

Eine Architektur für intelligent-adaptive Assistenz- und Wissensdienste in der Industrie 4.0

Carsten Ullrich¹, Matthias Aust², Roland Blach², Michael Dietrich¹, Christoph Igel¹, Niklas Kreggenfeld³, Denise Kahl⁴, Christopher Prinz³ und Simon Schwantzer⁵

Abstract:

Ein Effekt der Transformation zu Industrie 4.0 ist ein stetiger Anstieg der Komplexität sowohl in der Bedienung sowie Instandhaltung von Anlagen als auch in der Steuerung der Produktionsabläufe. Der gleichzeitig einhergehende sukzessive Rückgang von Produktionsmitarbeitern bei simultaner Zunahme der Komplexität der Arbeitsprozesse lässt den Informationsbedarf sowie die notwendige berufliche Expertise rasant wachsen. Gleichzeitig bieten diese Herausforderungen die Chance zu einer Neugestaltung der Arbeitsorganisation, in der die Handlungs- und Gestaltungsräume der Mitarbeiter erweitert werden. Das BMWi Verbundprojekt APPSist untersucht, wie diese Transformation technisch und organisatorisch unterstützt werden kann. In diesem Beitrag wird der technische Ansatz, eine Architektur für intelligent-adaptive Assistenz- und Wissensdienste vorgestellt.

Keywords: Arbeitsplatzintegriertes Lernen, Assistenzsystem, Adaptivität, Lerndienste

1 Einführung

Die heutigen Anforderungen an produzierende Unternehmen lassen sich nicht mehr nur durch günstige Produktionsstandorte, höhere Prozessqualität oder technologischen Vorsprung erfüllen. Die Herausforderung der kundenindividuellen Produktion bis hin zur Losgröße 1 bei gleichzeitiger Absicherung der Produktivität auf höchstem fachlichem Niveau gehört mit zu den schwierigsten Aufgabenstellungen in der Produktionshalle (dem „Shopfloor“). Cyber-Physische Systeme (CPS) bieten ein erhebliches Potenzial, diesen Herausforderungen adäquat zu begegnen. Unter CPS werden in diesem Zusammenhang Systeme verstanden, die sowohl eingebettete Systeme, Produktions-, Logistik-, Engineering-, Koordinations- und Managementprozesse als auch Internetdienste umfassen. Diese greifen mittels Sensoren auf Daten der physikalischen Welt zu und wirken auf diese mittels Aktoren ein [1] [2]. Damit wird die physikalische Welt mit der virtuellen Welt zu einem Internet der Dinge und Dienste verknüpft. Der Begriff „Industrie 4.0“ beschreibt im Wesentlichen die technische Integration von CPS in Produktion und Logistik sowie die damit verbundene Anwendung des Internets der Dinge auf industrielle Prozesse, sodass Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) entstehen [2].

¹ DFKI GmbH, Center for Learning Technology, Alt-Moabit 91c, 10559 Berlin

² Fraunhofer IAO, Virtual Environments, Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart

³ Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme, 44801 Bochum

⁴ DFKI GmbH, Innovative Retail Laboratory, 66123 Saarbrücken

⁵ IMC AG, Innovation Labs, Scheer Tower Uni-Campus Nord, 66123 Saarbrücken

Ungeachtet der fortschreitenden Automatisierung arbeiten in CPPS Mensch und Maschine eng verzahnt miteinander zusammen und bilden somit ein soziotechnisches System. Vor diesem Hintergrund dürfen technologische Innovationen nicht isoliert betrachtet werden, sondern es bedarf vielmehr einer integrierten Betrachtungsweise von technischen, organisationalen sowie personellen Aspekten im Sinne des Begriffsverständnisses von soziotechnischen Systemen nach [3].

