

# INTEGRATION MODERNER HMI-LÖSUNGEN IN DEN ALLTAG DES MASCHINENBAUS

Dipl.-Ing. Eric Bayrhammer, Dr.-Ing. Simon Adler, Dipl.-Inform. (FH) Matthias Kennel, Dipl.-Ing. Gerhard Krossing

## 1 Einleitung

Smart Devices, wie Tablets und Smartphones, bieten die gesamte Informationsfülle des Internet und erlauben durch vielfältige, speziell für den mobilen Einsatz entwickelte Applikationen und intuitive Bedienkonzepte den gezielten Zugriff auf Informationen. Gleichzeitig können ohne Umstände Multimediainhalte (Foto-, Video-, Sprachaufnahmen) erstellt werden. Sie finden daher seit mehreren Jahren steigendem Absatz [1], nicht nur im Verbrauchermarkt.

Diese Entwicklung beeinflusst auch den Maschinen- und Anlagenbau: In Anlehnung an die mobilen Geräte werden einerseits neue Bedienkonzepte für Multitouch-Displays an Steuerungen entwickelt [2] und andererseits finden Smart Devices mit entsprechenden Apps ihren Weg direkt in die produktive Anwendung [3]. Entsprechend wird prognostiziert, dass Anwender in der Fertigung perspektivisch zunehmend vereinheitlichte Bedienphilosophien vorfinden werden [4].

Bei Betrachtung des Marktes an industriellen Apps entsteht der Eindruck, dass der Schwerpunkt im anwendungsnahen Umfeld derzeit darauf liegt, klassische Mensch-Maschine Schnittstellen (Human-Machine-Interface (HMI)) zur Anlagensteuerung "mobil zu machen", das heißt deren Funktionalitäten auf einem mobilen Gerät abzubilden. Hier werden Vorteile für Fernwartung und Überwachung, aber auch für die Inbetriebnahme und weitere Anwendungsfälle gesehen. Die Vorteile und Möglichkeiten, die mobile Geräte als HMI mit sich bringen, sind damit jedoch längst nicht ausgeschöpft.

Mit diesem Beitrag wird an konkreten Beispielen von Eigenentwicklungen des IFF gezeigt, wo die Mehrwerte über das "Mobilmachen" hinaus liegen. Ein Schwerpunkt ist dabei die Integration mobiler Geräte als HMI in Workflows bei der Montage und beim Betrieb von Anlagen. Bei der Montage wird die Werkerassistenz und Dokumentation betrachtet, beim Betrieb die Fehlerlokalisierung und Problemlösung an der Anlage. Diese Themenbereiche setzen die Integration der HMI-Lösungen in einen umfassenden und vernetzten Datenbestand voraus. Dies ist der zweite Themenschwerpunkt dieses Beitrags.

## 2 Workflowintegration

Das Thema Workflowintegration wird in zwei Abschnitte gegliedert. Der erste Abschnitt befasst sich mit Assistenz

und Dokumentation bei der Montage. Dabei geht es zunächst um die allgemeine Unterstützung der Mitarbeiter bei komplexen Workflows während der Bedienung von Geräten und Anlagen. Anschließend werden die Möglichkeiten zur Dokumentation begleitend zu Arbeitsprozessen beschrieben, da hier ein großes Potential besteht Aufwände deutlich zu verringern und die Qualität der Dokumentation zu steigern [5]. Abschließend werden weitergehende Anwendungsmöglichkeiten umrissen.

Im zweiten Abschnitt wird speziell das Thema Fehlerlokalisierung, als erster Schritt zur Problemlösung beim Betrieb von Anlagen, behandelt. Hier wird gezeigt, wie der Mitarbeiter im Fehlerfall an einer Anlage unterstützt wird und welche technischen Forderungen sich daraus ergeben.

