

## **Schlussbericht**

### **Verbundvorhaben**

#### **Smart FacE-Smart Micro Factory für Elektrofahrzeuge mit schlanker Produktionsplanung**

<b>Titel des Teilvorhaben:</b>	<b>Konzeptionierung eines optimierten Produktionssystems für die Kleinserienfertigung von Elektrofahrzeugen (optiPro)</b>
<b>Zuwendungsempfänger:</b>	<b>VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT</b>
<b>Förderkennzeichen:</b>	<b>01MA13007B</b>
<b>Autor/en:</b>	<b>Lennart Bochmann, Silke Munske</b>
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	<b>01.11.2013 bis 31.12.2016</b>

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

## Inhalt

Einleitung.....	4
Ziele des Teilvorhabens .....	4
Einbettung in das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“.....	4
Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele.....	4
Ergebnisse .....	5
Projektstruktur.....	6
Stand der Technik zu Projektbeginn .....	7
Produktionsplanung .....	7
Dezentrale Steuerung des Materialflusses.....	7
Monitoring, Modellierung, Simulation .....	7
Simulation automobiler Prozesse in Produktion und Logistik .....	8
Eingehende Darstellung .....	9
Technische Ergebnisse .....	9
Arbeitspaket 1 – Identifikation und Anforderungsanalyse.....	9
Arbeitspaket 2 – Produktionsplanung .....	10
Arbeitspaket 3 – Betriebskonzept .....	11
Arbeitspaket 4 – Produktionssteuerung.....	12
Arbeitspaket 5 – Planungssystem.....	12
Arbeitspaket 6 – Monitoring und Assistenzsystem .....	13
Arbeitspaket 10 – Validierung .....	13
Arbeitspaket 11 – Demonstrator .....	14
Wissenschaftliche Ergebnisse .....	15
Öffentlichkeitsarbeit.....	15
Nutzen und Verwertung .....	16
Literatur .....	17

## Einleitung

Die speziellen Anforderungen der Kleinstserienfertigung bzgl. Betrieb, Skalierbarkeit, Robustheit und Wirtschaftlichkeit erfordern einen radikalen neuen Ansatz für die Fertigungsplanung und -steuerung. Hieraus resultiert die Notwendigkeit einer schlanken Produktionsplanung und wandlungsfähiger Fertigungsstrukturen [1]. Der hier vertretene Ansatz favorisiert dezentrale, hochflexible Materialflusseinheiten, realisiert durch Cyber-Physische Systeme (CPS) als Schlüssel zum Erfolg [2]. Vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit einer solchen Lösung muss der Grad der notwendigen bzw. möglichen Dezentralisierung durch einen Vergleich mit aktuellen Fertigungskonzepten untersucht werden. Ziel des interdisziplinären Forschungs- und Entwicklungsprojektes SMART FACE war es die forschungsleitenden Fragen zu beantworten und die Machbarkeit der Konzepte an einem realitätsnahen Anwendungsszenario zu erproben.

### Ziele des Teilvorhabens

Die Volkswagen AG übernahm im Projekt SMART FACE die Rolle des Anwendungspartners und trug durch seine Beteiligung zu folgenden Zielen bei:

- Analyse und Spezifikation der technischen und planerischen Anforderungen und Zielparame-ter bei der Produktion von Kleinserien
- Entwicklung eines Betriebskonzepts für eine dezentrale Elektrofahrzeug-Kleinstserienfertigung
- Entwicklung von flexiblen Fertigungs- und Logistikkonzepten für die Kleinserienfertigung in der E-Mobilität auf Basis einer schlanken Produktionsplanung
- Sicherstellen des Praxisbezugs zur Automobilproduktion
- Bereitstellen eines Referenzprozesses
- Darstellen der E-spezifischen Herausforderungen
- Entwickeln eines Produktionssystems und –Organisation
- Direkte Unterstützung der Projektpartner durch die betroffenen Fachbereichen innerhalb der Produktion
- Evaluation des Konzeptes mithilfe eines Demonstrators
- Bewerten der wirtschaftlichen Machbarkeit

Um eine erfolgreiche Projektbearbeitung zu gewährleisten und die Ergebnisse zu testen, wurden verschiedene Fachabteilungen beteiligt und Gremien (Steuerkreis Kundenauftragsprozess) regelmäßig informiert.

### Einbettung in das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“

Nach den ersten drei industriellen Revolutionen in der Vergangenheit von der Mechanisierung der Produktionsanlagen bis hin zum Einsatz von Elektronik und IT zur weiteren Automatisierung der Produktion soll nun die deutsche Wirtschaft auf die vierte industrielle Revolution auf Basis von Cyber-Physischen Systemen – Industrie 4.0 – vorbereitet werden. Das Zukunftsinitiative der Bunderegierung Industrie 4.0 zielt darauf ab, die deutsche Industrie in die Lage zu versetzen, für die Zukunft der Produktion gerüstet zu sein.

Der Begriff Industrie 4.0 impliziert den grundlegenden Paradigmenwechsel von einer zentralen zu einer dezentralen, erweiterten (augmentierten) Steuerung mit dem Ziel einer hochflexiblen Produktion individualisierter, digital veredelter Produkte und Dienste. Dabei verschwinden klassische Branchengrenzen und es entstehen neue, übergreifende Handlungsfelder und Kooperationsformen. Wertschöpfungsprozesse verändern sich und die Arbeitsteilung entlang der Supply Chain wird neu organisiert. Zunehmend intelligente Fähigkeiten ermöglichen es in der Wechselwirkung von so genannten Smart Objects, Smart Services und Smart Networks zukünftig komplexe Aufgaben eigenständig (autonom) zu bewältigen. Von herausragender Bedeutung wird dabei die Einbeziehung neuer Dimensionen in die virtuelle Welt des Internets sein. Intelligente, vernetzbare Sensoren und 3D-Technologien ermöglichen eine zuverlässige Erfassung der Umwelt und eine Kommunikation der Smarten Objekte untereinander.

Im Rahmen des Autonomik Programms hat das Projekt SMART FACE entsprechend der einleitend genannten Ziele einen signifikanten Beitrag im Bereich der Kleinstserienfertigung geleistet in dem eine innovative, schlanke Produktionsplanung die Betreiber von Fertigungs- und Montageanlagen befähigt dezentral gesteuerte Produktions- und Materialflusssysteme effizient einzusetzen. Basierend auf den Prinzipien „Internet der Dinge“, „Eingebettet Systeme“ und „Smarte Fabrik“

### Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele

Die höhere Komplexität von Elektrofahrzeugen führt in der heutigen Fertigung zu massiven Verwirbelungen. Insbesondere bei der Implementierung einer Mixfertigung von konventionellen Fahrzeugen mit Elektrofahrzeugen. Dies liegt weitestgehend bei den Deltaumfängen bei den Fahrzeugvarianten. In Kombination mit der sich im Allgemeinen

verstärkenden Variantenvielfalt erschwert dies eine optimale Austaktung in der Mixfertigung. Solitärlinien für einzelne Fahrzeugvarianten und -Derivate sind überdimensioniert bezogen auf die heutige Nachfrage nach Elektrofahrzeugen. Die Suche nach einer effizienten Alternative im Sinne einer hoch flexiblen Kleinserienfertigung war dementsprechend sehr interessant für die Automobilindustrie im Allgemeinen und für Volkswagen im Speziellen. Dabei war von besonderer Bedeutung, welche Anforderungen an eine hochflexible Produktion gestellt werden muss. Ziel war es einen Soll-Zustand, auch unter Berücksichtigung für die Zukunft prognostizierter Entwicklungen (Technologie und Markt) zu definieren. Ein weiteres Zwischenziel mit hohem Nutzen für Volkswagen stellte die Herangehensweise und Produktionsplanung innerhalb dieses Projektes dar. Das Interesse lag hierbei in dem Vergleich zu den im Konzern bestehenden Produktionsplanungsabläufen und –Paradigmen. Daraus resultierte dann das eigentliche Konzept, das es im Anschluss zu evaluieren galt.

