



Ralph Stelzer (Hrsg.)

# ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung  
und Konstruktionstechnik



Ralph Stelzer (Hrsg.) **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN** 2016  
Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik



Ralph Stelzer (Hrsg.)

# **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN** 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung  
und Konstruktionstechnik

Dresden · 30. Juni – 1. Juli 2016

## **Programmkomitee Virtuelle Produktentwicklung und Konstruktionstechnik**

Prof. Dr. Ralph Stelzer, TU Dresden

Prof. Dr. Michael Abramovici, Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. Reiner Anderl, TU Darmstadt

Prof. Dr. Martin Eigner, Universität Kaiserslautern

Prof. Dr. Detlef Gerhard, TU Wien

Prof. Dr. Jivka Ovtcharova, KIT Karlsruhe

Prof. Dr. Rainer Stark, TU Berlin

Prof. Dr. Sandor Vajna, Universität Magdeburg

Prof. Dr. Sandro Wartzack, Universität Erlangen

Entwickeln – Entwerfen – Erleben 2016.  
Beiträge zur Virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik  
Herausgeber: Ralph Stelzer

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind  
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek  
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche  
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the  
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 978-3-95908-062-0

© 2016 w.e.b. Universitätsverlag & Buchhandel  
Eckhard Richter & Co. OHG  
Bergstr. 70 | D-01069 Dresden  
Tel.: 0351/47 96 97 20 | Fax: 0351/47 96 08 19  
<http://www.tudpress.de>

TUDpress ist ein Imprint von w.e.b.

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.  
Layout und Satz: Technische Universität Dresden.  
Umschlaggestaltung: TU Dresden, Illustration © 2016 TU Dresden  
Printed in Germany.

Erscheint zugleich auf QUCOSA der SLUB Dresden  
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-203878>



© 2016 SAP SE oder ein SAP-Konzernunternehmen. Alle Rechte vorbehalten.



# KOMPLEXITÄT DREHT SICH IMMER NUR IM KREIS.



# EINFACH TRIFFT ENTSCHEIDUNGEN.

Komplexität bremst Ihr Business aus. Denn je gewaltiger die Informationsflut, desto schwieriger die Entscheidungsfindung. SAP arbeitet daran, Dinge zu vereinfachen. Damit aus Daten Wissen und aus Wissen fundierte Entscheidungen werden, die Ihr Unternehmen weiterbringen. Finden Sie heraus, wie gemeinsam einfach möglich wird auf [sap.de/runsimple](http://sap.de/runsimple)

**SAP**  
Run Simple



# Augmented Reality Assistenzsystem mit graphenbasierter Zustandsanalyse für Produkte im Internet der Dinge

Matthias Neges · Mario Wolf · Michael Abramovici

## Einführung

Durch die Vernetzung von Produkten im Internet der Dinge / Internet of Things (IoT) und die damit einhergehende Verfügbarkeit von Daten, können nicht nur Produkte selbstständig agieren, reagieren und Aktionen auslösen, sondern auch externe Empfänger die von ihnen gelieferten Daten auswerten und für zusätzliche Services nutzen (Eisenhauer 2007, Abramovici et al. 2014). Dies birgt unter Anderem enorme Potentiale bei der Instandhaltung von technischen Anlagen (Wohlgemut 2007). Diese Anlagen oder Produktionsstätten sind in aller Regel komplexe Systeme, die aus einer heterogenen Landschaft von Subsystemen bestehen. Ohne vorhergehende Kenntnisse einer Maschine ist die Analyse oder Überprüfung solcher Systeme schwierig bis unmöglich. Weiterhin stehen die technischen Dokumentationen und Wartungshistorien bei solchen Tätigkeiten häufig nicht vollständig oder nur in Papierform vor Ort zur Verfügung, während der aktuelle Status der Anlage nicht mit den vorhandenen Informationen überlagert werden kann.