### 2.1 Montage - Assistenz und Dokumentation

#### 2.1.1 Das System

Wie einleitend beschrieben, können Informationen mit Smart Devices zur Verfügung gestellt, aber auch einfach erfasst werden (Foto, Video). So wird es möglich integrierte Assistenz- und Dokumentationssysteme zu schaffen. Vor diesem Hintergrund wurde zusammen mit der VAKOMA GmbH ein solches System entwickelt und implementiert [6]. Die VAKOMA GmbH bietet Lösungen im Bereich schwerer Zementgetriebe an. Außerdem führt sie die komplexe Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit verschlissener Getriebe durch (Rehabilitation). Unter anderem werden dabei Lagergassen nachgefräst, was eine präzise Messtechnik und spezielle eigenentwickelte Methoden und Sondermaschinen erfordert. Dabei sind Art und Umfang des Getriebeverschleißes und die konkreten Situationen vor Ort sehr unterschiedlich. Das entsprechende Know-How und die Erfahrung unterliegen daher einem stetigen Wandel und ständiger Weiterentwicklung. Der Einsatz der Rehabilitationsverfahren erfolgt international. Hierbei ist bisher der Transport der Sondermaschine und der erforderlichen Experten zum entsprechenden Einsatzort erforderlich. Perspektivisch sollen die hierbei entstehenden Kosten durch weitere Teams in den jeweiligen Einsatzländern reduziert werden.

Es besteht daher eine besondere Notwendigkeit das erforderliche Expertenwissen strukturiert zu erfassen und für zukünftige Projekte und alle internationalen Experten situations- und anwendergerecht zur Verfügung zu stellen.

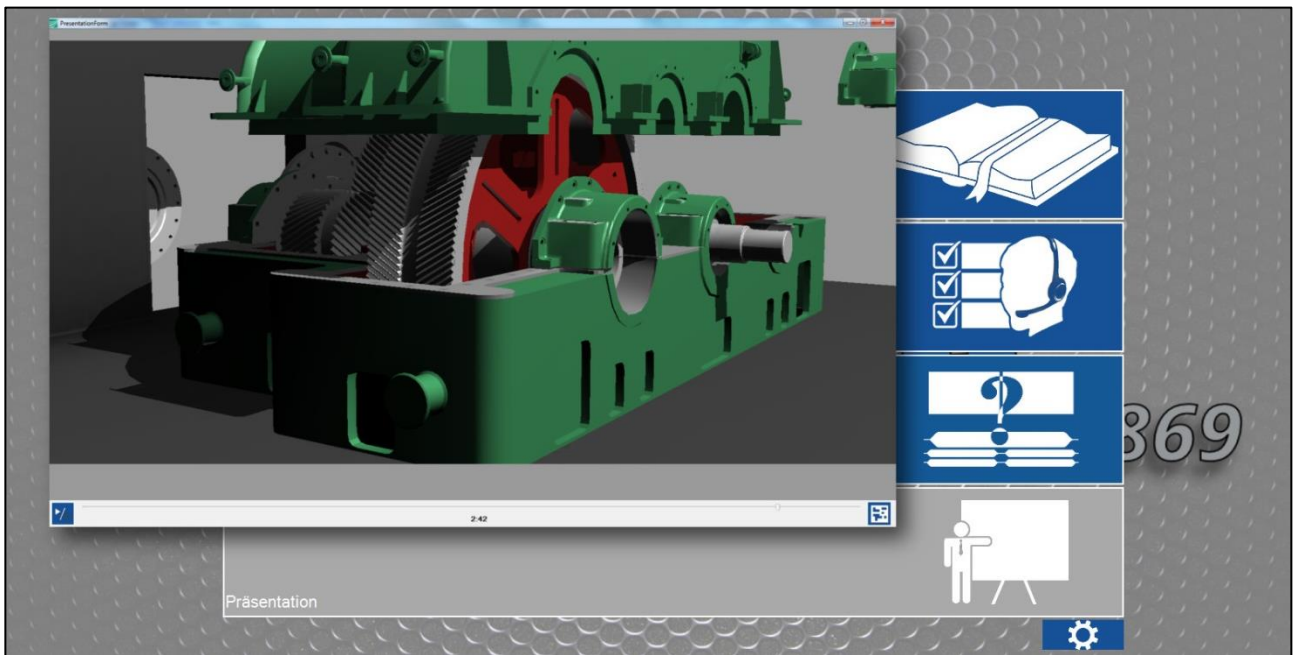


Abbildung 1: Oberfläche Assistenzsystem mit VR-Darstellung eines Montageprozesses an einem Großgetriebe (Vordergrund) und den Menüoptionen für Schulung, Assistenz, Quiz und Präsentation (Hintergrund)  
Bild: Simon Adler / Fraunhofer IFF

Das Assistenz- und Dokumentationssystem besteht aus einem Autoren- und einem Anwenderprogramm. Mit dem Autorenprogramm werden die Inhalte für das Assistenzsystem durch einen Experten zusammengestellt, strukturiert und editiert. Das Anwenderprogramm enthält die Assistenz- und Dokumentationsfunktionalitäten für den Einsatz vor Ort.

