

Menschzentriertes Informationstool zur innerbetrieblichen Vernetzung

Rainer Müller, Matthias Vette, Leenhard Hörauf, Christoph Speicher, Dirk Burkhard

Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik gGmbH (ZeMA)

Zusammenfassung

In kleinen und mittständischen Unternehmen des (Sonder-)Maschinenbaus erfolgt die Informationsbeschaffung und -übermittlung zwischen den Abteilungen, insbesondere den Bereichen Shop und Top Floor oftmals papiergebunden. In der Fertigung und Montage werden Änderungen an Bauteilen und Produkten von Hand auf den ausgedruckten technischen Zeichnungen vermerkt. Am Ende des Produktionsprozesses müssen alle technischen Zeichnungen zur Erstellung der Maschinendokumentation in die Entwicklung/Konstruktion weitergeleitet werden. Dies erhöht einerseits die Fertigstellungszeit als auch die gesamte Projektlaufzeit. Darüber hinaus erhöht sich dadurch das Risiko von Folgefehlern. Zur Überwindung dieser Abläufe wurde eine softwaregestützte Applikation in Kombination mit Smart Devices entwickelt. Diese Applikation unterstützt den Mitarbeiter durch eine bedarfs- und anforderungsgerechte Aufnahme und Kommunikation von Informationen zu Zeichnungsänderungen.

1 Einleitung

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sehen sich mit vielen Herausforderungen konfrontiert, die überwunden werden müssen, um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können (Müller, 2009). Hierzu zählen u.a. die Individualisierung von Produkten sowie kürzer werdende Produktlebenszyklen (Schuh et al., 2011). Um diesen Herausforderungen in der Produktion zu begegnen, werden u.a. schlanke und anpassungsfähige Prozesse benötigt. Die notwendige Fähigkeit, schnell und flexibel zu reagieren, ist u.a. durch korrekte und zeitnahe Informationen sowie deren Bereitstellung zu erreichen (Reinhart et al., 2013).

Das Ziel des I4.0 Forschungsprojektes NeWiP, in dem die nachfolgend präsentierten Ergebnisse erarbeitet werden, ist es, KMU zu befähigen ihre bestehenden Wertschöpfungsketten und Produktionsbereiche durch Cyber-Physische Systeme aufzurüsten und dabei ihre Unternehmensabläufe und -strategie zu stärken. Dazu werden im Forschungsprojekt vier verschiedene Anwendungsszenarien mit unterschiedlichen Schwerpunkten auf Prozessen und der Wertschöpfungskette betrachtet. Eines dieser

Szenarien fokussiert KMU im (Sonder-)Maschinenbau und ermöglicht die Nachverfolgung von Konstruktions-/Produktänderungen im Shop Floor (Müller, 2017). Die spezifische Problemstellung und Motivation zur Entwicklung der Applikation im Anwendungsszenario wird in Kapitel 2.1 nach der Darstellung des Stands der Technik dargelegt. Das Kapitel 3 beschäftigt sich mit der Entwicklung und Gestaltung der Mensch-Maschine Schnittstelle. In Kapitel 4 wird der Zielzustand und Soll-Prozess im Unternehmen dargelegt und auf die einzelnen Funktionen der Applikation im Detail eingegangen.

2 Verwandte Arbeiten und Problemstellungen

Eine effiziente Handhabung flexibler Prozesse ist ohne unterstützende Systeme sowie die Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen kaum möglich (Reinhart et al., 2013). Cyber-physische Systeme (CPS), Manufacturing-Executive-Systems (MES) und Enterprise-Resource-Planning Systeme (ERP) dienen der Schließung von Medienbrüchen zwischen der physischen und der virtuellen Welt. Komponenten, die mit Sensoren, Aktoren und Rechenkapazitäten ausgestattet sind, übermitteln Informationen über sich selbst sowie ihre Umwelt an IT-Systeme, und stellen dadurch aktuelle und verständliche Informationen zur Verfügung. Diese Cyber-Physischen Systeme bieten die Möglichkeit, die Lücke zwischen der realen und der virtuellen Welt zu schließen (Lucke, 2013). Allerdings sind die Technologien im Bereich Industrie 4.0 noch nicht durchgängig in kleinen und mittelständischen Unternehmen verbreitet. (Steegmüller & Zürn, 2014).