Ein Effekt der Transformation zu CPPS ist ein stetiger Anstieg der Komplexität sowohl in der Bedienung sowie Instandhaltung von Anlagen als auch in der Steuerung der Produktionsabläufe. Der gleichzeitig einhergehende sukzessive Rückgang von Produktionsmitarbeitern bei simultaner Zunahme der Komplexität der Arbeitsprozesse lässt den Informationsbedarf sowie die notwendige berufliche Expertise rasant und im großen Umfang wachsen. Intelligent-adaptive Assistenz- und Wissensdienste bieten hier Abhilfe durch die Vermittlung von formellen und informellem Wissen und Know-how, angepasst auf Expertiseniveaus und fachliche Aufgaben der Mitarbeiter.

1.1 Das APPsist Projekt

Das Ziel des Verbundprojektes APPsist ist die Entwicklung einer neuen Generation mobiler, kontextsensitiver und intelligent-adaptiver Assistenzsysteme zur Wissens- und Handlungsunterstützung für die Smart Production. In APPsist werden KI-basierte Wissens- und Assistenzsysteme entwickelt, die die Mitarbeiter in der Interaktion mit der Maschine oder Anlage unterstützen, sowie Dienste zum Wissens- und Kompetenzerwerb, die ebenso KI-basiert die Weiterentwicklung des Mitarbeiters zum Ziel haben. Dieser Artikel gibt eine Übersicht über den aktuellen Projektstand von APPsist und erörtert, wie Transfer und Verbreitung technisch und organisatorisch vorbereitet und umgesetzt werden.

Zur Entwicklung der Wissens- und Assistenzdienste wurden technisches, personales sowie organisationales Wissen erfasst und so aufbereitet, dass eine gezielte Unterstützung des Mitarbeiters möglich wird (Abschnitt 3.2 Vorgehensmodell zur Prozessaufnahme). Darauf aufsetzend erfolgt dann die Unterstützung des jeweiligen Bedieners, wobei das System als KI-basiertes, d.h. als intelligentes System aufgesetzt wird. Die dafür entwickelte Architektur und das verwendete Framework werden in Abschnitt 3.3 beschrieben, sowie die KI-Aspekte in 3.4. Angesichts der Zielgruppen von APPsist, bei denen hohe Medienkompetenz nicht zwangsläufig gegeben ist, ist eine visuell ansprechende und funktional einfach zu verstehende Benutzerschnittstelle sehr wichtig. Deren Entwicklung und erste vorläufige Evaluationsergebnisse werden in Abschnitt 3.5 vorgestellt.

2 Vergleich mit thematisch ähnlichen Projekten

Unterstützung am Arbeitsplatz wird in einer Vielzahl von Projekten und Arbeiten untersucht. Aufgrund der Zielsetzung des Workshops wird hier vor allem auf ähnliche Projekte verwiesen. So wurden bisher primär Web 2.0 Technologien für das Themenfeld Wissensvermittlung in verschiedenen Szenarios erprobt, z.B. zur Erstellung und zum Austausch von Inhalten in der Instandhaltung (BMBF Projekt DiLi) und zur Unterstützung von KFZ-MechanikerInnen bei Wartung und Reparatur (BMBF Projekt MOLEM). Das BMBF Projekt ELIAS entwickelt ein Planungstool, das erlaubt bereits bei der Entwicklung von Produktionsanlagen lernförderliche Maßnahmen zu berücksichtigen. Ebenfalls gibt es erste Untersuchungen zur Verknüpfung von automatischer

Kontexterfassung und sozialen Netzwerken für das betriebliche Wissensmanagement (BMBF Projekt AmbiWise) und für den Transfer von Erfahrungswissen (BMBF Projekt PLUTO). Die bisher weitgehendste Unterstützung des Lernens bieten Systeme, die sich mit Hilfe von Methoden der künstlichen Intelligenz flexibel an individuelle Lernende anpassen. Der Großteil der ITS-Systeme zielt jedoch auf Schul- und Universitätsausbildung, und APPsist betritt mit der Anwendung von ITS auf die Produktion Neuland, zusammen mit dem BMBF Projekt DigiLernPro, das auf die Erstellung semi-automatisch generierter Lernszenarien, die an Maschinen durchzuführende Handlungsabfolgen aufzeichnen, zielt.