Die Assistenz erfolgt über Text-, Bild- und Videoinformationen, Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) sowie beliebige sonstige Dokumente. Diese Inhalte sind so strukturiert, dass sie den Arbeitsabläufen entsprechen. Sie sind i.d.R. angemessen knapp und übersichtlich gehalten und werden nach und nach mit jedem Arbeitsschritt freigeschaltet. Der Abschluss eines Arbeitsschrittes wird vom Nutzer durch Eingabe bestätigt.

### 2.1.2 Dokumentation

Die Dokumentation, durch Erfassung von Wissen und Daten, erfolgt während der Arbeiten vor Ort auf mehreren Ebenen:

- Automatische Aufzeichnung
- Abfrage von Prozessparametern
- Eingabe von Erfahrungswissen

Mit der Eingabe von Erfahrungswissen entscheidet der Werker aktiv, dass bestimmte Erkenntnisse oder Ereignisse aus der aktuellen Arbeit festgehalten und dokumentiert werden müssen. Das können bisher nicht dokumentierte, spezielle Vorortsituationen sein (z.B. Anbauten/Änderungen an einer Anlage, die nicht dem Standard

entsprechen), entsprechende Entscheidungen und Abweichungen vom Standardworkflow. Diese Informationen könnten grundsätzlich auch mit einem Protokoll, d.h. Stift und Papier oder auch mit einem Laptop festgehalten werden. Ein Vorteil der Smart Devices liegt im einleitend beschriebenen Erstellen von Multimediainhalten. Damit können Beschreibungen, die ansonsten in Textform erfolgen, verkürzt und gleichzeitig die Verständlichkeit erhöht werden. Das so erfasste Erfahrungswissen steht zunächst parallel zu den regulären Inhalten des Assistenzsystems, zugeordnet zu den konkreten Arbeitsschritten zur Verfügung. Nach dem Arbeitseinsatz werden die Informationen im Rahmen der Auswertung gesichtet und in die regulären Inhalte eingepflegt.

Während der Arbeiten mit dem Assistenzsystem werden Prozessparameter erhoben. Das heißt es werden bestimmte Daten zur Eingabe durch den Werker abgefragt (z.B. Messergebnisse aus den Messungen an den Lagergassen). Diese Daten werden für die automatisierte Dokumentationserstellung verwendet. Dafür wird im Vorhinein mit dem Autorensystem festgelegt, welche Informationen vom Werker während seiner Arbeit einzugeben sind. Ergänzend werden Regelsätze definiert, um diese Werte automatisch zu validieren. Mit der Abfrage dieser Daten im Anwenderprogramm können notwendige Parameter/Messwerte während der Arbeiten nicht übersehen, oder vergessen werden und müssen auch nicht mehr manuell übertragen werden. Das heißt die Protokolle sind bei Übergabe an den Kunden vollständig und Fehlerquellen wurden reduziert, was einen gewissen Grad an Sicherheit gibt. Mit der automatischen Validierung können

Abweichungen von den erwarteten Situationen sofort erkannt und ergänzend durch den Bediener kommentiert werden. Zum einen ist dies bei situationsbedingten Mehraufwänden für die Rechnungslegung beim Kunden relevant. Des Weiteren identifizieren solche Auffälligkeiten neues Know-How sowie ggf. Potentiale für die Weiterentwicklung der Methoden und der Sondermaschine für zukünftige Einsätze.

Mit der automatischen Aufzeichnung von Daten wird die Protokollierung weiter vereinfacht, indem Arbeitsprotokolle automatisiert generiert werden. Dadurch wird der Mitarbeiter entlastet und kann sich mit der eigentlichen Durchführung der Arbeiten befassen.

Alle erfassten Informationen können gemeinsam vom Team nach einem Arbeitseinsatz ausgewertet werden. Relevante Informationen werden dabei überarbeitet, ergänzt und mit dem Autorenprogramm in die regulären Inhalte des Systems eingepflegt. Im Einsatz aufgenommene Bilder und Videos werden hierbei direkt weiterverwendet.