## **Ergebnisse**

Als Ergebnis dieses Forschungsprojekts liegt der Volkswagen AG ein realistisches Konzept zur wirtschaftlich optimierten Kleinserienfertigung unter Berücksichtigung marktspezifischer Herausforderungen vor. Folgende Teilergebnisse wurden erzielt:

- Konzept einer optimal ausgelasteten schlanken Produktionsplanung für Elektrofahrzeuge
- Steuerungskonzepte für den Material- und Informationsfluss
- Betriebskonzept für die Fertigung
- Demonstrators zur Validierung der Projektergebnisse
- Analyse realistischer Fallstudien

## Projektstruktur

Das Forschungsprojekt SMART FACE setzte sich aus einem Konsortium von Industrie- sowie Forschungspartnern zusammen. Die Volkswagen AG sowie die Continental AG stellten die Anwendungspartner dar. Eine wichtige Aufgabe der Volkswagen AG war somit die Einbringung praxisrelevanter Einflussgrößen und die Sicherstellung der industriellen Anwendbarkeit der entwickelten Konzepte und Lösungen.

Die allgemeine Projektstruktur ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Rolle der Projektkoordination lag beim Fraunhofer IML, der TU Dortmund sowie der Logata Digital Solutions. Inhaltlich war das Projekt in vier Arbeitsgruppen – Feedback Industrie, Konzepte, Cyber und Physical - gegliedert, die jeweils 2-3 Arbeitspakete enthielten. Die Volkswagen AG hatte zum einen die Koordination der Arbeitsgruppe „Feedback Industrie“ übernommen. Zum anderen hatte sich die Volkswagen AG als Arbeitspaketverantwortlicher Projektpartner für die Arbeitspakete „AP1 – Anforderungen“, „AP 3 – Betriebskonzept“ und „AP 5 – Planungssystem“ eingebracht. Die weiteren inhaltlichen Beteiligungen in den verschiedenen Arbeitspaketen sind in dem Kapitel „Eingehende Darstellung“ ab Seite 9 erläutert.

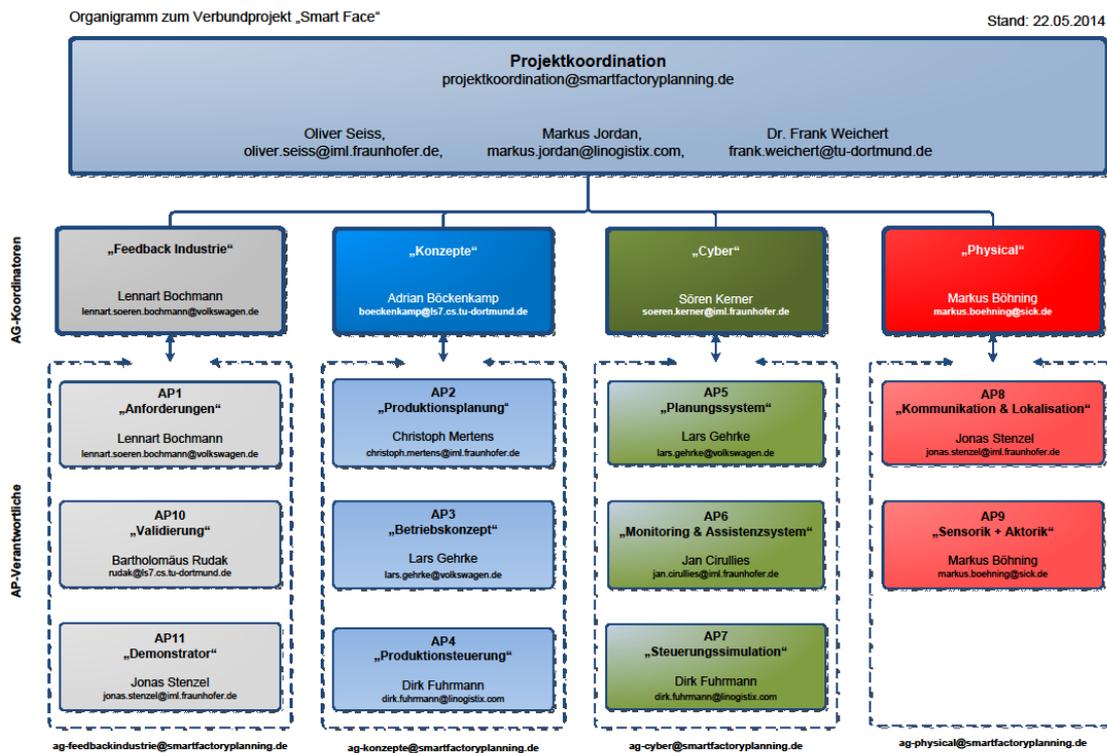


Abbildung 1: Organigramm des Forschungsprojekts SMART FACE

## **Stand der Technik zu Projektbeginn**

Im Folgenden wird der Stand der Wissenschaft und Technik bezüglich der vom IML bearbeiteten Arbeitspakete vorgestellt.

### **Produktionsplanung**

Die heutigen PKW-Montagen der variantenreichen Fließfertigung bestehen aus einer Kombination von hocheffizienten Montagelinien und einer umfassenden IT-Infrastruktur zur zentralen Planung. Diese umfasst folgende sechs Prozesse: Die Produktionsvolumenplanung definiert das wöchentliche Produktionsvolumen pro Werk. Die Fließbandabstimmung definiert die Arbeitsstationen und deren Arbeitsinhalte sowie die benötigten Kapazitäten. Die Wochenprogrammplanung legt fest, welche Fahrzeuge in welcher Woche produziert werden sollen [3]. In der Tagesprogrammplanung werden die Aufträge weiter aufgeteilt und schließlich durch die Auftragsreihenfolgeplanung auf den einzelnen Fertigungstakt terminiert [4, 5]. Die Personaleinsatzplanung schließlich legt fest, welche Monteure an welchen Stationen eingesetzt werden. Die starren Montagelinien mit der zugehörigen IT-Infrastruktur lassen sich nur wirtschaftlich unter der Annahme einer stabilen und hohen Nachfrage installieren und betreiben. Gerade im Umfeld neuer Märkte und Innovationen wie dem Elektroautomobil, haben diese Annahmen aber keine Gültigkeit. In jüngster Zeit aufkommende Ansätze (zur Digitalen Fabrik/Smart Factory [6]) und schlanke Planung in der Produktion verschiedener Branchen sind bis jetzt noch nicht auf die hochkomplexen Prozesse der Automobilindustrie übertragen worden. Die Abgrenzung dieses Vorhabens zu aktuellen Forschungsprojekten, wie Innovationscluster Baden-Württemberg „Digital Production“ oder Spatial World Models for Mobile Context-Aware Applications - „Smart Factory“ (DFG), kann im Wesentlichen hinsichtlich des neuartigen Ansatzes der Nutzung dezentraler, autonomer Steuerungsmethodik als Enabler für grundlegend geänderte Planungsansätze erfolgen.

### **Dezentrale Steuerung des Materialflusses**

Moderne, dem Stand der Forschung entsprechende Konzepte dezentraler Steuerung sind in den vergangenen Jahren an verschiedenen Forschungseinrichtungen untersucht worden. Hervorzuheben sind etwa die vom BMBF geförderten Projekte „ProduFlexil“ und „Internet der Dinge“. Als Ergebnis dieser Forschungsvorhaben konnten wesentliche Fortschritte im Bereich der dezentralen Steuerung erreicht werden, die auf die Anwendung neuer Entwicklungsansätze aus der Informatik, wie SOA oder Multi-Agenten-orientierte Software-Entwicklung, zurückgreifen. Aufbauend auf diesem Entwicklungsstand wurde in diesem Vorhaben das Potenzial auf den Bereich der Produktionsplanung ausgeweitet und konnte damit erheblich zur Verbesserung der Flexibilität bzw. Wandlungsfähigkeit und Effizienz bzgl. Ressourcen und Kontextadaptivität von kleinen und mittleren Serienfertigungen beitragen. Für einen Überblick produktionstechnischer und logistischer Entwicklungen und Zusammenhänge sei auch auf Veröffentlichungen der CIRP oder die Zeitschriften „Logistics Research“ [7] und „International Journal of Logistics Research and Applications“ verwiesen.