3 Stand der Umsetzung

3.1 Beschreibung der Domäne

Die Forschung und Entwicklung in APPsist orientiert sich an den realen Anforderungen der produzierenden Industrie, repräsentiert durch drei Anwendungspartner, die ein Klein- und ein mittelständisches Unternehmen sowie ein Großunternehmen abdecken. Um die zu bearbeitenden Fragestellungen einzugrenzen wurden drei Pilotszenarien identifiziert, eines bei jedem der Unternehmen: Das *Kleinunternehmen* ist geprägt durch kundenspezifische Produktion und entwickelt komplexe Werkzeuge und Vorrichtungen für die Automobil- und Automobilzulieferindustrie. Das Pilotszenario fokussiert die Inbetriebnahme von Anlagen (hier eine Fräsmaschine). Das *mittelständische Unternehmen* ist ein Anlagenbauer für Schweiß- und Montageanlagen der Automobilindustrie und entwickelt kundenspezifische Produkte. Das Pilotszenario widmet sich der Fehlerinterpretation und -behebung in erstellten Anlagen. Das *Großunternehmen* stellt pneumatische und elektrische Antriebe für die Fabrik-Prozessautomatisierung her, die sowohl in kundenspezifischen Produkten als auch in der eigenen Produktion Anwendung finden. Das Pilotszenario betrifft die Wartung und Instandhaltung, insbesondere die Störungs- und Fehlerbeseitigung (Wechsel eines Betriebsstoffs).

3.2 Vorgehensmodell zur Prozessaufnahme

Für die Assistenzgebung und Bereitstellung adäquater Wissensinhalte ist zunächst eine ausführliche Beschreibung der zu verrichtenden Tätigkeiten notwendig. Diese Tätigkeiten stellen durch bestimmte Auslöser (z.B. Fehlermeldung) hervorgerufene Prozesse dar. Entsprechend der Definition nach [4], nach der Prozesse eine „inhaltlich abgeschlossene, zeitliche und sachlogische Folge von Aktivitäten“ beschreiben, erfolgt eine Unterteilung der Prozesse in entsprechende *Aktivitäten*. Diese lassen sich wiederum weiter in eine Folge von *Aktionen* untergliedern. Auf der oberen Ebene werden die Prozesse im Projektkontext als *Maßnahmen* definiert. Diese maximal dreistufige Detaillierung gewährleistet zum einen die Übersichtlichkeit der Prozessstruktur, zum anderen ermöglicht sie aber auch, Mitarbeitern im Rahmen der Assistenzgebung Informationen in unterschiedlicher Granularität und somit Assistenz für unterschiedliche Kompetenzstufen bereitstellen zu können. Da die Prozessbeschreibungen die Methode, nach der eine Maßnahme ausgeführt wird, definieren und diese möglichst effizient sein muss, sind daran einige Anforderungen geknüpft, die für die Qualität der Assistenz essentiell sind: Die Prozesse müssen hinsichtlich Inhalt und Struktur klar verständlich sein, sie dürfen keinen Interpretationsspielraum lassen (Eindeutigkeit & Nachvollziehbarkeit); Die Prozesse müssen so gestaltet und definiert sein, dass sie immer zum gleichen Ziel führen (Reproduzierbarkeit); Die Prozesse müssen alle eventuell auftretenden Tätigkeiten umfassen (Vollständigkeit).

Zur Sicherstellung dieser Qualitätsanforderungen werden die Prozesse iterativ erfasst. Zunächst erfolgt eine Beschreibung der Prozesse, wie sie aktuell im Unternehmen durchgeführt werden (Ist-Prozesse) durch die Prozessdesigner, in Zusammenarbeit mit den Experten der entsprechenden Fertigungsbereiche (z.B. Shopfloormitarbeiter und Fertigungsleiter). Diese Prozesse stellen eine zwar praktikable, jedoch nicht optimierte und zwangsweise vollständige Vorgehensweise dar. Daher wird der in BPMN-Notation (vgl. Abschnitt 3.4) definierte Ist-Prozess in einem nächsten Schritt hinsichtlich Struktur und Inhalt optimiert (Soll-Prozesse), um den Qualitätsanforderungen zu genügen. Dazu werden erneut sowohl die Prozess-Designer als auch Experten der entsprechenden Fertigungsbereiche einbezogen, um eine bestmöglich Qualität der Prozesse sicherzustellen.

