den Wegfall der Arbeitspläne an Bedeutung gewinnen. Zusätzlich sind Maschinenstammdaten notwendig, um die Fertigungsressourcen passend zu den Produkten auswählen zu können; auch hierfür werden ETL-Prozesse benötigt.

Auf Basis des betrachteten Use Case ist davon auszugehen, dass aufgrund der Durchdringung mit Sensorik die Datenmenge, die aus den Fertigungszellen generiert wird, Big-Data-Konzepte erforderlich macht.

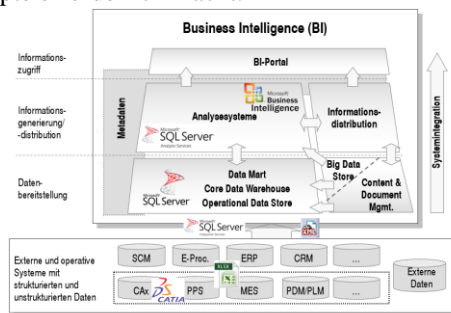


Abb. 5. Business-Intelligence-Rahmen mit prototypischer Realisierung [36]

## 5.2 Datenbereitstellung

Die oben beschriebenen Informationsbedarfe umfassen die Themen im Interesse der befragten Aufgabenträger. Diese werden im erstellten BI-Konzept auf Ebene des Data Warehouse (DWH) zunächst integriert und dann mittels einer Hub-and-Spoke- oder einer Bus-Architektur für die einzelnen Aufgabenträger aufbereitet und zugänglich gemacht. Dazu werden entsprechende Datenmodelle entwickelt.

Ein Operational Data Store kann zusätzlich echtzeitnahe Daten auf Prozessebene erfassen. Damit wird es möglich, Prozesse noch während deren Laufzeit zu analysieren und bei Bedarf steuernd einzugreifen. Dazu kann auch In-Memory-BI oder Cloud-BI genutzt werden, um durch mehr Rechenleistung schneller zu Ergebnissen zu gelangen.

Die Metadaten werden ebenfalls erweitert: Zum einen sind technische Metadaten erforderlich, welche die ETL-Prozesse aus den Quellsystemen beschreiben, zum anderen aber auch betriebswirtschaftliche Metadaten, die um technische Kennzahlen und Begrifflichkeiten zu ergänzen sind.

Big-Data-Stores können das DWH ergänzen, um die von den Maschinen und Sensoren erzeugten Datenmengen zu halten, zu verarbeiten und für Analysen bereitzustellen.

### **5.3 Informationsgenerierung/ -distribution**

Zur Deckung der beschriebenen Informationsbedarfe sind die Implementierungsansätze des klassischen und des Realtime Data Warehousing geeignet.

Den befragten Aufgabenträgern sind häufig eigene Recherchemöglichkeiten wichtig. Insbesondere haben sie Erfahrung im Umgang mit verschiedenen IT-Systemen und kennen modellgestützte Methoden wie Data Mining. Daher sollten freie Datenrecherchen, freie OLAP-Recherchen und auch Data Mining verfügbar sein. Freie Recherchen ermöglichen auch bei Bedarf die Einbindung weiterer Daten, um so eventuelle bisher nicht berücksichtigte subjektive Informationsbedarfe zu erfüllen.

Neben den Dokumentenmanagementsystemen, die dazu dienen können, Analysen zu dokumentieren oder sie einem größeren Nutzerkreis zur Verfügung zu stellen, sind für die Produktionsplanung auch Produktdatenmanagement (PDM)-Systeme relevant. In PDM-Systemen werden technische Zeichnungen und Digitale Produktmodelle archiviert. Dabei handelt es sich zunächst um unstrukturierte Daten. Sie können dem DWH als Quellsystem dienen, wenn daraus strukturierte Daten extrahiert werden (z.B. Name des Konstrukteurs, Versionsstand einer Zeichnung), sie können aber auch ein eigenes Datenhaltungssystem darstellen, wenn es um die Analyse unstrukturierter Daten geht.