Bei modularen dezentralen Fördersystemen [8], die eine permanente Adaptierung an sich verändernde Raumbedingungen erlauben, wird von einem nachhaltigen Wettbewerbsvorteil ausgegangen [9]. Analog hierzu wurde eine adäquate Leistungsfähigkeit im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung vermutet, welche es im Rahmen dieses Projektes zu beweisen galt.

### **Monitoring, Modellierung, Simulation**

Die Modellierung und Simulation ingenieurwissenschaftlicher und logistischer Prozesse oder Systeme durch mathematische Modelle sind aktueller Gegenstand der Forschung [10, 11]. Für einen Überblick sei u.a. auf die Zeitschriften „Simulation Modelling Practice and Theory“ oder „Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering“ verwiesen. Basierend auf den Modellen erfolgen Simulationen unter Verwendung deduktiver Methoden, axiomatischer Algorithmen oder heuristischer Verfahren. Modellierung und Simulation erfolgen vielfach in Kombination mit Layoutplanungshilfen [12] unter Verwendung exakter oder heuristischer Verfahren. Bei der Optimierung der Modellierungs- und Simulationsparameter (Paretooptimierung) [13] stehen Methoden wie genetische/ evolutionäre Suchverfahren, Diskretisierung des Parameterraumes, mutationsbasierte Verfahren, Metamodellansätze, vollständige Suche (Gittersuche) und auch ableitungsfreie Suchverfahren zur Verfügung. Zum Monitoring entsprechender Simulationen kommen automatische Methoden und multimediale Assistenz- und Visualisierungssysteme zum Tragen [14]. Etablierte Bewertungskonzepte beruhen auf Absolutwert- und Trendkontrolle, Signalvorhersage, Abstandsklassifikation oder wissensbasierter Überwachung. Hybride Systeme verwenden sowohl regelbasierte Methoden als auch neuronale Netze/ selbstorganisierende Karten [15], vielfach unterstützt durch Datenvorselektion und Anwendung genetischer Algorithmen zur Selektion optimaler Eingabeparameter [16] zur Gewährleistung einer intuitiven Mensch-System-Kooperation. Im Rahmen des Vorhabens wurden Methoden für Monitoring, Modellierung und Simulation entwickelt bzw. ausgewählt sowie weiterentwickelt, um eine ganzheitliche Systemintegration in SMART FACE durchzuführen.

### **Simulation automobiler Prozesse in Produktion und Logistik**

Zur Validierung und Bewertung von Logistik- und Produktionsprozessen hat sich seit Jahrzehnten das Verfahren der ereignisdiskreten Simulation bewährt [17]. Studien [18, 19] und Anwendungen innerhalb unterschiedlichster Projekte (siehe zum Beispiel [20]) zeigen, dass insbesondere für die Simulation von Planungs- und Materialflussprozessen in der Automobilindustrie sich das am Fraunhofer IML in Dortmund entwickelte Simulationsframework OTD-NET eignet. Das Simulationsframework beinhaltet speziell für die Automobilindustrie erstellte Bausteine, die neben dem Materialfluss von der Zuliefererproduktion bis zur Kundenübergabe auch die Planungsprozesse und Algorithmen enthalten. Das Framework enthält Bausteine für die auftragsbasierte Planung für variantenreiche Serienprodukte, beispielsweise die Reihenfolgeoptimierung, die Stücklistenauflösung sowie typische Dispositionsstrategien. So lässt sich der gesamte Order-To-Delivery Prozess mit OTD-NET für die Automobilindustrie modellieren und bewerten.

## Eingehende Darstellung

In diesem Kapitel werden zunächst die unter Beteiligung der Volkswagen AG erarbeiteten technischen sowie wissenschaftlichen Ergebnisse des Forschungsprojekts dargestellt. Anschließend wird auf die im Rahmen des Projekts durch die Volkswagen AG geleistete Öffentlichkeitsarbeit eingegangen.

### Technische Ergebnisse

#### Arbeitspaket 1 – Identifikation und Anforderungsanalyse

Im Rahmen des AP 1 wurden die Grundlagen für die konzeptionellen Arbeiten der AP 2, 3 und 4 erarbeitet. Zunächst wurde bei den Arbeiten im UAP 1.1 der Betrachtungshorizont festgelegt. Die verschiedenen Montageprozesse bieten aufgrund ihrer geringen Automatisierungsgrade und der weitestgehend einheitlichen Gestaltung aller Montagestationen große Potentiale, weshalb die Endmontage sowie einige Vormontagen der Automobilfertigung als Referenzprozess spezifiziert wurden. Anschließend wurde eine detaillierte Prozessaufnahme durchgeführt, bei der neben den erwähnten Referenzprozessen ebenfalls die Schnittstellen zu Prozessketten der Continental AG identifiziert und analysiert wurden. Fertigungstechnische Prozessgrößen, z.B. Fertigungs- und Transportzeiten, sowie logistische Kenngrößen, z.B. Art der Bereitstellung und Bereitstellungslosgrößen, wurden für die betrachtete Prozesskette erfasst und mittels der Netzplantechnik festgehalten. Des Weiteren wurde die Prozessaufnahme durch die Ermittlung von technischen Reihenfolgebeziehungen der einzelnen Prozessschritte erweitert, indem für jeden Prozessschritt zwingende Vorgänger sowie Nachfolger beschrieben wurden. Hierdurch ist es möglich einen sogenannten Vorranggraphen der Montage zu erstellen, der das Flexibilisierungspotenzial bezüglich der Reihenfolgeflexibilität darstellt (vgl. Abbildung 2).

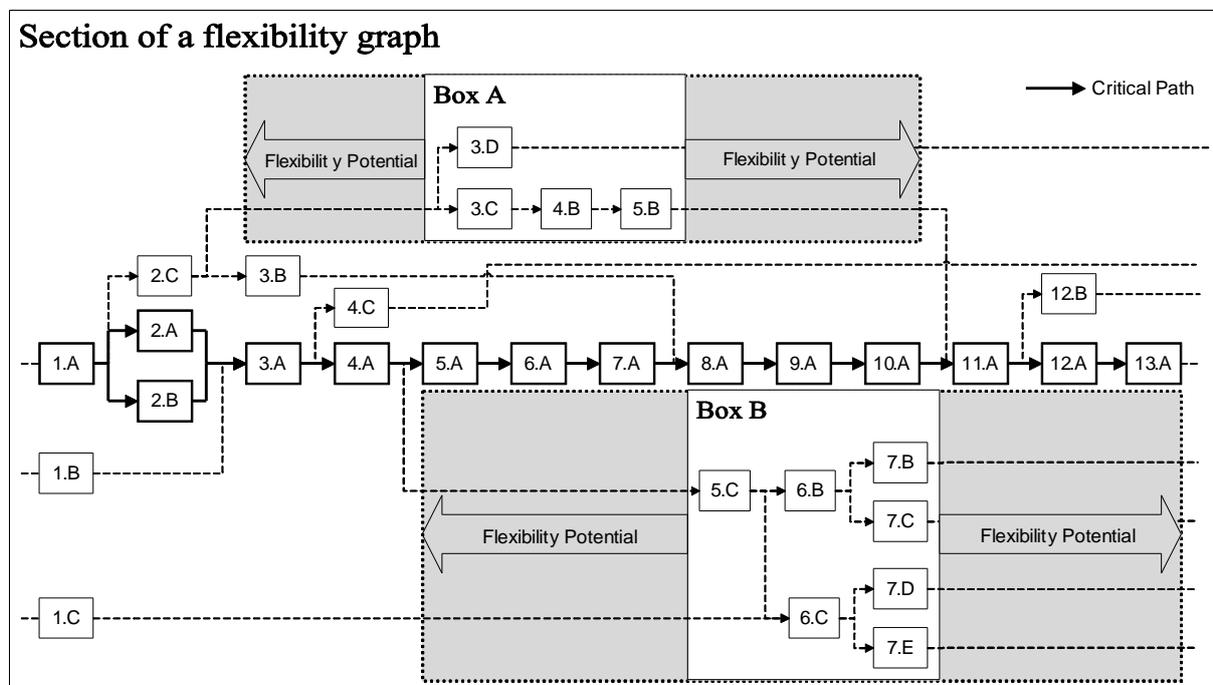


Abbildung 2: Ausschnitt des Vorranggraphens der Montage zur Veranschaulichung der Reihenfolgeflexibilität [21].