Für eine vollständige Prozessbeschreibung sind jedoch die Definition und Optimierung der Prozesse nicht ausreichend. Damit bei der Assistenzgebung Wissensinhalte in adäquater Weise bereitgestellt werden können, müssen diese in einem weiteren Schritt ebenfalls definiert und den einzelnen Prozessschritten zugeordnet werden. Diese ergänzenden Meta-Informationen unterteilen sich in einzusetzende *Endgeräte* darzustellende *Medieninhalte*, *Daten* aus IT-Systemen (z.B. Steuerung der Anlage, MES, ERP), die eine Maßnahme auslösen (z.B. Fehlermeldung) oder den Assistenzprozess beeinflussen (z.B. Daten eines Türsensors) und *Interaktionen* des Nutzers (z.B. Eingabe am Bedienpanel der Anlage). Diese Informationen werden jedem definierten Prozessschritt zugeordnet, sofern dieser eine Assistenz notwendig macht.

3.3 Architektur/Framework

Ob des divergenten Anforderungsprofils muss die APPsist-Plattform viele unterschiedliche Funktionen in einem kohärenten System vereinen. Um dies zu ermöglichen wurde der Plattform eine dienstbasierte Architektur zugrunde gelegt: Die Funktionalitäten werden von weitgehend unabhängigen, dedizierten Diensten umgesetzt, welche zu einem Gesamtsystem komponiert werden. Dabei gelten die Prinzipien einer Microservice-Architektur [5]: Die Dienste sind feingranular, austauschbar und abgeschlossen, so dass sie unabhängig voneinander entwickelt und gewartet werden können. Sie stellen ihre Funktionalitäten über leichtgewichtige APIs zur Verfügung. Um den individuellen Anforderungen des jeweiligen Einsatzortes gerecht zu werden, kann die eingesetzte APPsist-Plattform aus unterschiedliche Instanzen der Dienste zusammengesetzt werden. Abbildung 1 gibt eine Übersicht der Architektur.

Zu den zentralen Diensten der APPsist-Plattform gehören der *Maschinen-Informationsdienst*, der die Schnittstelle zwischen der Plattform und den Maschinen auf dem Shopfloor aufbaut, der *Maßnahmendienst*, der Nutzern basierend auf Maschinen- und Nutzerkontexten durchzuführende Maßnahmen vorschlägt, der *Inhalte-Interaktionsdienst*, der die Funktionalitäten der verschiedenen Dienste über verschiedene Endgeräte zugänglich macht, der *Performance-Support-Dienst*, welcher die Nutzer durch den Assistenzprozess führt, die *Prozess-Koordinationsinstanz*, welche Assistenzprozesse ausführt und verwaltet und der *Inhalte-Selektor*, welcher die relevanten Lern- und Assistenz-Inhalte auswählt.