Während der industriellen Produktion entsteht eine Vielzahl an Informationen, insbesondere produkt-, prozess- sowie projektbezogene Informationen. Für diese Art der Informationen existieren verschiedene Informationserfassungs- und Austauschmethoden. Im Shop Floor werden Informationen durch verbale, geschriebene oder computer-gestützte Kommunikation weitergegeben. Die am häufigsten verwendeten Anwendungen im Bereich Shop Floor sind Produktionsdatenerfassung (PDA), Maschinendatenerfassung (MDA), Shop Floor Programmierung (SFP) sowie NC Programmierungssysteme. Manche der Systeme haben sich historisch als isolierte Anwendungen entwickelt, ohne geeignete Schnittstellen, welche die Integration in weitere Systeme ermöglichen. Zusätzlich sind diese Systeme stationär und häufig nicht intuitiv bedienbar. Erklärtes Ziel der Forschung und Industrie ist eine konsistente, gemeinsame Nutzung der Daten und eine komplette Integration aller Systeme sowie eine einheitliche Struktur der Information um den Datenaustausch untereinander zu sichern (Neuschwinger, 2003).

2.1 Problembeschreibung und Motivation im Anwendungsszenario

Ausgehend von Projektierung, Entwurf und Konstruktion umfasst die Produktionstiefe im (Sonder-)Maschinenbau die Fertigung, Montage sowie die Inbetriebnahme. Wird während der Produktion die Notwendigkeit von Bauteiländerungen erkannt, können diese je nach Änderungsgrad durch Meister oder Projektleiter auf dem Shop Floor vorgenommen werden.

Die Bauteiländerungen werden heute oftmals noch handschriftlich auf den technischen Zeichnungen dokumentiert. Hinzu kommt, dass erst am Ende des Produktionsprozesses alle technischen Zeichnungen zeitgleich in die Konstruktion zur Erstellung der Gesamtdokumentation übergeben werden. Dadurch und dass die Änderungen handschriftlich vermerkt sind, ergeben sich einige Problemstellungen im Prozess. So verlängert sich die Zeit zur Fertigstellung der Gesamtdokumentation für den Kunden und dadurch die Projektdurchlaufzeit. Handschriftliche Änderungen erhöhen gleichzeitig das Risiko von Informationsverlusten zwischen Shop Floor und Top Floor sowie die Wahrscheinlichkeit von Folgefehlern bei der Konstruktion weiterer Sondermaschinen (Müller, 2017).