Des Weiteren wurden im Laufe des UAP 1.1 die heutigen Prozessabläufe der Produktionsplanung sowie der Produktionssteuerung dokumentiert. Zum einen wurden der Produktionsplanung und Produktionssteuerung zeitliche Größenordnungen (monats-, wochen- und tagesweise) zugeordnet (vgl. Abbildung 3) und zum anderen sind die genauen Abläufe dokumentiert worden.

Die Ergebnisse bezüglich des Vorranggraphens und die darin enthaltenen Informationen über Flexibilität in der Prozessreihenfolge der Automobilfertigung stellen ebenfalls die Grundlage für die Prozessbetrachtungen im Rahmen der Demonstratoren aus AP 11 dar.

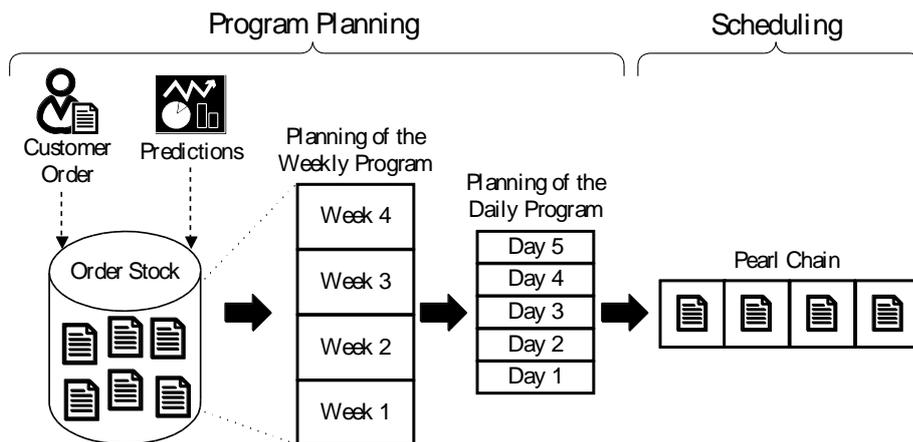


Abbildung 3 Schematische Darstellung des heutigen Prozessablaufs der Produktionsplanung und Produktionssteuerung.

Als Ergänzung zum Referenzprozess aus UAP 1.1, der den IST-Zustand eines heutigen Montagesystems vereinfacht darstellt, wurden in UAP 1.2 Anforderungen an die zukünftige Fertigung nach dem Leitbild von Industrie 4.0, der Smart Factory, identifiziert. Die Anforderungen wurden in Form von Zielgrößen weiter spezifiziert und anschließend von den am UAP 1.2 beteiligten Projektpartnern gewichtet. Die Zielgrößengewichtung wurde nach der MoSCoW-Priorisierungsmethode durchgeführt. Die Einzelgewichtungen wurden in eine Gesamtgewichtung überführt, wodurch ein gewichteter Zielgrößenkatalog für die SMART FACE Fertigung entstanden ist. Außerdem haben die Praxispartner, Continental AG und Volkswagen AG, Experteninterviews zum Thema Kleinserienfertigung geführt, um speziell Anforderungen an die Fertigung von Kleinserien zu ermitteln.

UAP 1.3 ist die Spiegelung des IST-Zustandes (UAP 1.1) am SOLL-Zustand (UAP 1.2). Hierzu wurde eine Methodik entwickelt zur Ableitung systematischer Anforderungen an die anderen Arbeitspakete des Projekts. Es wurden Einflüsse der jeweiligen Zielgrößen auf die Inhalte der folgenden Arbeitspakete identifiziert, wodurch die zu erfüllenden Zielgrößen jedes APs bekannt sind. Durch die Ermittlung des heutigen Erfüllungsgrades der jeweiligen Zielgröße werden die Handlungsbedarfe verdeutlicht.

### Arbeitspaket 2 – Produktionsplanung

UAP 2.1 setzt auf den in AP 1 erarbeiteten Grundlagen der heutigen Produktionsplanung und -steuerung an. Es wurde in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IML der Stand der Wissenschaft erarbeitet, in dem interne Datenbanken recherchiert wurden. Weiterhin konnten Masterarbeiten im Themenfeld platziert werden, wodurch die theoretische Erarbeitung der Inhalte unterstützt wurde. Ergänzend zum Stand der Wissenschaft wurde das Praxiswissen der Volkswagen AG durch Expertenbefragungen zusammengetragen, um auf eine fundierte Grundlage bei der Entwicklung des Soll-Konzepts der Produktionsplanung zurückgreifen zu können. Im Rahmen des Projektes ist eine animierte Informationsgrafik entstanden, welche den aktuellen Stand und Ablauf der Produktionsplanung verständlich darstellt. Vor dem Hintergrund des angestrebten SMART FACE Konzepts wurde deutlich, dass der derzeitige Ablauf der Produktionsplanung nur bedingt für ein cyber-physisches Produktionssystem geeignet ist. Wohingegen die Jahres- und Monatsplanung auch in SMART FACE zentral durchgeführt werden sollte, verschiebt sich die derzeit zentrale Planung auf den Ebenen der Wochen- und Tagesplanung hin zu einer dezentralen Planung durch das Cyber-physische Produktionssystem. An welcher Stelle der Übergang von einer zentralen zu dezentralen Planung platziert werden sollte, wurde als eine der zentralen Forschungsfragen im Projekt SMART FACE identifiziert. Der Austausch mit Praxispartnern hat bestätigt, dass diese Fragestellung ebenfalls aus Praxissicht sehr interessant ist. Zur Konzeption des neuartigen Planungskonzepts wurden im Team des AP2 zunächst Arbeitsdefinitionen zur eindeutigen Trennung der Planungs- und Steuerungsebene erarbeitet. Ein zentrales Prinzip zur neuartigen Produktionsplanung wurde mit dem aus dem Projekt definierten „Volumentakt“ initiiert. Dieser Volumentakt, welcher gemeinsam mit den Planungsexperten der PSI F/L/S definiert worden ist, ist die Bezeichnung für ein effizientes Produktionsvolumen pro Zeiteinheit zur Austaktung des Cyber-physischen Systems. Die Definition dieses innovativen Volumentaktes, welcher in dieser Form noch nicht im Stand der Wissenschaft existiert, wurde durch die im IJAT-Journal eingereichte Veröffentlichung angestoßen.

Das auf diesen Grundlagen erstellte Soll-Konzept der Produktionsplanung wurde im Rahmen des UAP 2.2 erarbeitet. Der Großteil der Konzeption ist bereits abgeschlossen, wobei einige Details bezüglich der Schnittstellen zur Produktionssteuerung, geeigneter Datengrundlagen sowie der Einbindung der Aktoren und Sensoren der Cyber-physischen System weiter spezifiziert werden müssen. Die finale Konzipierung des Planungssystems fand in enger Zusammenarbeit mit den anderen Arbeitspaketen der Arbeitsgruppe „Konzepte“ statt. Die Volkswagen AG unterstützte an dieser Stelle speziell durch die zur Verfügung Stellung qualitativer und quantitativer Daten zur Produktionsplanung. Die standardisierten und operativen Systeme der Volkswagen AG, sowie u.a. das Volkswagen Produktionssystem,

dienten als Vorgabe zur Orientierung. Besonders hilfreich für die Konzeption des Konzeptes waren ebenfalls die durch die Volkswagen Experten angegebenen Herausforderungen zur Produktionsplanung unter Industrie 4.0.