In diesem Paper wird ein Ansatz vorgestellt, der es mittels Sensordaten der zu wartenden Anlage und graphenbasierten Algorithmen ermöglicht, kontextabhängige Anweisungen, Hinweise und Warnungen zu geben, die für das technische Personal bei ihrer aktuellen Aufgabe relevant sind (Neges et al 2015). Neben dem Konzept der Extraktion von Daten aus von IoT- und PLM-Systemen wird nachfolgend ein Ansatz für die graphenbasierten Modellierung von funktionellen Abhängigkeiten in smarten Systemen und die Verknüpfung mit den Sensorwerten des smarten Produkts vorgestellt. Anschließend wird eine Mobilapplikation konzeptioniert, die die so gewonnenen Auswertungsergebnisse in geeigneter Weise visualisiert. Eine kontextsensitive Unterstützung eines Wartungsprozesses mit Augmented Reality (AR) beispielsweise ermöglicht bei einem komplexen Rohrleitungssystem eine Reduzierung der Arbeitszeit um bis zu 55% und halbiert gleichzeitig die Fehlerrate (Hou 2013) AR ermöglicht eine intuitive Darstellungs-

methode für die Visualisierung von Fehlerstellen Echtzeit-Betriebsdaten. Sie ermöglichen somit statt einer schrittweisen Anleitung in Papierform eine interaktive Problemlösung, die abhängig ist vom tatsächlichen Zustand des smarten Produkts.

Als Ergebnis wird eine prototypische Lösung, bestehend aus einem graphenbasierten Funktionsanalysemodul, Authentifizierung des Servicetechnikers durch Near Field Communication (NFC) und einer AR-Anwendung zur Unterstützung der Instandhaltungsmaßnahme vorgestellt. Da die Potentiale des Einsatzes von RFID-Identifikation und Augmented Reality Applikationen in Wartungsprozessen bereits aufgezeigt werden konnten (Abramovici et al. 2014, Neges et al. 2015), fokussiert der vorliegende Beitrag das dynamische Datenmodell und dessen Anwendung für innovative Services.

Der hier vorgestellte Ansatz wurde unter Laborbedingungen anhand eines hydraulischen Systems validiert und stellt die Vorarbeit für eine industrielle Fallstudie dar.

## **Ziele und Anforderungen**

In Anlehnung an Neges et al. 2015 soll das Konzept um die Infrastruktur zur Datenversorgung der damals als Logikmodell bezeichneten Komponente erweitert werden. Zusätzlich soll der Ansatz nicht mehr die fehleranfällige (Finkenzeller, 2002) händische Erfassung von Zuständen beinhalten, sondern direkt Sensordaten zur vorliegenden Maschinen auswerten können.

Ziel der Erweiterung des Konzepts ist die Einbringung von Informationen aus verschiedenen Quellsystemen wie Product Lifecycle Management (PLM) und Computerized Maintenance Management Systemen (CMMS). Zusammen mit der Möglichkeit Live-Sensordaten für die Auswertung des aktuellen Maschinenzustands nutzen zu können ergibt sich daraus das Potential zur dynamischen Ausgabe von Hinweisen und Warnungen in der Darstellung als Augmented Reality Applikation im Wartungseinsatz (White 2007). Weiterhin sollen weiterführende elektronische Dokumentationen und 3D-Ansichten der betroffenen Bauteile zur Verfügung gestellt werden. Da diese 3D-Daten für eine Overlay-Darstellung der AR Applikation zur Verfügung stehen, können diese ebenfalls für einen kamerlosen Modus eingesetzt werden, sollte sich die Wartung in einer Kameraverbotszone abspielen.

Nach Abschluss einer Wartung soll eine automatische Dokumentation und Arbeitsnachweiserstellung dem Wartungspersonal möglichst viel handschriftliche Erfassungsarbeit sparen. Die anschließende Synchronisation von Mobilapplikation und Integrationsplattform ermöglicht weiterhin die effiziente Datenverwaltung und Feedbackrückführung für Daten, die über die nor-

male handschriftliche Erfassung hinausgehen. So können Maschinen- oder Bauteilspezifische Daten an den Hersteller, bzw. Servicedienstleister rückgeführt werden um z.B. die Verschleißvorbereitung zu verbessern, oder Produktnutzungsdaten in der Produktentwicklung der Nachfolgeneration zu nutzen.