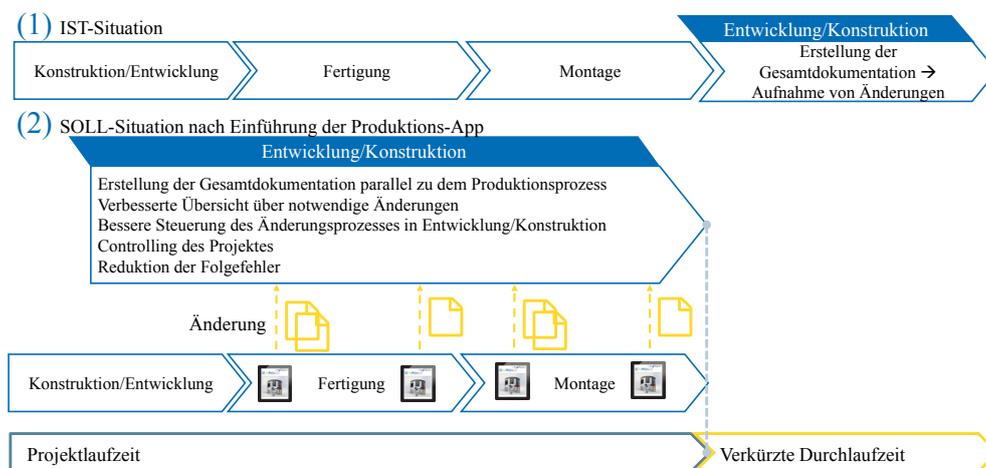


Abbildung 1: Ergebnisausblick und Optimierungspotenziale

Um der Problemstellung zu begegnen, wurde ein Informations- und Kommunikationstool (bestehend aus einer Produktions-App, Tablet-PC und einem Smart-Pen) entwickelt, welches an verschiedenen Organisationseinheiten und Unternehmensprozessen ansetzt, um die zuvor beschriebenen analogen Prozesse zu digitalisieren und Medienbrüche im Unternehmen zu vermeiden. Abbildung 1 zeigt die aktuelle Situation und das Ziel sowie die Vorteile die sich aus der Entwicklung und Implementierung der Applikation zur Vernetzung von Konstruktion und Produktion ergeben. Hervorzuheben ist die Reduzierung von Konstruktions- und Folgefehlern infolge der Parallelisierung sowie der Zeiteinsparung und verbesserten Kapazitätsplanung in Entwicklung/Konstruktion. (Müller, 2017)

3 Ausarbeitung der Mensch-Maschine Schnittstelle

Die vorliegende Entwicklung greift in eingespielte, dokumentierte und zertifizierte Unternehmensprozesse ein, sodass der Ausgangspunkt für die Entwicklung des mensch-zentrierten Systementwurfs eine IST-Analyse unter Nutzung von Wertstromanalyse, Workshops, Interviews und BPMN2.0 in interdisziplinären Projektgruppen ist. Zu diesen wurden Personen

aus den betroffenen Abteilungen (Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Produktion) eingebunden sowie Personen aus dem Bereich IT und Qualitätsmanagement/Audits. Aus den Ergebnissen der IST-Analyse und der abgeschlossenen Bewertung der Ergebnisse wurden Anforderungen und Restriktionen an das System und einer ergonomischen Mensch-Maschine Schnittstelle abgeleitet, deren Grundlage und Entwicklung im Folgenden beschrieben wird.

Die Applikation dient Mitarbeitern und Teamleitern dazu Änderungen an Bauteilen und Baugruppen in der Produktion unter Nutzung verschiedener multimodaler Funktionalitäten zu erfassen, zu digitalisieren und über einen vordefinierten Ablauf an die Konstruktion zu übermitteln. Ablauf und Funktionalitäten werden detailliert in Kapitel 4 beschrieben. Abbildung 2 zeigt das Design der Applikation, welches unter Beachtung verschiedener Gestaltungsrichtlinien entworfen wurde.