In UAP 2.3 stand der Entwurf eines Planungsalgorithmus zur Kapazitäts-, Bestandsplanung und Bedarfsprognose im Fokus. Zunächst wurden Planungsrestriktionen sowie Neben- und Zielfunktionen definiert. Darauf aufbauend wurden benötigte Input- und Outputdaten bestimmt, mit denen eine Problembeschreibung des Algorithmus und eine mathematische Bestimmung abgeleitet wurden. Die bereits in der Beschreibung des UAP 2.2 angesprochenen quantitativen Daten aus der Praxis wurden als Input für das UAP 2.3 verwendet. Die Volkswagen AG hat bei der Konzipierung der Planungsalgorithmen zum einen die Praxisvalidität sowie die Anwendungsorientierung sichergestellt und in Zusammenarbeit der anderen beteiligten Partner die Konzeptentwicklung vorangetrieben.

### Arbeitspaket 3 – Betriebskonzept

Die zentrale Aufgabenstellung des dritten Arbeitspaketes war die Erarbeitung eines ganzheitlichen Betriebskonzeptes für die hier fokussierte Kleinstserienfertigung.

Zu Beginn des AP wurde durch die Volkswagen AG als Arbeitspaketleiter, unterstützt durch die anderen Projektpartner des Arbeitspakets, eine an der Vorhabensbeschreibung orientierte Vorgehensweise im Arbeitspaket abgestimmt. Es haben diverse Arbeitstreffen bei Volkswagen intern und im Projekt-Kernteam stattgefunden. Die Arbeitstreffen bei Volkswagen haben dabei mit Experten aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen stattgefunden, wie der Logistik, IT und Produktionsplanung, und fokussierten auf die Erfassung von Praxisanforderungen und Rahmenbedingungen in Bezug auf das Betriebskonzept. Arbeitstreffen im Konsortium bezogen sich zunächst auf die Abgrenzung und Identifikation von Schnittstellen der Arbeitspakete aus der Arbeitsgruppe Konzepte, um Doppelarbeit zu vermeiden und Synergieeffekte zu realisieren. Gemeinsam wurde ein Konzeptentwurf zur detaillierten Ausgestaltung der AG Konzepte erarbeitet. Ein weiteres zentrales Ergebnis dieser Abstimmung innerhalb der Arbeitsgruppe Konzepte ist ein Dokument mit der qualitativen und quantitativen Beschreibung der Betrachtungsgrundlage für die Konzeption der Produktionsprogrammplanung, des Betriebskonzeptes und der Produktionssteuerung hervorgegangen. Dieses Dokument beschreibt dabei beispielsweise inhaltlich, auf welche Ausbringungsmenge die angestrebte Kleinstserienfertigung ausgelegt werden soll, wie flexibel diese Ausbringungsmenge gestaltet werden sollte und wie angestrebt wird, die Fertigung skalierbar zu gestalten. Nachdem durch diese Vorarbeiten eine einheitliche und konsistente Ausgangsbasis geschaffen wurde, konnten die Arbeiten in den Unterarbeitspaketen zielgerichtet aufgenommen werden. Das Team des AP einigte sich hierbei darauf, die einzelnen UAP 1-3 parallel und integriert zu bearbeiten.

Im UAP 3.1 wurde zunächst der Gegenstand des Betriebskonzeptes anhand einer sog. In-&Out-Liste im Detail definiert. Konkret wurde mit den Projektpartnern erarbeitet, was beim Betriebskonzept im Kern betrachtet werden soll (u.a. Montageflusskonzept, Montagelayout und Materialbereitstellungskonzept) und was nicht erarbeitet werden soll, da es mit Inhalten anderer Arbeitspakete abgedeckt wird (u.a. Produktionsprogrammplanung und -steuerung). Im Kern des Unterarbeitspakets stand die Erarbeitung von Ansätzen zum Clustering von Montageschritten zur späteren Spezifikation der Arbeitsinhalte einzelner Arbeitsstationen des Betriebskonzeptes. Diesbezüglich wurden sowohl bereits getätigte Forschungsarbeiten aus der Literatur identifiziert als auch Experten im Volkswagen Konzern interviewt. Diese Ansätze zur Clustering wurden auf die bestehende Prozessaufnahme aus Arbeitspaket 1 angewandt, evaluiert und weiterentwickelt.

Basierend aus der entwickelten Vorgehensweise im Gesamtarbeitspaket wurde ein Vorgehen zur Entwicklung alternativer Betriebskonzepte erarbeitet. Dieses Vorgehen sieht es vor, mögliche Betriebskonzepte anhand eines dreistufigen Vorgehens abzuleiten. Über die drei Hierarchiestufen Montagestruktur (1. Hierarchiestufe), Materialbereitstellung intern (2. Hierarchiestufe) und Materialbereitstellung extern (3. Hierarchiestufe) werden durch eine speziell für das AP entwickelte Methodik in drei Stufen mögliche Betriebskonzepte hergeleitet. Zusätzlich wurden für das AP relevante Zielgrößen aus dem Zielgrößenkatalog aus AP1 identifiziert und noch einmal speziell für die Randbedingungen des Betriebskonzeptes spezifiziert. Weitere Inputs stammen aus einer vorgelagerten theoretischen Erarbeitung der Bestandteile des Betriebskonzeptes, an welcher vor allem das Fraunhofer IML und die Praxispartner der Continental AG und der Volkswagen AG beteiligt waren. Die Zielgrößen und auch die theoretischen Grundlagen wurden in die entwickelte Methodik zur Ableitung alternativer Betriebskonzepte integriert. Bereits existierende Betriebskonzepte wurden anhand theoretischer Kennzahlen und gegeneinander bewertet. Anschließend wurden weitere Interviews mit Experten aus der Standort- und Produktionsplanung bei Volkswagen durchgeführt und die Bewertungen durch Praxiswissen abgesichert. Als Ergebnis wurden Übersichten zu Montagestrukturkonzepten und internen- sowie externen Materialbereitstellungskonzepten erstellt, die bewertet die Eignung der jeweiligen Konzepte für die Anforderungen der zukünftigen Fertigung enthalten.

Wie bereits erwähnt wurde auch das UAP 3.3 (Integration der Lieferanten) von Anfang an in die Entwicklung der Betriebskonzepte integriert. In Zusammenarbeit mit der Continental AG wurden hierbei externe Materialbereitstellungskonzepte aus der Literatur identifiziert und strukturiert. Diese theoretischen Erarbeitungen

wurden zusätzlich durch eine beispielhafte Erfassung der externen Materialbereitstellung von Continental zum Volkswagenwerk Wolfsburg ergänzt. Wohingegen die Integration der Zulieferer in der Methodik zur Entwicklung von Betriebskonzepten auf der dritten Hierarchiestufe eher nachgelagert in die Herleitung integriert wurden, wurde durch die Continental AG eine „Vision zur Zuliefereranbindung an eine Smart Factory“ entwickelt. Auch für die Integration der Zulieferer wurden im AP 1 spezifische Zielgrößen identifiziert, welche in der Erstellung der „Vision zur Zuliefereranbindung an eine Smart Factory“ berücksichtigt wurden. Das Arbeitsergebnis dieses UAP stellt ein Zielgrößenkatalog dar.

#### Arbeitspaket 4 – Produktionssteuerung

In seiner zentralen Rolle stand die Volkswagen AG in diesem AP den federführenden Partnern als fachkundiger Praxispartner zur Verfügung.