### **5.4 Informationszugriff**

An die Ebene des Informationszugriffs gibt es aufgrund der domänenübergreifenden Anwender heterogene Anforderungen. Das Konzept sieht daher vor, die Portalebene über Portlets benutzerindividuell konfigurierbar zu halten. Auch stellt die Einbindung von aus dem Engineering-Kontext bekannten Simulationslösungen eine wichtige Anforderung dar, die mittels der Portlets abgedeckt ist.

## **6 Evaluation im Rahmen eines Expertenworkshops**

Das BI-Konzept wurde bereits in Teilen prototypisch realisiert (siehe Abb. 5) und im Rahmen eines Workshops evaluiert (vgl. Kapitel 2). Zu den realisierten Teilen gehören ETL-Prozesse zur Extraktion von Features (technischen Merkmalen, die in der Fertigung realisiert werden müssen) aus CAD-Systemen, weite Teile der Datenhaltung sowie Analysesysteme. Diese wurden in einem Prototyp zur Demonstration der Machbarkeit umgesetzt.

Der Prototyp und seine Analysemöglichkeiten wurden dem Fachpublikum am Beispiel des an der Planung beteiligten Qualitätsmanagers vorgestellt und anschließend diskutiert. Im vorgestellten Fall bestand die Aufgabe des Qualitätsmanagers darin, die Ursache für fehlerhafte Teile zu identifizieren. Es konnte gezeigt werden, dass es mittels der auf den integrierten Daten durchführbaren Analysen möglich ist, den Informationsbedarf des Aufgabenträgers zu decken.

In der Diskussion mit den Experten konnte festgestellt werden, dass das Informationsversorgungskonzept grundsätzlich als zielführend angesehen wird. Weiterer Forschungsbedarf besteht nach Ansicht der Workshop-Teilnehmer darin, zusätzliche

Szenarien abzubilden. Des Weiteren wurde von den primär aus dem Ingenieurbereich stammenden Experten angeregt, die Front-Ends derart umzugestalten, dass sie sich mehr an den Oberflächen von Ingenieurssystemen orientieren. Hierzu muss zunächst eine Untersuchung zur Gestaltung von Engineering-Systemen erfolgen.

## **7 Zusammenfassung und weiterer Forschungsbedarf**

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wurde zunächst anhand eines Industrie 4.0-basierten Use Case erhoben, welche Anforderungen an ein Informationsversorgungskonzept im Kontext der PPP bestehen. Die identifizierten Anforderungen wurden in ein Informationsversorgungskonzept umgesetzt und prototypisch realisiert. Im Kontext der Evaluation hat sich gezeigt, dass das beschriebene Informationsversorgungskonzept noch weiter detailliert werden muss. Außerdem besteht noch Bedarf an weiteren Untersuchungen, wie eine aufgabenträgergerechte Darstellung erreicht werden kann.

Weiterhin sollte das Konzept über die PPP hinweg ausgedehnt werden. Beispielsweise scheint es zielführend, über Active Data Warehousing und operational BI direkt maschinelle Aufgabenträger noch während der Ausführung ihrer Aufgaben mit Analyseergebnissen zu steuern. Auch die unternehmensübergreifende Analyse von Produktionsnetzwerken sollte noch weiter untersucht werden. Darüber hinaus sollte der potenzielle Nutzen genauer betrachtet werden.

## **References**

1. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Arbeitskreis Industrie 4.0, Frankfurt a.M. (2013)
2. Vajna, S.: CAX für Ingenieure: Eine praxisbezogene Einführung. Springer, Berlin (2009)
3. Mertens, P.: Integrierte Informationsverarbeitung 1: Operative Systeme in der Industrie. Gabler, Wiesbaden (2013)
4. Günther, H.-O., Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik. Springer, Berlin (2012)
5. Corsten, H., Gössinger, R.: Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. Oldenbourg, München (2012)
6. Mokhtar, A., Tavakoli-Bina, A., Houshmand, M.: Approaches and Challenges in Machining Feature-based Process Planning. Proceedings of DET2007 4th, (2007)
7. Westkämper, E., Warnecke, H.-J.: Einführung in die Fertigungstechnik. Vieweg+Teubner, Wiesbaden (2010)
8. Westkämper, E., Zahn, E.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Springer, Berlin (2009)
9. Koch, M.: Entwicklung eines Informationsversorgungskonzepts als Basis unternehmensspezifischer Business-Intelligence-Lösungen industrieller Unternehmen. Eul, Lohmar (2014)
10. Mathee, U.: Durchgehende Koordination von Entwicklung und Produktion. IT&Production (2011)