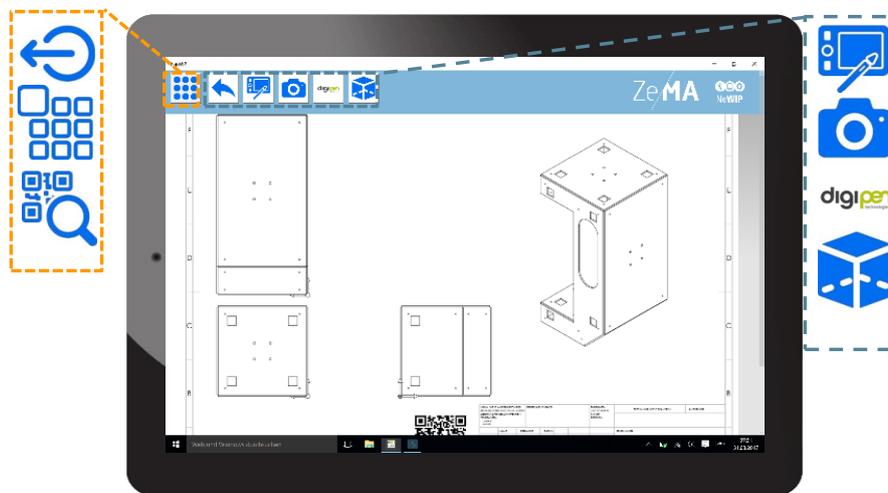


Abbildung 2: Interface der Produktion-App

Ausgangspunkt der Entwicklung ist ein Low-Fidelity-Prototype. Dieser ermöglicht es Gestaltungslösungen bereits in einer frühen Projektphase evaluieren zu können und ggf. frühzeitig notwendige Iterationsschleifen durchzuführen. Mit fortschreitender Realisierung ändern sich die Arten der Prototypen gemessen an ihrem Erstellungsaufwand. Ein Low-Fidelity-Prototype ist verhältnismäßig ressourcenschonend zu realisieren und ermöglicht eine zeitnahe und aufwandsarme Veränderung im Design. In einem ersten Schritt wurde zur Erstellung des Prototyps die Form des Bildschirms (Wildframes) herangezogen. Der Entwurf ist mit der Standardsoftware Microsoft Visio entstanden. Mit fortschreitendem Projektverlauf besteht der Bedarf an einem detaillierteren Prototyp, welcher die zu entwickelnde Applikation im Detail wiedergibt. Diese werden High-Fidelity-Prototypen genannt und weisen exakte Funktionalitäten und Struktur sowie das Design der zu entwickelnden Lösung auf. Zur Erstellung kann spezielle Prototypen-Software verwendet werden, im Anwendungsszenario wurde Axure eingesetzt. Axure ist ein interaktives Wireframing-Tool, welches Werkzeuge bereitstellt, um dem Entwickler die Möglichkeit zu bieten, App-Prototypen ohne Programmierung zu erstellen. Es wird ein interaktives und responsives Konzept geplant und gestaltet.

Darüber hinaus wird aus den Wireframes HTML- und CSS-Dateien exportiert und zur Entwicklung des eigentlichen Systems verwendet. Abbildung 3 stellt die iterative Ausdetaillierung der Applikation dar.