Nach der Durchführung der konkreten Abgrenzung des AP 4 zu den anderen AP der Arbeitsgruppe wurde analog zu den anderen AP auch das AP4 an relevanten Zielgrößen aus dem Zielgrößenkatalog aus AP 1 ausgerichtet. Die im AP1 identifizierten Zielgrößen mit Bezug zur Produktionssteuerung flossen speziell aus Praxissicht als Anforderungen an das Konzept zur dezentralen Produktionssteuerung eines Multi-Agentensystems ein. In direkter Orientierung an bestehenden Produktionsstrukturen und in enger Abstimmung mit Experten aus den Abteilungen der operativen und taktischen Produktionssteuerung wurden die bestehenden Herausforderungen an eine dezentrale Produktionssteuerung identifiziert. Durch diese Vorgehensweise wurde sichergestellt, dass das entwickelte Agentensystem zur Produktionssteuerung eine hohe Anwendungskompatibilität für die Automobilindustrie besitzt. Neben der Entwicklung des Fertigungswurfs des Multiagenten Domain Modells nach PASSI für die Steuerung zentraler und dezentraler Materialflusskomponenten lag zum Abschluss des UAP eine cloudfähige App zur Auftragsdisposition als Entwurf vor. Die kontinuierliche Abstimmung zwischen den fachlichen Experten und den Praxispartnern garantierten eine schlussendliche Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Automobilindustrie. Auch in die Entwicklung des Produktionssteuerungssystems des Mini-Demonstrators flossen Praxisreferenzen der Volkswagen AG ein.

Bei der im Kern des UAP 4.2 stehenden Spezifikation der Produktionsschritte wurden Input von der Volkswagen AG in Form Anforderungen beigesteuert. Diese formulierten Anforderungen aus der Produktion wirkten sich dabei speziell auf Montagestrukturen (Maschinentypen und Materialflussarten) sowie Bestandteile der innerbetrieblichen Logistik (Transport und Handhabung) aus. Zusätzlich wurde eine Spezifikation der zentralen, softwareseitigen Rahmenbedingungen zur dezentralen Steuerung durch die Volkswagen AG erarbeitet. Basierend auf dieser Spezifikation wurde der Entwurf einer IT-System-Architektur entwickelt. Diese Architektur erlaubte es, alle cloudfähigen Plattformen zu vernetzen und unter Berücksichtigung von Aspekten Cyber-physischer Komponenten zu entwickeln.

Im UAP 4.3, der Definition bzw. Spezifikation der konzeptionellen Vernetzung der Fertigungsmaschinen sowie der ver- und entsorgenden Materialflusseinheiten, unterstützte die Volkswagen AG bei der Definition von Schnittstellen, der Kommunikationsstrukturen und Rollendefinitionen. Im Fokus standen hierbei die Planungs- und Materialflusssteuerung.

Im Rahmen von UAP 4.4 wurde ein übergreifendes Informationsmodell zur idealen Informationsversorgung smarterer Einheiten erarbeitet. Im Fokus der Volkswagen AG lag hierbei die Einbringung praxisrelevanter Rahmenbedingungen sowie des Wissens über praxisbezogene Implementierungshürden.

#### Arbeitspaket 5 – Planungssystem

Vorgelagert zu den Unterarbeitspaketen wurden vorhandene Optimierungslösungen zur Verwendung in Bezug auf das Planungssystem in SmartFace identifiziert. Folgende Lösungen der Praxispartner wurden hierfür als sehr geeignet eingestuft: Qualicision® von PSI F/L/S und OTD-Net, OTD-InSite und das Assistenzsystemframework des Fraunhofer IML. Die Verwendung dieser Optimierungslösungen bietet sich hierbei an, da die Projektpartner von PSI F/L/S und Fraunhofer IML über große Erfahrung in Bezug auf die Anwendung dieser Systeme verfügen und da Lösungen von beiden Partnern bereits bei der Volkswagen AG verwendet werden. Für beide Optimierungslösungen wurden umfangreiche Dokumentationsunterlagen bereitgestellt.

Im ersten Schritt des UAP 5.1 (Modellierung einer multikriteriellen Zielfunktion) wurden für das Planungssystem relevante Zielgrößen aus der Zielgrößentabelle des AP 1 identifiziert und weiterverarbeitet. Die einzelnen Zielgrößen wurden in Abstimmung mit den AP Partnern nochmals auf Optimierungsrelevanz überprüft. Hierbei konnte insbesondere auf die bereits im AP 1 durchgeführte Unterteilung zwischen optimierungsrelevanten und nicht-optimierungsrelevanten Zielgrößen aufgebaut werden. Zusätzlich wurden weitere Zielkriterien identifiziert, die in der produktiven Umgebung einer SmartFactory Anwendung fanden und insbesondere für den Mini-Demonstrator in Frage kamen. Diese Zielgrößen und -kriterien wurden aus der Sicht der Praxis und vor dem Hintergrund der Erfahrung von PSI F/L/S evaluiert. In einem nächsten Schritt wurde durch die Volkswagen AG basierend auf den Dokumentationsunterlagen von PSI F/L/S eine Matrix zur Ermittlung von Beziehungen (Trade-Offs, Analogie, keine

Beziehung) zwischen erfassten Zielgrößen erstellt und eine Einschätzung der Beziehungen aus Praxissicht erarbeitet. Diese Einschätzung wurde durch die Experten von PSI F/L/S überarbeitet und dient als wertvoller Input für die weiteren Arbeiten im Arbeitspaket. Im Hause der F/L/S existiert ein Framework zur Operationalisierung von Parametern und Zielgrößen bei multikriteriellen Aufgabenstellungen. Dieses Framework wurde hinsichtlich der Anwendbarkeit auf die vorliegende Aufgabenstellung in SMART FACE untersucht und für die Verwendung sowohl im Minidemonstrator als auch in der Steuerung einer produktiven SmartFactory als anwendbar klassifiziert.

Für UAP 5.2 wurde ein Optimierungsverfahren entwickelt, welche für den Minidemonstrator eingesetzt wurde, aber gleichzeitig auch als Basis für das produktive Umfeld einer realen SmartFactory dienen kann. Dieses entwickelte Optimierungsverfahren wurde im Rahmen des Minidemonstrators unter Berücksichtigung der reduzierten Anzahl von Optimierungskriterien prototypisch angewandt, was bereits einen großen Schritt in Richtung der Optimierungslösung für SmartFace insgesamt entsprach. Nachdem die Evaluierung des Optimierungsverfahrens durch die prototypische Anwendung am Minidemonstrator abgeschlossen war, wurde eine Überführung und Erweiterung des Verfahrens auf die komplexe Situation einer realen SmartFactory erprobt. Hierfür wurden die Optimierungskriterien einer produktiven SmartFactory Umgebung herausgearbeitet und konkretisiert. Das Optimierungsverfahren wurde dahingehend erweitert.

Die Umsetzung des konzipierten Planungsalgorithmus sowie des Optimierungsverfahrens wurde im OTD-NET Framework des Fraunhofer IML durchgeführt. Die Volkswagen AG hatte hierbei als Beratungspartner zur Festlegung geeigneter Systemkomponenten und Schnittstellen fungiert und ebenfalls benötigte Daten bereitgestellt. Außerdem war die Volkswagen AG in die Erarbeitung der multikriteriellen Zielfunktion involviert.

#### Arbeitspaket 6 – Monitoring und Assistenzsystem

Gemeinsam mit dem Fraunhofer IML wurde ein Grobkonzept zur Zustandsermittlung und -definition erstellt. Durch die signifikante Erfahrung des Fraunhofer IML konnte dieses Konzept bereits eingangs vor dem Hintergrund der Anforderungen aus der Praxis erstellt werden. Ein weiterer kontinuierlicher Austausch mit der Volkswagen AG hatte sichergestellt, dass dieses Konzept den Anforderungen aus der automobilen Praxis gerecht wird und in einer produktiven Smart Factory angewendet werden kann. Hierfür wurden bei der Volkswagen AG an verschiedenen Stellen Praxisinterviews durchgeführt. Nach theoretischer Identifikation von Zustandsobjekten und möglicher Zustände, wurde gezielter Kontakt zu internen Ansprechpartnern mit Verantwortung über diese Zustandsobjekte gesucht. In den anschließenden Gesprächen konnten konkrete Eingangsdaten von Zustandsobjekten wie beispielsweise Industrieroboter, Fahrerlose Transportsysteme und CNC-Fräsmaschinen erfasst werden.