### **2.1.3 Weitergehende Nutzung**

Mit dem Autorenprogramm lassen sich die konkreten Inhalte flexibel gestalten und strukturieren. Daher wurde geprüft inwieweit der Einsatzzweck des Anwenderprogramms über die Montage- und Wartungsassistenz hinaus erweiterbar ist. Naheliegende Themenbereiche sind die Schulung von Mitarbeitern sowie die Vertriebsunterstützung. Die Einbindung dieser Bereiche erforderte zusätzliche Funktionalitäten, zu denen nachfolgend eine Übersicht gegeben wird.

Für die Vertriebsunterstützung können kundenindividuelle Präsentationen aus den vorhandenen Medieninhalten zusammengestellt werden. Diese müssen im Anwenderprogramm lediglich als Favoriten markiert und in die gewünschte Reihenfolge sortiert werden. Zur Präsentation beim Kunden sind diese Inhalte direkt zugreifbar, sodass nicht auf die Assistenzfunktionalität und die für die Assistenz erforderlichen Detailinformationen zugegriffen werden muss.

Für Schulungszwecke werden die Inhalte im Autorenprogramm, mit den gleichen Methoden wie Assistenzinhalte, jedoch vor didaktischem Hintergrund aufbereitet und ergänzt. Das betrifft vor allem die Texte. Medieninhalte werden zum großen Teil wiederverwendet. Im Anwenderprogramm kann der Nutzer frei durch die Schulungs-

inhalte navigieren. Ein schrittweises Freischalten und Bestätigen wie bei den Assistenzinhalten entfällt hier. Zur Überprüfung des Schulungsstandes wurde ein Quizmodul integriert. Hier beantwortet der Nutzer eine definierte Anzahl von Fragen (Multiple Choice). Für einen Lerneffekt, auch beim Quiz, werden direkt nach Beantwortung einer Frage die richtigen und falschen Antworten markiert. Am Ende folgt eine Auswertung in Form einer Tabelle, welche die Anzahl der korrekt beantworteten Fragen, gegliedert nach Themengebieten, anzeigt. Die Definition der Fragen und Antworten erfolgt über das Autorenprogramm.

## **2.2 Betrieb - Fehlerlokalisierung und Ursachenanalyse**

### **2.2.1 Assistenz**

Auch während des Betriebs von Maschinen und Anlagen leisten mobile Geräte eine entscheidende zusätzliche Unterstützung. Schon bei mittelgroßen Anlagen (ca. 20 bewegte Achsen) steht der Bediener im Fehlerfall vor einem Problem. Auf dem Bedienpanel der Anlage wird zwar eine Fehlermeldung angezeigt, damit ist jedoch die Komponente (Sensor, Ventil, Pneumatikzylinder, Getriebe, Kabel usw.), von welcher der Fehler ausgeht, weder identifiziert, noch in der Anlage lokalisiert, ganz abgesehen von konkreten Ansätzen zur Problemlösung. Hier heißt es in der Regel Dokumentationen zu studieren, um zunächst einmal die Fehlermeldung zu interpretieren.

Das Ziel der Arbeiten des IFF ist daher ein mobiles Gerät mit der Steuerung zu koppeln, um so die "Interpretation" des Fehlers automatisiert durchzuführen und den Bediener zu leiten.

Zur Problemlokalisierung betrachtet der Bediener die Anlage durch das Kamerabild des Smart Devices. Dabei wird die Komponente, welche den Fehler auslöste automatisch live im Kamerabild markiert (Abbildung 2, gelbe Markierung) auch während sich der Bediener um die Anlage und auf die Komponente zu bewegt (Augmented Reality). Der Bediener wird so zielgerichtet zum spezifischen Problembereich geleitet. Die Markierung kennzeichnet neben dem Fehlerort, durch ein Piktogramm, auch Fehlerart oder -komponententyp. Für die Lokalisierung des mobilen Gerätes in Bezug zur Anlage wurde im abgebildeten Beispiel mit ID-Markern (BCH-Marker) an unbeweglichen Teilen der Maschine gearbeitet. Diese sind zueinander kalibriert und im Assistenzsystem hinterlegt.