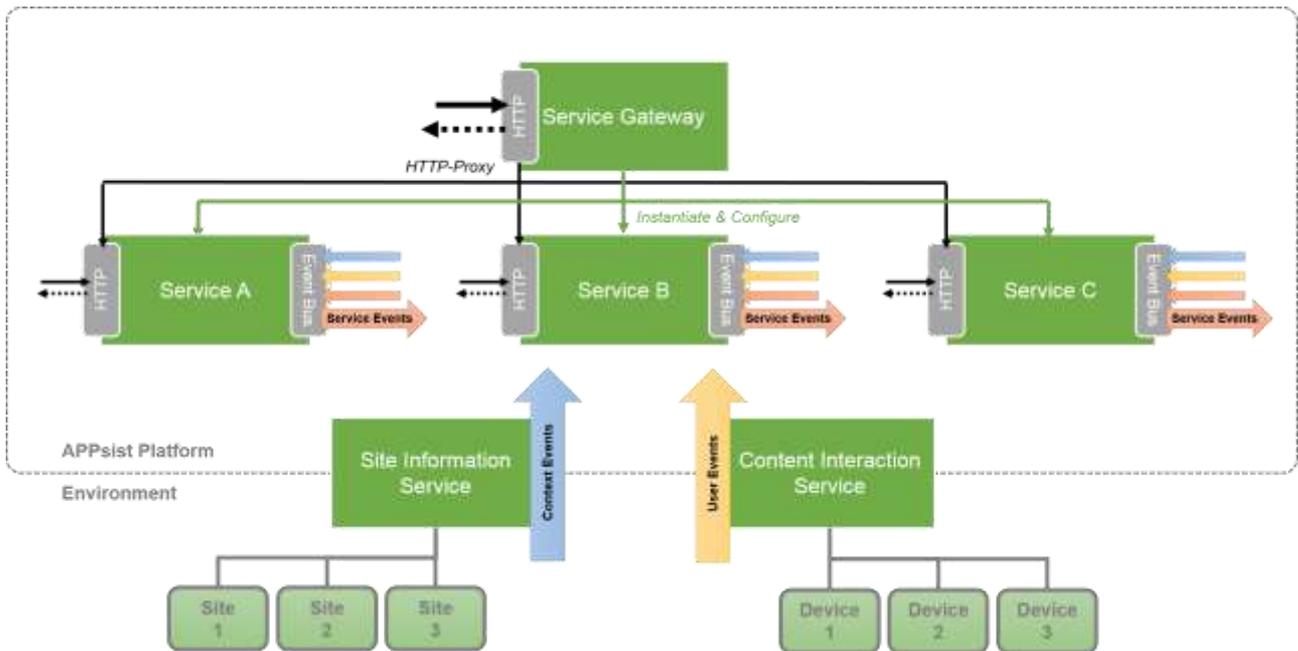


Abbildung 1: Übersicht der APPSist Architektur

Die Dienste agieren ereignisbasiert und asynchron: Auslöser für die Verarbeitung und Bereitstellung von Informationen sind Ereignisse, welche entweder von Nutzern (z.B. Benutzereingaben), dem Kontext (z.B. Änderungen des Maschinenstatus) oder den Diensten selbst (z.B. basierend auf eingetragenen Regeln) kommen. Ereignisse werden systemweit propagiert und können von den Diensten unabhängig voneinander verarbeitet werden. Realisiert und verbunden werden die Dienste über das Vert.x-Framework. Jeder Dienst wird im System von einem Vert.x-Modul repräsentiert. Die Module kommunizieren untereinander über zwei Kanäle: Eine Request-Response-Kommunikation wird über das HTTP-Protokoll realisiert, während der vom Framework bereitgestellte Event-Bus einen Publish-Subscribe-Mechanismus zur Verfügung stellt. Letztere bietet u.a. den für die Ereignis-Verteilung notwendigen Push-Mechanismus für Informationen innerhalb der APPSist-Plattform. Komponiert werden die Dienste über das sog. Service-Gateway. Dieser Dienst erfüllt zwei Funktionen: Zum einen verwaltet er die Konfiguration einer APPSist-Installation und instanziiert die dort aufgeführten Dienste, zum anderen stellt er einen Proxy zu den HTTP-Schnittstellen der einzelnen Dienste bereit, so dass ein einheitlicher Zugriff auf diese ermöglicht wird.

3.4 Wissensrepräsentation / Intelligente Dienste

In APPSist wurde die Domäne „Produktion“ modelliert, d.h. die auftretenden Konzepte und deren Zusammenhänge wurden in einer formalen Beschreibungssprache (OWL) beschrieben und in einer semantischen Datenbank abgelegt (einem Triplestore). Die Repräsentation dient als eindeutiges und festgelegtes Vokabular der Kommunikation der Dienste und als Grundlage für die intelligenten Entscheidungsprozesse der adaptiven Dienste. So kann beispielsweise der Maßnahmendienst über generische Anfragen an die semantische Datenbank (über SPARQL) die für den aktuellen Kontext relevanten Maßnahmen bestimmen. SPARQL erlaubt dabei einen relativ einfach zu verwendende aber gleichzeitig mächtige Abfragesprache, die auf einem Standard beruht und somit wiederverwendbar ist. Offen ist noch, ob alle Funktionalitäten der intelligenten Dienste über OWL und SPARQL abgedeckt werden können. Die