Die Volkswagen AG hat im Rahmen des Demonstrators bei der Volkswagen AG (siehe Arbeitspaket 11) eine Web-Applikation zur digitalen Ausschusserfassung erstellt, mittels derer Ausschuss in Echtzeit erfasst und Fehlerrends analysiert werden können. Diese Applikation ist in UAP 6.2 zur Überwachung und Visualisierung von Systemzuständen entstanden. Die Prozesstransparenz wird durch die Applikation erhöht und es können Anpassungen in der Produktionsprogramm-planung und Produktionssteuerung basierend auf den erfassten Ausschussinformationen angestoßen werden, um Engpässe prädictiv zu vermeiden. Die entwickelte Lösung basiert auf Java EE und kann problemlos skaliert werden.

Außerdem stand die Entwicklung multimedialer Assistenzsysteme zur Produktionsprogrammplanung im Vordergrund. Hierbei wurde ein Prozessmodell als Datenbasis für das multimediale Assistenzsystem und des Simulationsdemonstrators (siehe Arbeitspaket 11) entwickelt. Die Volkswagen AG hat an den konzeptionellen Arbeiten zur Produktionsprogrammplanung sowie zur Überwachung von Auftragsstatus und an der Schnittstellendefinition des logistischen Assistenzsystems (LAS) mitgearbeitet. Ein Grobkonzept wurde entwickelt, dass eine Möglichkeit zur Verknüpfung der Produktionsprogrammplanung mit der Steuerungssimulation darstellt. Hier sollen aus Kundenaufträgen Betriebsaufträge abgeleitet werden, die dann von der Steuerungskomponente verwendet wurden, um Vorgänge zu planen.

#### Arbeitspaket 10 – Validierung

Bei der Bearbeitung von Versuchsszenarien und KPI zur Validierung der Ergebnisse hat die Volkswagen AG wiederum die Position des Praxispartners im Tandem mit der Wissenschaft übernommen. In engem Austausch wurden verschiedene Versuchsszenarien aufgebaut und Key Performance Indicators (Kennzahlen) spezifiziert. Konkret wurde beispielsweise ein Evaluierungsszenario zur Untersuchung und Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion konzipiert. In diesem Versuchsfeld werden unter Verwendung eines hochpräzisen optischen Trackers zur Aufzeichnung der menschlichen Bewegung Mensch-Maschine-Kooperationen unter psychologischen Gesichtspunkten untersucht. Schlussendlich soll dieses Versuchsszenario dazu dienen, relevante Indikatoren für den Entwurf einer adäquaten Mensch-Maschine-Schnittstelle zu entwickeln. Die Volkswagen AG stand hierbei und darüber hinaus für die Validierung und Evaluierung von wissenschaftlichen Konzepten zur Verfügung. Dabei mussten die aus der Praxis hervorgehenden Konzepte auf der anderen Seite stets einer wissenschaftlichen Validierung standhalten. An dieser Stelle ist zum wiederholten Mal klar geworden, wie wertvoll die bewusst interdisziplinäre Zusammenstellung des Projektkonsortiums von SMART FACE für die Qualität der Forschungsergebnisse ist.

Bei der Validierung diverser Hardwarekomponenten, wie beispielsweise Roboterarmen oder Fahrerlosen Transportsystemen war die Volkswagen AG für die Fokussierung auf praxisrelevante Kriterien zuständig und hat somit in enger Zusammenarbeit mit den anderen Projektpartnern die Validierung voran getrieben.

#### Arbeitspaket 11 – Demonstrator

Als Demonstrator I wurde in dem Forschungsprojekt eine Simulation der Produktion entwickelt. Das Ziel hierbei war die Abbildung eines flexiblen und dezentral gesteuerten Fertigungssystems inklusive dezentraler Entscheidungsfindung. Die Volkswagen AG war stark an der konzeptionellen Ausrichtung und Entwicklung des Demonstrators beteiligt und hat somit ebenfalls die Systemgrenzen für das Anwendungsszenario festgelegt. Es wurde zwischen einer Validierungs- und Demonstrationsebene unterschieden. Bei der Validierungsebene wird die Simulation eingesetzt, um fachliche Projekthypothesen zu evaluieren. In der Demonstrationsebene stand das Aufzeigen des neu entwickelten Fertigungssystems im Vordergrund.

Zur Evaluierung der entwickelten Lösungsansätze und zur Präsentation der Funktionsweise und Machbarkeit wurde in Vorgriff auf den geplanten Demonstrator in AP 11 ein Konzept für einen Minidemonstrator entwickelt – für Details sei auf den Konsortialbericht verwiesen. Für den Minidemonstrator wurde in der ZFT-Anlage des Fraunhofer IML ein Prototyp in Betrieb genommen, der den Minidemonstrator mit den vorhandenen Fahrzeugen nachstellt („Maxidemonstrator“). Auf der Hannover Messe 2015 (13. – 17. April) wurde der interaktive Minidemonstrator, eine miniaturisierte, wandlungsfähige, selbststeuernde Kleinserienfertigung für eine Fahrzeugmontage, erstmalig einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt. Bei der Konzipierung des Minidemonstrators hat die Volkswagen AG an verschiedenen Stellen unterstützt. Neben der Beisteuerung der Vorranggraphen, welche die Grundlage für die Auftragsplanung, die Produktionssteuerung sowie die Fahrwegplanung der Träger- und Transportfahrzeuge darstellen, wurde insbesondere auch eine sinnvolle Skalierung der existierenden Fahrzeugproduktion auf den Minidemonstrator durchgeführt. Diese Skalierung belief sich unter anderem darauf, dass für den Demonstrator geeignete Bauteile aus der realen Produktion identifiziert wurden. Weiterhin erfolgt eine Analyse der häufigsten Störgrößen in der Fahrzeugproduktion. Diese Störgrößen erhalten im übertragenen Sinne Einzug in das Konzept des Minidemonstrators. Ebenfalls das Gesamtlayout des Demonstrators basierte auf Inputs der Volkswagen AG. Es wurden mehrere mögliche Vorranggraphen aus einer realen Produktion der Volkswagen AG identifiziert, die als exemplarischer Realprozess für den Demonstrator 1 und 2 dienen.

Die Umsetzbarkeit einer SMART FACE Gesamtlösung, d.h. der Gestaltung und Implementierung eines dezentral gesteuerten Fertigungsabschnittes in der Automobilproduktion, wurde kritisch diskutiert. Das Konsortium hat sich darauf geeinigt für den Demonstrator bei der Volkswagen AG einen Teilaspekt des Gesamtkonzeptes umzusetzen. Dies wurde im Rahmen eines Konsortialtreffens ebenfalls dem Projektträger kommuniziert. Da der Informationsbedarf über den Systemzustand eines dezentral gesteuerten Fertigungssystems nach den Konzepten von SMART FACE steigt und die Transparenz für verschiedene Systemteilnehmer erhalten bleiben muss, hat sich das Konsortium für die Erarbeitung eines Erfassungs-, Visualisierungs- und Auswertungstools des Ausschusses in dezentralen Fertigungssystemen entschlossen. Hierzu wurden mobile Endgeräte (Tablets) zur Erfassung und Dokumentation des Ausschusses in die Kunststofffertigung der Volkswagen AG am Standort Wolfsburg integriert. Mittels einer Webapplikation können Werker im Falle eines fehlerhaften Bauteils dieses erfassen, die Fehlerverläufe über verschiedene Zeithorizonte können betrachtet werden und diverse Auswertungen, wie z.B. die fünf häufigsten Fehler inkl. Fehlerhäufigkeit, können eingesehen werden. Das Tool zur digitalen und echtzeitnahen Ausschusserfassung schließt den Medienbruch zwischen der Erfassung und der Auswertung der Informationen, so dass die Reaktionsgeschwindigkeit auf Fehlertrends reduziert und somit die Möglichkeit Gegenmaßnahmen frühzeitig einzuleiten enorm gestiegen ist.

### **Wissenschaftliche Ergebnisse**

Die Methodik des UAP 1.1 sowie die Kernergebnisse bezüglich des Flexibilisierungspotenzials wurden in Bochmann et. al.: Towards Decentralized Production: A Novel Method to Identify Flexibility Potentials in Production Sequences based on Flexibility Graphs. International Journal of Automation Technology, 2015, Band 9, Nr. 3, pp 270 – 282 beschrieben und somit 2015 in einer Sonderausgabe des International Journal of Automation Technology (IJAT) über Produktionsplanung und -steuerung publiziert.