Abbildung 2: Tablet als HMI zur Fehlerlokalisierung und Problemlösung; Fehlerauslösende Komponente durch Augmented Reality lagesynchron mit gelbem Icon markiert; Anleitung zur Problemlösung rechts  
Foto: Daniela Martin / Fraunhofer IFF

Um die Ursache des Problems nun weiter eingrenzen zu können, benötigt der Bediener weiterführende Informationen. Dazu gehört zunächst die zielgerichtete, kontextbezogene Assistenz, äquivalent zu den Beschreibungen in Abschnitt 2.1. Das bedeutet der Bediener wird angeleitet, welche konkreten Komponenten, in welcher Reihenfolge und wie, auf Fehler zu prüfen sind, welche Sicherheitsvorgaben dabei zu beachten sind etc. Bei der Abarbeitung der einzelnen Schritte entsteht automatisch ein Fehlerprotokoll, welches auf Wunsch an den Support des Anlagenherstellers, oder andere verantwortliche Personen gesendet werden kann. Weiterhin sind Kontaktdaten zu Ansprechpartnern auf mehreren Ebenen, d.h. global für die Anlage und lokal hinsichtlich der konkreten Komponenten, hinterlegt. Gleiches gilt für weiterführende Dokumente (Wartungs- und Serviceunterlagen etc.).

Um die beschriebene Assistenz zu gewährleisten, müssen konkreten Fehlerzuständen die Informationen zugewiesen werden, die ein Anlagenbediener benötigt, um diese bearbeiten zu können. Weiterhin muss die Bereitstellung dieser Informationen im Prozess sichergestellt werden, was nicht allein mit der Kopplung des mobilen Gerätes an eine Steuerung gelöst ist. Hierfür ist die Integration, bzw. Kopplung an eine entsprechende Datenbasis notwendig.

## 2.2.2 Fehleranalyse

Eine wesentliche Grundlage für ein solches System besteht in dem Wissen, wie Fehler von Komponenten der Anlage im Steuerungssystem erkannt werden. Die Erkennung von Fehlern in ereignisgesteuerten SPS-Programmen erfolgt über Signale, die unterschieden werden in:

- Sensorsignale: interne (z.B. Erreichen einer Endlage) und externe (z.B. Anwesenheit eines Teils) Sensorsignale; bestimmte Sensorsignale können dabei Fehlerzustände anzeigen (z.B. Motorstromüberwachung);
- Zeitsignale: technologische Zeitsignale (z.B. Abwarten einer bestimmten Fertigungszeit) und Zeitüberwachungssignale, sog. Time-out, d.h. eine erwartete Ausführungszeit wird überschritten, was i.d.R. einen Fehlerzustand impliziert

Die Fehlererkennung ist jedoch erst in einer längeren logischen Kette mit der eigentlichen Problemursache verbunden. Zur Illustration soll hier das Verrutschen eines Induktiven Näherungsschalters eines Pneumatikzylinders dienen. Das Verrutschen führt dazu, dass die Endlage einerseits zu früh und nicht dauerhaft, andererseits gar nicht gemeldet wird. Beide Fehlerfälle werden erst dadurch zu einem Problem, dass der technologische Ablauf, welcher von dem sicheren Erreichen der Endlage ausgeht, stehen bleibt und einen Überwachungszeitfehler auslöst. Aus Sicht der Steuerung basiert der Fehler auf dem fehlenden Zustandsübergang im Technologiekonzept. Die Information, dass der defekte Näherungsschalter Grund für das Problem ist, kann nicht ohne weiteres von der Steuerung erzeugt werden. Damit dem Nutzer die korrekte Problemstelle gezeigt werden kann, sind folgende Schritte notwendig:

- Analyse des Technologiekonzeptes, in Form des Steuerungscode, auf Gründe für das Auslösen der Zeitüberwachung
- Identifikation der ursächlichen Komponente durch Traversierung der funktionalen Zusammenhänge

Erster Schritt der Fehleridentifikation ist das Finden der kritischen Variablen im Steuerungssystem, die verhindern, dass der Ablauf weiterläuft. Dazu wird der aktuell abgearbeitete Steuerungscode analysiert und für jeden Zustand werden die nötigen Weiterschaltbedingungen extrahiert. Meldet nun ein Zustand eine Zeitüberwachung, werden die Istwerte aller Weiterschaltbedingungen für diesen Zustand ausgewertet und die Variablen identifiziert, welche für die Blockierung ursächlich sind. Mit den Adressen dieser Variablen kann nun die Suche nach den Ursachen beginnen