Sind alle Voraussetzungen für die Benutzung des AR-Assistenzsystems gegeben, aber die eingepflegte Maschine weist noch keine Sensoren auf, so unterstützt die Assistenzfunktion für die Erweiterung von Maschinen den Techniker bei der Anbringung und Einrichtung der neuen Sensorik. Besonders interessant ist hier drahtlose Sensorik, z.B. auf Basis des Zigbee Standards (IEEE 802.15.4) oder Radio Frequency Identification (RFID) nach ISO 14443 und ISO 18000-6C.

Als Konsequenz aus der gewünschten Funktionsweise muss eine aktive Internetverbindung für die Kommunikation mit der Integrationsplattform bestehen, um auf die „Echtzeitbetriebsdaten“ und Problemlösefunktionalitäten zugreifen zu können.

## Konzept

Das vorgestellte Konzept gliedert sich in die folgenden Hauptbereiche:

- Unternehmensweite Systeme und Sensoren
- Integrationsplattform
- AR-Wartungs-Assistenzsystem

Im Bereich der unternehmensweiten Systeme befinden sich die Datenquellen für den Aufbau der Datenbasis der Integrationsplattform. Dabei werden vor allem die Daten aus PLM und CMMS für die Bereitstellung von Bestandsdaten benötigt. Neben der Extraktion von Daten aus den bestehenden Systemen werden die Schnittstellen genutzt um wichtige Feedbackinformationen aus den Instandhaltungsprozessen zurück in die unternehmensweiten Systeme zu leiten. Somit wird sichergestellt, dass die unternehmensweiten Systeme die führende Datenbasis haben und auf dem aktuellsten Stand sind.

Für die Betriebsdaten werden sowohl Sensordaten von individuellen Maschinen als auch weitere externe Dienste, wie z.B. Wetterdienste, Verfügbarkeitsdaten oder ähnliches hinzugezogen. Diese Daten dienen als Parameter für die durchführbaren Analysen auf dem im Funktionsanalysemodul hinterlegten Modell.