Formalisierung der Domäne in OWL erlaubt auch, dass neue Konzepte oder Verfeinerungen leicht hinzugefügt werden können, ohne dass die Abfragen geändert werden müssen.

Die Prozessbeschreibungen werden in BPMN (Business Process Model and Notation) modelliert, welches sowohl die graphische als auch die semantischen Repräsentation erfasst und die Ausführung von Prozessen (in der Prozess-Koordinationsinstanz) erlaubt, da die Semantik für Prozess-Elemente eindeutig spezifiziert ist. In APPsist hat sich herausgestellt, dass bereits eine kleine Teilmenge der umfangreichen Spezifikation ausreicht, um die Tätigkeiten zu erfassen. Zur funktionalen Einbindung des Prozessmodells in APPsist ist es allerdings erforderlich die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Informationen in den Prozesselementen hinzuzufügen (Endgeräte, Medieninhalte, Daten, Interaktionen). Dies wurde als BPMN-konforme Erweiterung innerhalb der Prozessdefinition realisiert.

3.5 Benutzungsschnittstellen

Mit dem Ziel einer möglichst konsistenten Gestaltung der entwickelten Benutzungsschnittstellen wird projektbegleitend ein Styleguide als lebendes Dokument mitgeführt und stetig aktualisiert. In diesem Dokument wurde in einer sehr frühen Phase des Projekts damit begonnen, anhand der Pilotszenarien und erster GUI-Skizzen, die abzusehenden grundlegenden Aufgabenschritte zu sammeln um so zu einer möglichst vollständigen Sammlung von zu gestaltenden Elementen zu kommen. Die erste Projektphase fokussiert sich hierbei auf die Betrachtung von Tablets als Endgeräte, da diese eine umfangreiche Informationsdarstellung bei hinreichender Mobilität des Benutzers ermöglichen.