11. Österle, H., Becker, J., Frank, U., Hess, T., Karagiannis, D., Kromar, H., Loos, P., Mertens, P., Oberweis, A., Sinz, E. J.: Memorandum zur gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* 6, 664-672 (2010)
12. Levy, Y., Ellis, T.J.: A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research. *Informing Science Journal* 9, 181-211 (2006)
13. Kromrey, H.: *Empirische Sozialforschung*. Lucius & Lucius, Stuttgart (2009)
14. Atteslander, P., Cromm, J.: *Methoden der empirischen Sozialforschung*. Schmidt, Berlin (2010)
15. Yin, R.K.: *Case study research design and methods*. SAGE, Los Angeles (2014)
16. Voss, S., Gutenschwager, K.: *Informationsmanagement*. Springer, Berlin (2001)
17. Byström, K., Järvelin, K.: Task complexity affects information seeking and use. *Information Processing & Management* 31, 191-213 (1995)
18. Greschner, J., Zahn, E.: Strategischer Erfolgsfaktor Information. In: Krallmann, H., Papke, J., Rieger, B. (eds.) *Rechnergestützte Werkzeuge für das Management* Schmidt, Berlin (1992)
19. Koch, M., Lasi, H., Kemper, H.-G.: Bestimmung aufgabenträgerorientierter Informationsbedarfe in industriellen Unternehmen. *Tagungsband d. 11. Wirtschaftsinformatik (WI13)* 213-228 (2013)
20. Brockhoff, K.: Informationsverarbeitung in Entscheidungsprozessen. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 53, 53-62 (1983)
21. Stelzer, D.: Informationsbedarf. In: Mertens, P. (ed.) *Lexikon der Wirtschaftsinformatik*, pp. 193. Springer, Berlin (2001)
22. Mertens, P., Meier, M.C.: *Integrierte Informationsverarbeitung 2: Planungs- und Kontrollsysteme in der Industrie*. Gabler, Wiesbaden (2009)
23. Scheer, A.-W.: *Wirtschaftsinformatik: Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse*. Springer, Berlin (1997)
24. VDI: *Digitale Fabrik Grundlagen; digital factory fundamentals*. Beuth, Berlin (2008)
25. VDI: *3-D-Produktmodellierung*. Beuth, Düsseldorf (2009)
26. VDI: *Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung: Feature-Technologie*. Beuth, Düsseldorf (2003)
27. VDI: *Digitale Fabrik: Digitaler Fabrikbetrieb*. Beuth, Düsseldorf (2011)
28. Böge, A.: *Vieweg Handbuch Maschinenbau*. Vieweg+Teubner Wiesbaden (2007)
29. Stahlknecht, P., Hasenkamp, U.: *Einführung in die Wirtschaftsinformatik*. Springer, Berlin (2005)
30. Wang, R., Strong, D.: Beyond Accuracy: What Data Quality means to Data Consumers. *Journal of Management Information Systems* 12, 5-34 (1996)
31. Picot, A., Reichwald, R., Wigand, R.T.: *Die grenzenlose Unternehmung: Information, Organisation und Management*. Gabler, Wiesbaden (2003)
32. Bauernhansl, T.: Die Vierte Industrielle Revolution: Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Bauernhansl, T., Ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (eds.) *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, pp. 5-38. Springer, Wiesbaden (2014)
33. Sandler, U.: *Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM*. Springer, Dordrecht (2013)
34. Mertens, P.: Industrie 4.0 = CIM 2.0? *Industrie Management* 30, 27-30 (2014)
35. Gronau, N.: Industrie 4.0 In: Kurbel, K., Becker, J., Gronau, N., Sinz, E., Suhl, L. (eds.) *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik – Online-Lexikon*. Oldenbourg, München (2014)
36. Kemper, H.-G., Baars, H., Mehanna, W.: *Business Intelligence: Grundlagen und praktische Anwendungen*. Vieweg+Teubner, Wiesbaden (2010)