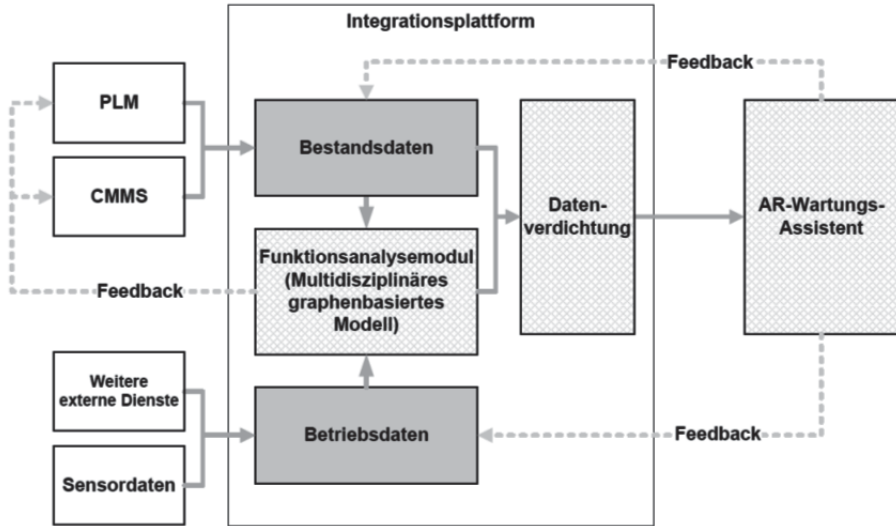


Abbildung 1: Konzept

Sowohl die Datenhaltung der Bestands- und Betriebsdaten für die erweiterten Funktionalitäten des hier beschriebenen Assistenzsystems als auch das Funktionsanalysemodul selbst werden in der sogenannten Integrationsplattform hinterlegt. Diese Plattform soll als Cloud-Lösung über eine Internetverbindung verfügbar gemacht werden. Im Funktionsanalysemodul werden mechanische, elektrische, hydraulische und logische Zusammenhänge abgebildet und verknüpft, die dynamisch ausgewertet und erweitert werden können. Durch die Überführung von bestehenden Datenstrukturen in ein zusammengeführtes Modell werden Zusammenhänge in komplexen Systemen algorithmisch auswertbar. Hierzu geben Daenzer und Huber in (Daenzer und Huber 2002) zu bedenken: „Es ist daher wichtig, dass die Modelle im Hinblick auf die Situation und die Problemstellung genügend aussagefähig sind. Dies bedeutet, dass bei allen Überlegungen die Frage nach der Zweckmäßigkeit und der Problemrelevanz zu stellen ist.“

Das Augmented Reality Assistenzsystem ist als Applikation für Mobilgeräte konzipiert und unterstützt das Wartungspersonal vor Ort mit den Funktionalitäten, die die Integrationsplattform zur Verfügung stellt.

### Integrationsplattform

Den Kern der Integrationsplattform bildet das sogenannte Funktionsanalysemodul. Dieses gliedert sich wiederum in drei Teile:

- Die Graphdatenbank
- Die hinterlegten Funktionen/Algorithmen
- Die Schnittstellen für den Zugriff auf die Funktionen

Wie auch Harrison (Harrison 2015) anführt, liegt die Stärke der Graphdatenbanken besonders bei den Anwendungsfällen, bei denen die Verknüpfungen von Elementen wichtiger sind als die Elemente selbst. Während in den unternehmensweiten Systemen die besonders die Verwaltung von Nutzdaten im Vordergrund steht, wird die Graphdatenbank als externer Speicher genutzt um die für die Wartung wesentlichen Informationen aus den vorhandenen Systemen zu extrahieren, aggregieren und dynamisch für Servicetechniker auswertbar zu machen. Um die Komplexität der Modellgenerierung (vgl. Vajna et al. 2009) beherrschen zu können, werden die Domänen die beim Aufbau der Graphdatenbank beteiligt sind auf Produktstrukturen, elektrische, pneumatische und hydraulische Netzwerke beschränkt. Das Modul *Betriebsdaten* sorgt für die Einspeisung der z.B. Sensordaten in das Funktionsanalysemodul. Hierbei werden sowohl aktuelle, als auch historisch aggregierte Daten zur Verfügung gestellt.

Es soll verdeutlicht werden, dass für die Funktionsweise dieses Ansatzes die folgenden Grundüberlegungen in Anlehnung an Harrison, Daenzer und Huber gelten:

- Um welche *Dinge* dreht sich die geplante Tätigkeit? Welche Dinge sind bei der geplanten Tätigkeit betroffen?
- Welche *Verbindungen* bestehen zwischen diesen Dingen?
- Kann man *Regeln* identifizieren, um Verbindungen zwischen Dingen algorithmisch auszuwerten?

Überführt man nun diese Grundgedanken in die Welt der Graphentheorie, sind folglich Dingen als Knoten darstellbar. Für die Abbildung von Verbindungen zwischen den einzelnen Dingen werden entsprechend Kanten verwendet. Knoten und Kanten können jeweils über Eigenschaften verfügen. Constraints stellen die notwendigen Regeln für die Validität von Verbindungen sicher.

Ein Beispiel für die Umsetzung dieser Ordnung ist in Abbildung 2 dargestellt. Es soll der Zusammenhang zwischen verschiedenen hydraulischen Komponenten, deren validen Verbindungen und damit auch den entsprechenden Regeln anhand eines übersichtlichen Beispiels verdeutlicht werden. Die Knoten vom Typ *Fitting* dürfen, dem Muster folgend, ausschließlich ausgehende Kanten vom Typ *verbindet hydraulisch*, die die Typen *Ventil*, *Schlauch*, *Rohr*, *Pumpe* oder *Ventil* als Ziel haben. Die Klassifizierung der in der Wartung relevanten Bauteile richtet sich zunächst nach den Produkteigenschaften und nicht nach den Produktmerkmalen (vgl. Weber 2005). Es

sollen besonders die Eigenschaften gewählt werden, die vom Techniker vor Ort möglichst schnell und sicher identifiziert werden sollen, wie z.B. die Zuordnung zu einer funktionalen Gruppe wie „Pumpe“ oder „Rohr“.