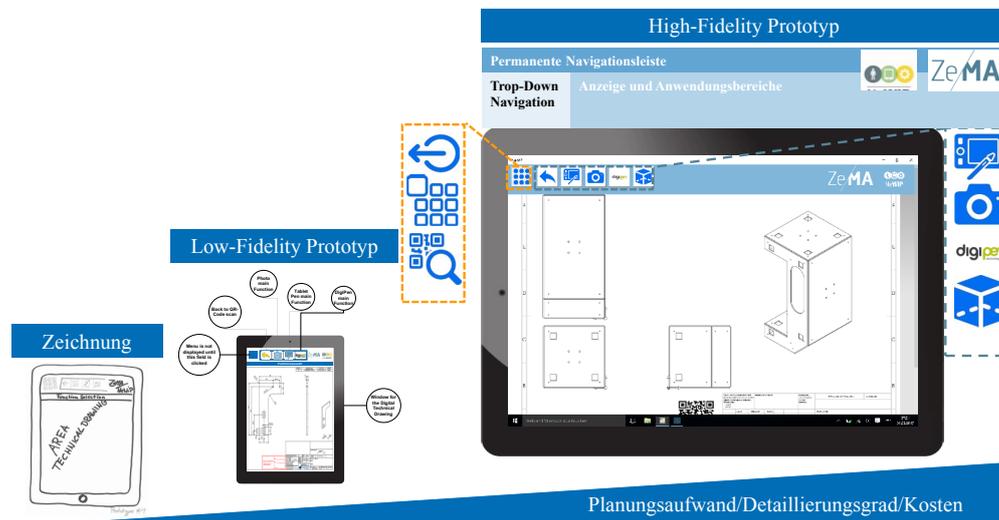


Abbildung 3: Gestaltung einer menschenzentrierten Mensch-Maschine Schnittstelle

In die iterative Entwicklung und Gestaltung der Applikation fließen neben den Anforderungen aus dem Anwendungsszenario auch Gestaltungsrichtlinien verschiedener Standards ein. Die Norm „ISO 9241-210 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion“ beschreibt den Prozess zur Gestaltung von interaktiven Systemen und bietet eine Orientierung bei der Dialoggestaltung. Die in der DIN EN ISO 9241-110 beschriebenen sieben Grundsätze der Dialoggestaltung, Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz und Individualisierbarkeit, dienen als Leitfaden für die Ausgestaltung der Benutzeroberfläche (Software) und fördern die Akzeptanz der Mitarbeiter. Eine gleichbleibende Benutzeroberfläche, Navigation sowie Auswahl an Kommunikationselementen sind ebenfalls entscheidende Ergonomiekriterien, welche nach etablierten Strukturen auszuwählen sind. Bei der Gestaltung werden u.a. die Gestaltungsrichtlinien aus DIN 66234, Teil 8 und ISO 9241, Teil 10 angewendet. Für die Applikation wird die dreiteilige Darstellung mit einer permanenten Navigationsleiste, einer Drop-Down Navigationsleiste und einem Anzeige- und Anwendungsbereich erarbeitet, siehe Abbildung 2 und 3. Aus den Daten der Blickverlaufserfassung identifizieren **OUTING** und **RUEL** diese Bereiche als Zonen, welche den höchsten Grad an Aufmerksamkeit von Anwendern geschenkt bekommen (Thesmann, 2010). Zur Navigation dient die Hyperlink-Navigationsstruktur als vorherrschende Verknüpfung. Die miteinander verknüpften Verzeichnisse weisen eine möglichst linear aufgebaute Struktur auf (Stapelkamp, 2007). Die Möglichkeiten zur Dialoggestaltung mittels Kommunikationselementen ergeben sich u.a. durch textuelle Dialoge, Push-Up-Menüs, Pull-Down-Menüs, Pop-Up-Dialoge und Menükaskaden. Zur Ausgestaltung des

Mensch-Maschine-Dialogs wurde ein Pop-Up-Dialogfenster, ein Push-Up-Menü und verschiedene Icons verwendet. Bei der text- sowie grafikorientierten Oberfläche gilt eine Informationsdichte von 25% als Richtwert. Icons ermöglichen es unter anderem, den Informationsgehalt einer Benutzeroberfläche möglichst gering zu halten. Die Icons müssen dabei unmissverständlich in ihrer Aussage sein. Das Piktogramm als Zeichensystem, bei welchem die grafischen Symbole einen Sachverhalt in einer vereinfachten, bildhaften Form beschreiben wurden bei der Entwicklung des Systems verwendet.

Zur Gewährleistung eines einheitlichen Erscheinungsbildes, Erleichterung der Einarbeitung sowie Navigation und zur Durchsetzung des Corporate Identity (CI) des Unternehmens/Instituts ist es ratsam einen Style-Guide zu erstellen. In diesem sind Richtlinien für eine einheitliche Bezeichnung, Formulierung, Sprachliste, Layout und Design von Texten und Kommunikationsmitteln festgehalten. Darüber hinaus werden technische und visuelle Aspekte für die Erstellung von Quellcodes für Programme oder Websites weiter festgeschrieben. Ein weiterer wesentlicher Faktor, der über die Akzeptanz eines Systems entscheidet ist die Performance/Geschwindigkeit, mit welcher das System auf eine Aktion des Benutzers antwortet oder benötigte Daten bereitstellt. Beeinflusst wird die Geschwindigkeit maßgeblich von der Datenbankstruktur und von der Wahl der Programmiersprache für die Realisierung des Systems. (Neuschwinger, 2003)