Dabei kann im Allgemeinen nicht direkt von einer SPS-Adresse auf eine dahinter stehende Komponente geschlossen werden: In der Hardwarekonfiguration wird die Adresse auf eine intelligente Baugruppe (z.B. Siemens ET200S) gemappt und anschließend über diverse Klemmleisten verdrahtet. Weiterhin können andere Komponenten (z.B. Ventil), die nicht zu der identifizierten SPS-Adresse verbunden sind, ursächlich für das Problem sein. Das heißt für eine weitere Analyse sind Informationen über die funktionalen Zusammenhänge zwischen den Komponenten notwendig.

### 3 Integration in die Datenbasis

Wie im vorangegangenen Abschnitt festgestellt, ist der Zugang zu weiterführenden Informationen und somit die Integration in eine Datenbasis benötigt, um Assistenz und Fehleranalyse durchführen zu können. Entsprechend der gestellten Forderungen muss sie funktionale Zusammenhänge zwischen den Anlagenkomponenten sowie Problemlösungsstrategien für konkrete Fehlerfälle enthalten. Der vom IFF eigenentwickelte Engineering Model Linker (EMELI) [7] bildet unter anderem diese Funktionalitäten ab. Er bietet folgende Schlüsselfunktionen für das durchgängige virtuelle Engineering [8]:

- Bündelung von Informationen, verschiedenster Engineeringssysteme
- Anwendungsübergreifender Aufbau semantischer Bezüge zwischen Informationen
- Durchgängige Bereitstellung von Informationen
- Konsistenzsicherung, auch bei iterativen Entwicklungsschritten

EMELI bietet Mechanismen, um die relevanten, anwendungsspezifischen Informationen in einer Datenbank abzulegen und sie dort zu den Daten anderer Anwendungen in Beziehung zu setzen. So entsteht eine globale Sicht auf die Maschine und ihre Komponenten, über die Grenzen der einzelnen Entwurfssysteme hinweg (vgl. Abbildung 3).

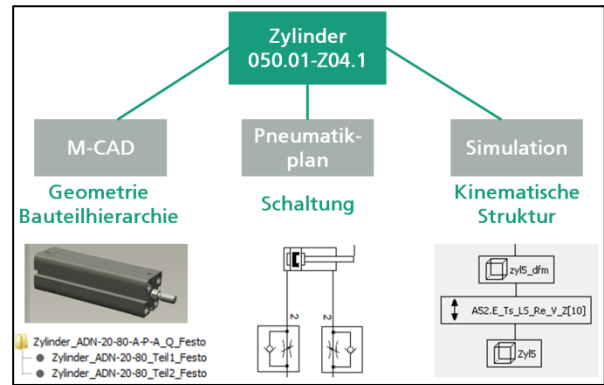


Abbildung 3: Beispiel Pneumatikzylinder - Globale Sicht über EMELI auf die Informationen aus verschiedenen Applikationen  
Bild: Eric Bayrhammer / Fraunhofer IFF

Bei Verwendung dieser Datenbasis, idealerweise schon während der Entwicklung der Anlage, liegt die globale Sicht auf die relevanten Informationen zu den Komponenten der Anlage strukturiert vor. Bei Anbindung einer Fehlerdatenbank an EMELI, die konkrete Fehlerfälle, ihre Lösung und weiterführende Informationen enthält, können die Fehler und Fehlerklassen mit den in EMELI hinterlegten Komponenten verknüpft werden. Somit kann direkt auf alle zugehörigen Informationen zugegriffen werden (konkrete Komponentenbezeichnung, funktionale Zusammenhänge, BMKs, Wartungs- und Servicedokumente etc.).

Bezogen auf das vorher umrissene Szenario (Abschnitt 2.2.2) stehen so die Zusammenhänge zwischen dem Näherungsschalter, dem Zylinder und dessen Ventilen sowie dem SPS-Symbol zur Verfügung. Dies erlaubt die Identifikation von 3 Problemfällen mit örtlichem Bezug:

- Näherungssensor X ist defekt,
- Zylinder Y klemmt,
- Ventil Z schaltet nicht oder hat keinen Druck.