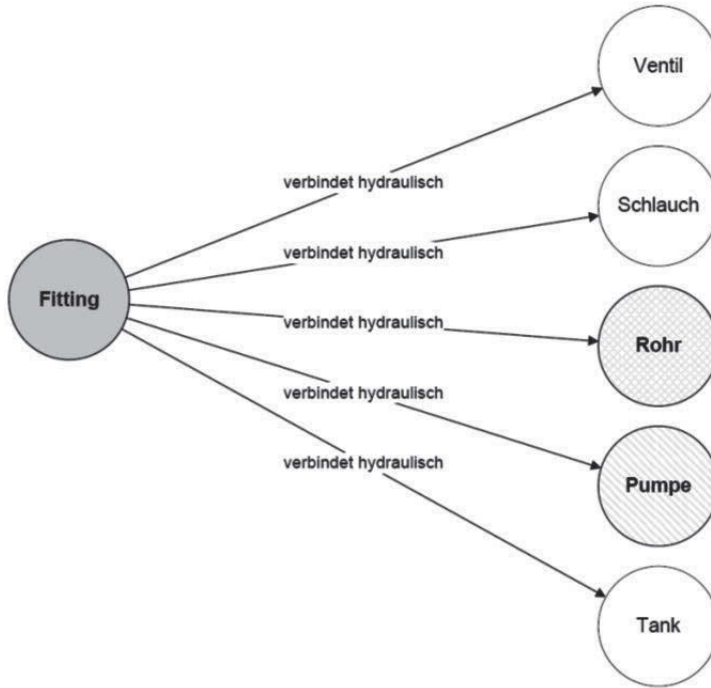


Abbildung 2: Knotenklassen und Beziehungen

Die nächste Stufe im Aufbau der produkteigenschaftenbasierten Graphenrepräsentation besteht in der Modellierung von Klassen und in der Einordnung dieser Klassen in Hierarchien, die in den jeweiligen Sparten relevante Daten darstellt. Daraus ergeben sich die folgenden Sichten auf das Datenmodell

- Hierarchie der Knotenklassen
- Hierarchie der Kantenklassen
- Constraints zwischen Knoten und Kanten
- Daraus resultierende Ontologie
- Gesamtansicht des Graphen mit Instanzen der Knoten- und Kantenklassen