4 Anwendung und Funktionen der Applikation

Eine Restriktion, welche sich aus dem Anwendungsszenario ergibt, ist die weitere Verwendung der analogen technischen Zeichnung als Informationsträger auf dem Shop Floor. Um eine Digitalisierung und Änderungsnachverfolgung möglich zu machen ist daher der Zugriff auf einen digitalen Zwilling notwendig. In der Abbildung 4 wird der Soll-Ablauf im Unternehmen dargestellt. Ausgangspunkt dafür ist die Konstruktion (1), die mit unterschiedlichen CAD-Programmen arbeitet. Um einen digitalen Zwilling zu realisieren wird durch ein entwickeltes Plug-In in den jeweiligen CAD-Programmen ein Auto-ID Code (QR-Code) auf der digitalen technischen Zeichnung erzeugt. Der QR-Code ist ein Befähiger, um die analogen technischen Zeichnungen auf dem Shop Floor erfassen und den digitalen Zwilling der Zeichnung nutzen zu können. Darüber hinaus wird in der Konstruktion/Entwicklung ein sog. Dot-Paper erstellt, über welches eine weitere Form der Digitalisierung über den Smart Pen (DigiPen) bereitgestellt wird. Dementsprechend ist die technische Zeichnung mit zwei Auto-ID Codes zur Digitalisierung versehen. Über die Arbeitsvorbereitung werden die analogen Zeichnungen in die Produktion gegeben und dort eingeplant (2). Wird an einem Bauteil oder Produkt ein Fehler entdeckt (3), erfolgt eine Abstimmung mit Meister oder Projektleiter, wie mit den Änderungen zu verfahren ist (4). Anschließend werden die Änderungen am Bauteil umgesetzt und zur Dokumentation das Smart Device (Tablet PC) mit der Applikation verwendet (5). Mit der Applikation wird der QR-Code der analogen technischen Zeichnung eingescannt und der digitale Zwilling geladen. Mittels verschiedener multimodaler Funktionalitäten der Applikation können zusätzliche Informationen zum Bauteil/Produkt abgerufen und die notwendigen Änderungen dokumentiert werden. Die Informationen werden zur Änderungsnachverfolgung und zeitnahen Bearbeitung digital an die Konstruktion weitergeleitet

(6). Parallel zur angestoßenen Korrektur in der Konstruktion kann die Arbeit in Fertigung und Montage fortgesetzt werden.



Abbildung 4: Vernetzung von Produktion und Konstruktion im Rahmen einer Änderungsnachverfolgung

Dem Mitarbeiter stehen mehrere multimodale Funktionen zur Verfügung, die untereinander kombiniert werden können, um Informationen bedarfs- und anforderungsgerecht aufzunehmen: Tablet Pen, Foto aufnehmen, Smart Pen. Nachdem die Änderungen dokumentiert wurden, werden diese an die Entwicklungsabteilung weitergeleitet. Die Weitergabe der Information erfolgt durch die Sekundärfunktion Email senden. Dabei wird ein vorgefertigter Content erstellt, der alle wesentlichen Informationen (Verantwortlichkeiten, Priorität, Zeichnungsnummer, Projektnummer, etc.) sowie die Dokumentation in Form eines Bilder oder digitalen Zeichnung enthält. Die Abbildung 5 stellt die vier angesprochenen Funktionalitäten der Applikation dar, die nachfolgend erläutert werden.