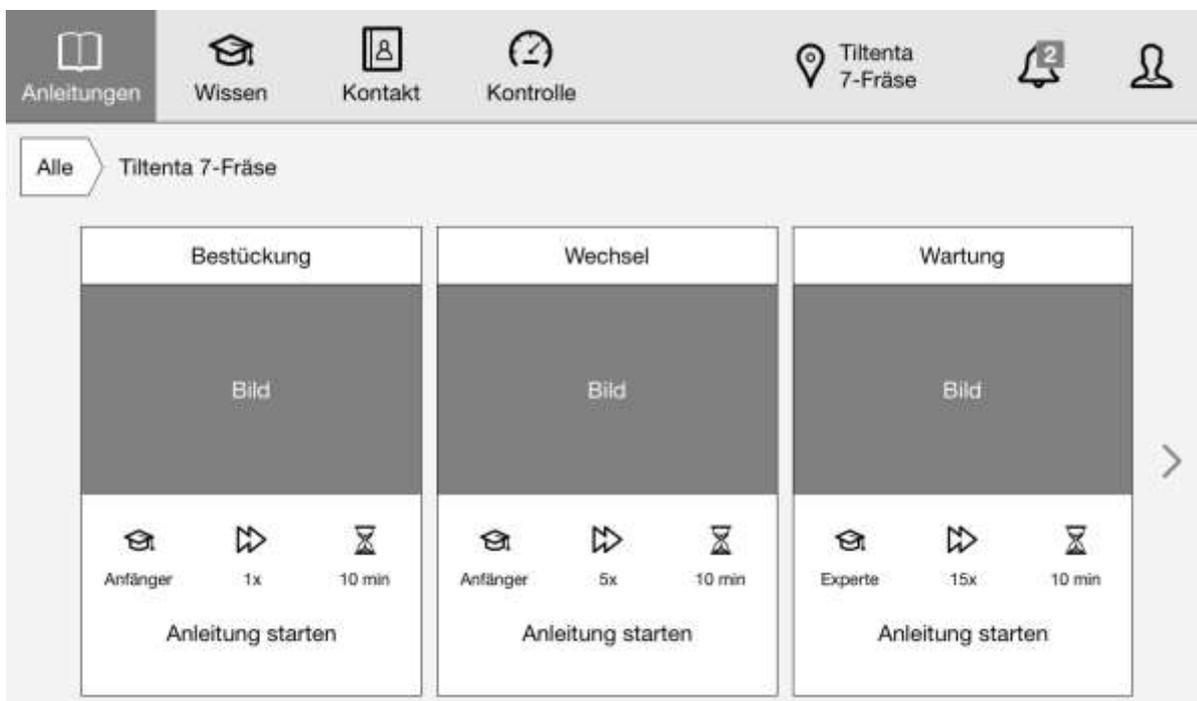


Abbildung 2: Wireframemodell der Benutzungsschnittstelle

Die Entwicklung des Designs der Benutzungsschnittstelle erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst wurden die verschiedenen Seiten der Applikation skizzenhaft dargestellt (siehe Abbildung 2), und eine erste Evaluation des Designs mit einer kleinen Gruppe von potentiellen Nutzern durchgeführt. Insgesamt wurde das Design als

sehr verständlich und übersichtlich eingestuft. Lediglich die Funktionen einzelner kleinerer Elemente (z.B. Icons) waren nicht direkt ersichtlich. Die Skizzen wurden dahingehend überarbeitet und in einem zweiten Schritt in farbige visuelle Designs umgesetzt (ein Beispiel zeigt Abbildung 3). Auf Grundlage dieser visuellen Designs erfolgt im Anschluss die Implementierung der Benutzungsschnittstelle. Weitere Evaluationen in Form von Usability-Tests werden parallel zur Entwicklung folgen.