Damit wird das Lokalisieren und Markieren der Komponenten mit dem verwendeten Smart Device und die folgende Assistenz bei der Fehlerdiagnose ermöglicht.

### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde gezeigt, wie Smart Devices als HMI in den Alltag des Maschinenbaus eingebunden werden können, welche Möglichkeiten sich durch die Technologie ergeben und welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um dieses Potential zu nutzen. Ziel war es zu zeigen, dass sich durch den Einsatz von Smart Devices als HMI zusätzliche Mehrwerte ergeben. Dabei sollen herkömmliche HMIs zur Anlagenbedienung nicht ersetzt, sondern ergänzt werden, um so neue Funktionalitäten zur Verfügung zu stellen.

Als Smart Devices können neben klassischen Smartphones und Tablets auch zunehmend Head-Mounted Displays

(HMD) eingesetzt werden. Hierbei bekommt der Bediener erforderliche Informationen in ein Brillensystem eingeblendet, so dass die Hände weitestgehend frei sind und seine Primärtätigkeiten weniger gestört werden [9].

Die Informationen der Wissensdatenbank können nur Handlungsstrategien für bekannte Störfälle bereitstellen. Daher sollen Methoden entwickelt werden, um bei Bedarf einen Experten über eine Telekonferenz zuzuschalten. Dieser Experte kann dem vor Ort tätigen Bediener über ein virtuelles Anlagenmodell gezielt Detailinformationen zur Verfügung stellen, die mit dem HMD in das Sichtfeld eingeblendet werden. So kann das Personal vor Ort dabei unterstützt werden auftretende Fehler direkt unter Anleitung der Experten zu beheben, wodurch Service- und Ausfallzeiten beim Anlagenbetrieb reduziert werden sollen.

## 5 Fördervermerk

Teile der beschriebenen Arbeiten wurden durch Mittel des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Sachsen-Anhalt (Projekt De-VIP: 1204/00095, Projekt AGENS: 1304/00110) unterstützt.

## 6 Literatur

- [1] „Pressemitteilung: Tablet Shipments Forecast to Top Total PC Shipments in the Fourth Quarter of 2013 and Annually by 2015“, IDC - Analyze the Future, 11-Sep-2013. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS24314413>. [Zugegriffen: 28-Mai-2014].
- [2] „Video ‚Konzeptstudie Multitouch‘ - Bedien- und Beobachtungssysteme - Siemens“, 29-Nov-2012. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.automation.siemens.com/mcms/automation/de/human-machine-interface/seiten/konzeptstudie-multitouch.aspx>. [Zugegriffen: 28-Mai-2014].
- [3] M. Feldmann, „Marktübersicht Apps in der Automatisierung - all-electronics.de“, All-Electronics.de, 07-Jan-2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.all-electronics.de/texte/anzeigen/52926/Marktuebersicht-Apps-in-der-Automatisierung>. [Zugegriffen: 27-Mai-2014].
- [4] M. Happacher, „Nachgehakt bei Prof. Claus Oetter: Mobile Geräte in der Fertigung“, computer-automation.de, 06-Mai-2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.computer-automation.de/steuerungsebene/bedienen-beobachten/artikel/108144/>. [Zugegriffen: 28-Mai-2014].
- [5] O. Ganschar, S. Gerlach, M. Hämmerle, T. Krause, und S. Schlund, Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013.
- [6] S. Adler, „Schritt für Schritt geleitet“, IFFocus, Nr. 1/2014, S. 32–35, 2014.
- [7] Eric Bayrhammer, Sebastian Möser, Matthias Kennel, und Ulrich Schmucker, „Durchgängige Produktentwicklung im Sondermaschinenbau für kleine und mittlere Unternehmen“, in 11. Magdeburger Maschinenbau-Tage, Magdeburg, 2013.
- [8] E. Bayrhammer, „EMELI - Durchgängige Produktentwicklung im Sondermaschinenbau für KMUs“, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, 2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/virtual-engineering/emeli.html>. [Zugegriffen: 10-Juni-2014].
- [9] F. Saxen, O. Rashid, A. Al-Hamadi, S. Adler, A. Kernchen, und R. Mecke, „Image-Based Gesture Recognition for User Interaction with Mobile Companion-based Assistance Systems“. 2012.