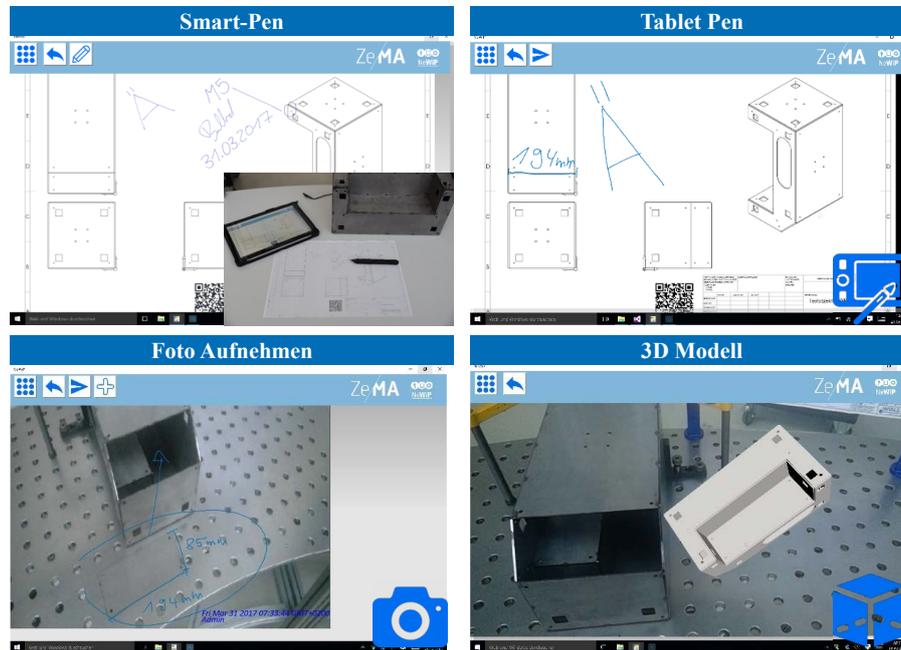


Abbildung 5: Multimodale Funktionalitäten zur Aufnahme und Weitergabe von Informationen zwischen Produktion und Konstruktion

QR-Scan: Der QR-Code wird verwendet, um die analoge Zeichnung durch Lesen des QR-Codes auf dem Tablet zu digitalisieren und enthält u.a. Informationen zur Technischen Zeichnung und dem Projekt, um eine eindeutige Identifizierung zu ermöglichen. Um zusätzlichen Arbeitsaufwand des Konstrukteurs zu verhindern, wurde ein Plug-In entwickelt, welches automatisch einen individuellen QR Code bei Knopfdruck generiert.

Tablet Pen: Mit dem Tablet Pen kann der Mitarbeiter technische Zeichnungen anpassen. Die durchzuführenden Änderungen können direkt in dem digitalen Zwilling der technischen vermerkt und dokumentiert werden.

Foto aufnehmen: Die Funktion „Foto aufnehmen“ erlaubt dem Mitarbeiter, Bilder der physischen Umgebung zu machen. Somit können Aufnahmen von Bauteilen und Produkten zur weiteren Dokumentation gemacht werden, um verschiedene Sachverhalte detaillierter darzulegen.

Smart-Pen: Die Smart-Pen Funktion ermöglicht es dem Mitarbeiter, handschriftliche Änderungen auf der analogen Zeichnung vorzunehmen und diese simultan durch den Smart-Pen zu digitalisieren. Wenn die Änderung abgeschlossen ist, sind die dokumentierten Änderungen auch in der digitalen technischen Zeichnung auf dem Tablet PC vorhanden. Der Smart Pen basiert auf dem Design und der Funktionsweise eines gewöhnlichen Kugelschreibers mit dem normal auf Papier geschrieben werden kann. Gleichzeitig aber, werden die handschriftlichen Informationen erfasst und aufgenommen, sobald auf das Anoto-Papier mit dem spezi-

ellen Dot-Muster geschrieben wird. Dazu ist in den Stift eine Kamera integriert. Der Stift zeichnet jede Information, die durch den Mitarbeiter gemacht wird, auf und leitet diese Daten an das Datenverarbeitungssystem weiter (Boldt & Pietsch, 2014). Die Daten werden solange im Stift gespeichert, bis sie via Docking Station an einen FTP Server weitergeleitet werden.

3D-Model: Diese Funktion dient hauptsächlich dazu, dem Mitarbeiter zusätzliche Informationen zum Bauteilaussehen oder der Montage zur Verfügung zu stellen. Bei Unklarheiten kann diese zusätzliche Darstellung genutzt werden.

Email senden: Die Kommunikation zwischen dem Mitarbeiter und der Konstruktion findet durch einen Standard-Email Account (Microsoft Outlook) statt. Ein Content-System ist in dieser Modul-Funktion integriert, sodass der Mitarbeiter keine Email verfassen muss und ein standardisierter Inhalt der Email sicher gegeben ist. Der Mitarbeiter hat die Möglichkeit, verantwortliche Personen, den Verantwortlichen für Änderungen und die Dringlichkeit der Änderungen durch zwei Dialogfenster zu definieren.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Shop Floor Informationsapplikation, welche aus einem Tablet-PC, Smart-Pen und einer Produktions-App besteht, wurde entwickelt um Änderungen auf dem Shop Floor in Echtzeit zu sammeln und zu dokumentieren und diese an die Konstruktionsabteilungen weiterzuleiten. Darauf aufbauend wurde eine ausführliche Prozess- und Informationsanalyse durchgeführt. Durch diese Analyse wurden relevante Geschäftsprozesse auf dem Shop Floor und dem Top Floor identifiziert. Auf Basis der Analyse des aktuellen Standes wurden die Anforderungen an die Applikation abgeleitet. Zur Systementwicklung wurde der Anwendungsfall in Form einer User Story dargestellt und das Problem im Detail ausgearbeitet. Darauf wurde ein prototypisches Konzept entwickelt. Unter Beachtung der Restriktionen und Gestaltungsrichtlinien wurde der Prototyp immer weiter verfeinert und in der Applikation umgesetzt.