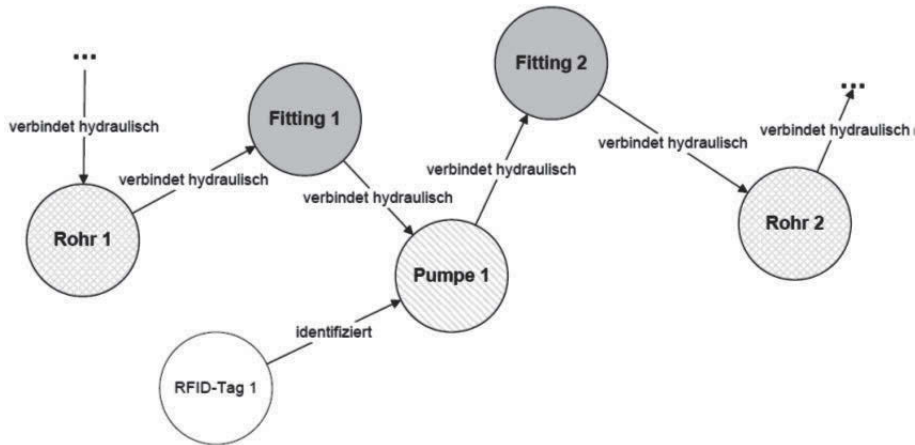


Abbildung 3: Beispielpfad durch den Graphen

Um eine möglichst genaue Identifikationsfähigkeit zu gewährleisten wurde die Klassifizierungen von Bauteilen vorgenommen, die die Bauteil-Funktion im Kontext der Wartung beschreibt. Der gleiche Vorgang wurde für die Beziehungen von Bauteilen durchgeführt und für die entsprechenden Constraints, um zu verhindern, dass es Fehleingaben gibt. Eine Verknüpfung eines elektrischen Bauteils als Ziel eines hydraulischen Flusses wird somit ausgeschlossen.

Die mit Constraints versehenen Klassen bilden das Grundgerüst für das Funktionsanalysemodul, und ermöglichen damit alle relevanten Objekte für den Wartungsprozess in einem Graphen abbilden zu können. Betrachtet man nun die tatsächlichen Repräsentationen im Graphen, wie in Abbildung 3 zu sehen, wird ersichtlich, wie die Klassifizierung bei der Traverse eines Graphen helfen kann. Z.B. kann ein Pfad durch ein hydraulisches System gefunden werden, wenn nur Knoten abgelaufen werden, die vom korrekten Typ und mit der richtigen Klasse von Kanten verbunden sind. Sind Ausgangspunkt und Ziel bekannt, ist auch ohne weitere Eigenschaften an Kanten oder Knoten des Graphen eine Wegfindung möglich. Das Hinzufügen von solchen Informationen ermöglicht aber natürlich präzisere Ergebnisse, bzw. konkretere Schlüsse.

Eine hinterlegte Funktion im Funktionsanalysemodul könnte z.B. die folgende Fragestellung beantworten: *Gibt es im Kühlkreislauf X hydraulische Bauteile mit auffälligen Messwerten?*

Zur Beantwortung dieser Frage müsste der Pfad durch den Graphen von Kühlkreislauf X nachverfolgt werden und alle nächsten Nachbarn der hydraulischen Knoten, die Sensoren sind, in die Auswertung mit einbezogen werden. Da diese Sensoren wiederum Verknüpfungen zu Benachrichtigungsknoten haben und diese Verknüpfungen mit Grenzwerten versehen sind, kann individuell auf die jeweiligen Sensorwerte eingegangen werden.

#### Augmented Reality Wartungsassistent

Die Autoren publizierten bereits die Beschreibung eines graphenbasierten Wartungsassistenzsystems für Smart Devices in Neges et al. 2015. Das dort entwickelte Konzept für eine Augmented Reality App wurde an die neuen Gegebenheiten angepasst (z.B. den bereits bekannten aktuellen Maschinenzustand) und soll erweitert werden durch neue Funktionen um die aufgeführten Anwendungsfälle abzudecken.

Die Notwendigkeit der ersten Anpassung tritt dann zu Tage, wenn die Arbeit nicht im eigenen Werk vollzogen wird, sondern Dienstleister Wartungen bei Kunden vornehmen. Die Räumlichkeiten der Kunden unterliegen unter Umständen Reglementierungen zur Video-Aufzeichnung und Datenschutz, bzw. es herrscht generelles Film- und Fotografierverbot. Um eine Augmented Reality Applikation, die in ihrem Kern abhängig von einem Kamerabild ist, nutzen zu können, müssen einige Vorkehrungen getroffen werden. Komponenten einer Augmented Reality Applikation sind in die Kategorien *Darstellung*, *Tracking* und *Interaktion* (Tönnis 2010) einzuteilen. Der virtuelle Teil der augmentierten *Darstellung* besteht dabei grundsätzlich aus digitalen 3D-Modellen. *Tracking* bezeichnet im Umfeld von Augmented Reality die Lagebestimmung von sowohl dem Nutzer (bzw. dem erfassenden Gerät) als auch von markanten Merkmalen und Gegenständen im Raum. Dies kann durch verschiedene Verfahren erreicht werden, die die Autoren in (Koch et al. 2014) betrachteten. Die Möglichkeiten der Interaktion im AR-Umfeld sind vielfältig und umfassen sowohl Marker-Basierte Eingaben, Motion Tracking oder simple Touchgesten auf dem Display des Smart Devices (Tönnis 2010). Diese Komponenten lassen sich allerdings auch nutzen, um eine Applikation zu erstellen, bzw. in einem alternativen Betriebsmodus zu setzen, der nicht mehr eine augmentierte Realität anbietet, sondern steuerbare 3D-Ansicht des zu wartenden Produkts. Dabei wird statt der durch das AR-Framework errechneten relativen Positionierung zu einem Marker oder einem erkannten Kantenmodell, das in Smart Devices in aller Regel verbaute Gyroskop zur Ausrichtung des 3D Modells genutzt. Alternativ kann die 3D-Drehung auch durch Gesten gesteuert werden.