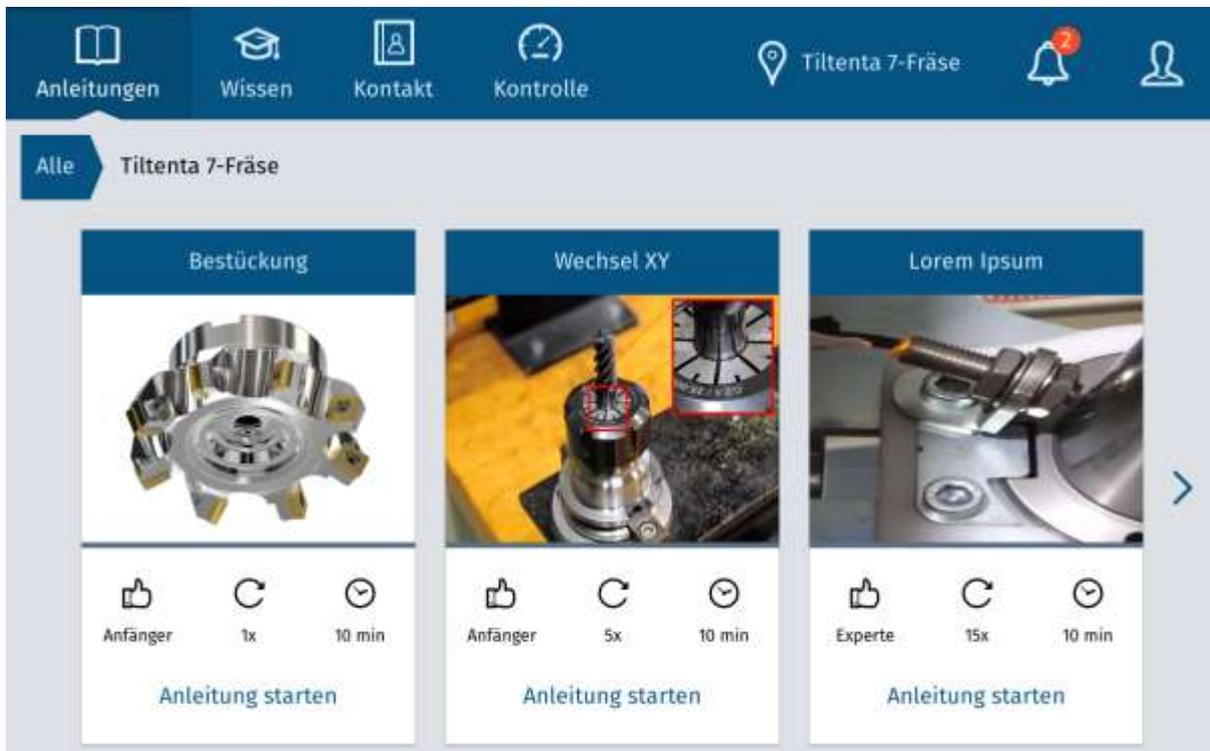


Abbildung 3: Visuelles Design der Benutzungsschnittstelle

Die Benutzungsschnittstelle wird über den Inhalte-Interaktionsdienst (IID) realisiert, der sich in eine Client-Server-Struktur aufteilt, um dynamisch die auf HTML5 basierende GUI anzuzeigen. Dazu stellt der IID neben HTML-Templates Inhaltspakete zur Verfügung, die situationsabhängig von verschiedenen anderen Diensten geliefert werden und in die entsprechenden Templates eingefügt werden. Diese Herangehensweise erlaubt im späteren Projektverlauf die Integration weiterer Klassen von Endgeräten wie Smartphones, -watches und -glasses. Hierbei wird auch die Kombination verschiedener Endgeräte betrachtet. Zusätzlich zu dieser eher „klassischen“ GUI wird die Benutzungsschnittstelle auch Augmented Reality Elemente enthalten. So wird das Kamerabild des Tablets mit Zusatzinformationen in Form von Symbolen, Bildern oder 3D-Modellen überlagert.

4 Fazit

Dieser Artikel gab einen Überblick über den aktuellen Stand des Projekt APPsist. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Weg über Pilotszenarios zur in sich geschlossenen Eingrenzung des Themengebiets sehr hilfreich war um die sich eröffnenden Fragestellungen einzugrenzen. Es ist allerdings notwendig die Betrachtung im Projektverlauf auf höherwertige Tätigkeiten zur erweitern. Das nun ausgearbeitete Vorgehensmodell wird voraussichtlich die Erfassung neuer Szenarios erleichtern. Heutige Technologien bieten bereits eine gute Basis, um flexibel konfigurierbare Systeme zu realisieren. Dienstbasierte Frameworks erlauben das getrennte Entwickeln von und das Zusammensetzen eines Gesamtsystems aus verschiedenen

Diensten. Standards des Semantic Web ermöglichen sowohl eine eindeutige Kommunikation zwischen den Diensten als auch die Realisierung intelligenter Dienste. Der weitere Projektverlauf wird zeigen, inwieweit die Übertragbarkeit tatsächlich gegeben ist. Die Erwartung ist, dass geringfügige Anpassungen notwendig sein werden, der Gesamtentwurf aber Bestand haben wird.

Förderkennzeichnung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „APPsist Intelligente Wissensdienste für die Smart Production“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 01MA13004C gefördert und vom DLR-Projektträger betreut wird.

Literaturverzeichnis

- [1] acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Cyber-Physical Systems: Innovationsmotoren für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion, Springer-Verlag, 2011.
- [2] H. Kagermann, W. Wahlster und J. Helbig, Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Berlin: acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2013.
- [3] H. Hirsch-Kreinsen, „Wandel von Produktionsarbeit - "Industrie 4.0",“ Technische Universität Dortmund, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät, Dortmund, 2014.
- [4] J. Becker und D. Kahn, „Der Prozess im Fokus,“ in *Prozessmanagement*, Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 3-16.
- [5] S. Newman, Building Microservices, O'Reilly Media, Incorporated, 2015.