Der nächste Schritt ist die Evaluation im Anwenderunternehmen mit einer prototypischen Version. Die Evaluation soll zunächst im realen Betrieb für ein ausgewähltes Projekt erfolgen und das Konzept sowie die Funktionen der Anwendung erprobt werden. Das Feedback der Mitarbeiter soll zu weiteren Entwicklungen und Verfeinerungen der Applikation führen, die begleitend und iterativ durchgeführt werden. Auf Basis der Diskussion mit anderen Firmen aus dem Bereich Maschinen- und Sondermaschinenbau sind zudem weitere Ideen zur Verbesserung der Applikation und verschiedener Abläufe entstanden, die ebenfalls im Projektverlauf in die Applikation einfließen werden.

Danksagung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Forschungsprojektes „NeWiP“, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) unter dem Förderkennzeichen 02P14B203 betreut wird.

Literaturverzeichnis

- Bildstein, A. & Seidelmann, J. (2014). *Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0- Fertigung*. In: Bauernhansl, T., Hompel, M. & Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg. S. 581 – 597.
- Boldt, R. & Pietsch, T. (2014). *Digital Pen & Paper*. Berlin: equbli.
- Cohn, M. (2004). *User Stories Applied – For Agile Software Development*. Boston: Pearson Education.
- Fischer, G. (2012). *Context-aware systems: the „right“ information, at the „right“ time, in the „right“ place, in the „right“ way, to the „right“ person*. In Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces. Capri Island: ACM New York. S. 287 - 294.
- Kletti, J. (2015). *MES – Manufacturing Execution Systems: Anforderungen an die Moderne Produktion*. Berlin: Springer.
- Lucke, D.-M. (2013). *Ad hoc Informationsbeschaffung unter Einsatz kontextbezogener Systeme in der variantenreichen Serienfertigung*, Dissertation, Universität Stuttgart.
- Müller, R. (2009). *Strategien und Trends in der Montagetechnik und -organisation*. Brecher, C. & Schlapp, L. (Hrsg.): Aachen. Apprimus-Verlag.
- Müller, R. et al. (2017). *Development of a lean information and communication tool to connect and digitize company departments in small and medium-sized enterprises*. In The thirteenth International Conference on Autonomous Systems. Barcelona: IARIA. S.79 - 85.
- Neuschwinger, A. (2003). *Multimediales, informationsbasiertes Arbeitsplatzkommunikationssystem*. Dissertation. Ruhr-Universität Bochum.
- Reinhart, G. et al. (2011). *Cyber-Physische Produktionssysteme: Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik*. In wt Werkstattstechnik online - Ausgabe 2-2013 Sonderheft Industrie 4.0. S 84 - 89.
- Schuh, G. et al. (2011). *Technology roadmapping for the production in high-wage countries*. In Production Engineering. Berlin Heidelberg: Springer. S. 463 - 473.
- Steegmüller, D. & Zürn, M. (2014). *Wandlungsfähige Produktionssysteme für den Automobilbau der Zukunft*. In Bauernhansl, T., Hompel, M. & Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg. S.103 – 119.
- Wohed, P. (2006). *On the Sustainability of BPMN for Business Process Modelling*. Berlin: Springer.
- Thesmann, S. (2010). *Einführung in das Design multimedialer Webanwendungen*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Stapelkamp, T. (2007). *Scen- und Interfacedesign – Gestaltung und Usability für Hard- und Software*. Berlin: Springer.