Die konzeptionellen Ergebnisse des Projekts mit besonderem Fokus auf das Betriebskonzept, die Programmplanung und die Fertigungssteuerung konnten in Form eines Buchbeitrags von Bochmann et al. [22] mit dem Titel „Innovative Konzepte einer sich selbstorganisierenden Fahrzeugmontage am Beispiel des Forschungsprojekts SMART FACE“ detailliert veröffentlicht werden. Somit hat das Projekt einen guten Beitrag zum Vorantreiben der Ideen und Konzepte von Industrie 4.0 geleistet.

### **Öffentlichkeitsarbeit**

Auf der Hannover Messe 2015 (13. – 17. April), auf der Automatica München (20.-24. Juni 2016) und auf der Abschlussveranstaltung des Autonomik Programms wurde der interaktive Minidemonstrator, eine miniaturisierte, wandlungsfähige und selbststeuernde Kleinserienfertigung für eine Fahrzeugmontage einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt.

Der weiterentwickelte Minidemonstrator wurde am 03. September 2015 auf dem Volkswagen Doktorandentag 2015 einem breiten internen Publikum sowie ausgewählten Forschungspartnern und Professoren präsentiert.

Des Weiteren konnte ebenfalls durch die oben genannten wissenschaftlichen Veröffentlichungen und auch weitere im Rahmen des Projekts ohne Beteiligung des Volkswagen AG entstandene Veröffentlichungen eine gute Präsenz des Forschungsprojekts in der Forschungsgemeinschaft erzielt werden.

## **Nutzen und Verwertung**

Das Forschungsprojekt SMART FACE hat mit seiner zukunftsweisenden Ausrichtung zur Verbreitung und Verankerung der Gedanken, Konzepte und Ansätze von Industrie 4.0 innerhalb der Volkswagen AG stark beigetragen. Die Ideen der zukünftigen Fertigung basierend auf flexiblen, dezentral gesteuerten und adaptierbaren Fabrikstrukturen sind in vielen aktuell entwickelten Konzepten für neue Produktionssysteme wiederzufinden. SMART FACE ist somit zu einem konzeptionellen Baustein für die strategische Ausrichtung zukünftiger Fertigungssysteme der Volkswagen AG geworden.

Die Erarbeiten Konzepte für die Produktionsprogrammplanung werden intern ebenfalls weiterverfolgt und verfeinert. Gerade der Ansatz der Volumentaktbildung, um keine Sequenz mehr vorzugeben und dem System somit Entscheidungsfreiräume einzuräumen, wird weiterhin intensiv untersucht. Gleiches gilt für die Fertigungssteuerung von dezentralen Fertigungssystemen. Hierbei werden die Grundkonzepte aus SMART FACE weiterentwickelt, um ein System zum dynamischen Scheduling zu erarbeiten.

## Literatur

- [1] Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P. (2009): Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München: Carl Hanser Fachbuchverlag.
- [2] Lee, E. A. (2008): Cyber Physical Systems: Design Challenges. In: 11th IEEE International Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). Orlando, Florida: Mai 5 - 7, 2008.
- [3] Holweg, M.; Pil, F. K. (2004): The second century. Reconnecting customer and value chain through build-to-order. Cambridge, Mass: MIT Press.
- [4] Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A. (2009): Sequencing mixed-model assembly lines: Survey, classification and model critique. In: European Journal of Operational Research. Elsevier. Bd. 192 (2), S. 349-373.
- [5] Schwede, C.; Hellingrath, B. (2011): Considering Distribution Logistics in Production Sequencing: Problem Definition and Solution Algorithm. In: Hu, B.; Morasch, K.; Siegle, M.; Pickl, S. (Hg.): Operations Research Proceedings 2010. Berlin: Springer Verlag.
- [6] Kuhn, A.; Toth, M.; Wagenitz, A. (2009): Integrierte Versorgungsplanung im Rahmen der Digitalen Logistik. Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation (HAB Forschungsseminar). In: Schenk, M. (Hg.): Digital Engineering – Herausforderung für die Arbeits- und Betriebsorganisation. (Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation. Schriftenreihe). Berlin: GITO-Verlag, S. 175–193.
- [7] Windt, K.; Becker, T.; Jeken, O.; Gelessus, A. (2010). A classification pattern for autonomous control methods in logistics. In: Logistics Research, 2(2), S. 109-120.
- [8] Mayer, S. (2011): Development of a completely decentralized control system for modular continuous conveyors. GRIN Verlag.
- [9] Wiendahl, H.-P.; ElMaraghy, H. A.; Nyhuis, P.; Zäh, M. F.; Wiendahl, H. H.; Duffie, N.; Brieke, M. (2007): Changeable Manufacturing – Classification, Design and Operation. In: CIRP Annals-Manufacturing Technology. Bd. 56/2, S. 783-809.
- [10] Hines, J.; Malone, T. W.; Herman, G.; Quimby, J.; Murphy-Hoye, M.; Rice, J.; Gonçalves, P.; Patten, J.; Ishii, H.; (2011): Construction by replacement: a new approach to simulation modeling. In: SciDAC Review. 27, S. 64–90.
- [11] Franco, C.; Angelo, F.; Libero, N. (2011): Modelling and simulation of complex manufacturing systems using statechart-based actors. In: Simulation Modelling Practice and Theory. Bd. 19, S. 685-703.
- [12] Allgayer, F. (1999): Computerunterstützte Planung von Materialflusssystemen auf Basis statischer Materialflüsse. TU München, München: Herbert Utz Verlag.
- [13] Coello, C. A. C.; Lamont, G. B.; van Veldhuizen, D. A. (2007): Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems. 2nd Edition. Boston: Springer Science+Business Media LLC.
- [14] Kirste, T.; Schumann, H. (2001): Intelligent Interactive Assistance and Mobile Multimedia Computing. In: 4. Computers and Graphics. Bd. 25, S. 551-553.
- [15] Penman, J.; Yin, C.M. (1994): Feasibility of using unsupervised learning, artificial neural networks for the condition monitoring of electrical machines. In: IEEE Proceedings - Electric Power Applications. Bd. 141, S. 317-322.
- [16] Saxena, A und Saad, A. (2007): Evolving an Artificial Neural Network Classifier for Condition Monitoring of Rotating Mechanical Systems. In: International Journal of Applied Soft Computing. Bd. 7, S. 441-454.
- [17] Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S. (2008): Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken. Berlin: Springer Verlag.
- [18] Wagenitz, A.; Hellingrath, B. (2008): Simulationsbasierte Bewertung großer logistischer Netzwerke der Automobilindustrie. In: Dangelmaier, W. (Hg.): Reagible Unternehmen in dynamischen Märkten. 10. Paderborner Frühjahrstagung. Paderborn, 26.03.2008.
- [19] Wagenitz, A.; Hellingrath, B.; Toth, M.; Motta, M. (2004): Simuliere und herrsche. In: Beschaffung aktuell. 10/2004, S. 32–33.
- [20] Schwede, C.; Klingebiel, K.; Pauli, T.; Wagenitz, A. (2011): Simulationsgestützte Optimierung für die distributionsorientierte Auftragsreihenfolgeplanung in der Automobilindustrie. In: März, L.; Krug, K.; Rose, O.; Weigert, G. (Hg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Berlin: Springer (VDI-Buch), S. 151–170.
- [21] Bochmann et. al.: Towards Decentralized Production: A Novel Method to Identify Flexibility Potentials in Production Sequences based on Flexibility Graphs. International Journal of Automation Technology, 2015, Band 9, Nr. 3, pp 270 – 282.
- [22] Bochmann et al.: Innovative Konzepte einer sich selbstorganisierenden Fahrzeugmontage am Beispiel des Forschungsprojekts SMART FACE. In: Roth, A.: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0 – Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Springer Gabler, 2016.