Die zweite Erweiterung bezieht sich auf die Assistenzfunktion für die Ergänzung von Maschinen um neue Sensorik und basiert auf den folgenden Annahmen:

- Die Maschine ist bekannt und voll in der Integrationsplattform und den vorgelagerten Systemen hinterlegt
- Der Sensortyp ist bekannt und im Integrationsplattform hinterlegt
- Der Sensor (oder das Sensormodul) ist eindeutig vor Ort identifizierbar
- Die Einbindung des Sensors in die lokale Infrastruktur kann technisch tatsächlich „on-the-fly“ erfolgen

Das System der graphenorientierten Auswertung einer vorliegenden Maschine ist natürlich massiv abhängig von den in der Integrationsplattform hinterlegten Algorithmen, bzw. nach außen angebotenen Funktionalitäten. Unter den oben angegebenen Annahmen kann eine Einbindung eines neuen Sensors in eine bereits bestehende Anlage mit den folgenden Schritten durchgeführt werden:

1. Identifikation der Anlage
2. Identifikation der Anbringungsstelle (implizit: konkretes Bauteil an dem montiert werden soll)
3. Identifikation des Sensors
4. Montage und Bestätigung der Montage
5. Bestätigung der Konnektivität des Sensors
6. Nutzung des Assistenzsystems mit den neuen Sensordaten

Im Zuge der Nutzung des Assistenzsystems wird die Anlage eindeutig identifiziert (Abramovici et al. 2014), was Schritt **1.** in der Praxis nicht separat nötig macht. Die Auswahl der Anbringungsstelle ist allerdings kritisch für diesen Prozess. Durch die Verwendung von Augmented Reality ist es möglich in der Applikation ein Bauteil per Touch-Geste zu markieren und auch auf diesem Bauteil die Anbringungsstelle zu identifizieren (Schritt **2.**). Wird die Applikation im kameralosen Modus betrieben, beeinträchtigt dies den Prozess nicht, da auch in der regulären 3D-Ansicht auf dem Smart Device Bildschirm die Position des Sensors bestimmt und ausgewählt werden kann. Die Identifikation des Sensors soll, wie auch schon bei der Anlage, durch RFID erfolgen. Dies birgt mehrere Vorteile, wie z.B. die eindeutige Identifikation jedes einzelnen Sensors, die Unempfindlichkeit gegenüber Verschmutzung und auch die Nutzung von sogenannten RFID-Sensor-Tags. Smart Devices weisen häufig eine Near Field Communication (NFC), bzw. ISO 14443 und ISO15693 kompatible Schnittstelle auf, die genutzt werden kann um direkt von der Sensor-ID auf dessen Typ zu schließen und die individuelle Sensorinstanz mit der vorher markierten Bauteilinstanz im Gra-

phen zu verbinden. Hierbei ist keine manuelle Bearbeitung des Graphen nötig, da die vorher hinterlegten Sensormodule automatisch an der korrekten Stelle instanziiert werden.

Ist der Sensor montiert und einsatzbereit (Schritte **4.** und **5.**) kann die automatisch im hinterlegten Graphen erzeugte Verknüpfung mit sofortiger Wirkung in der Analysefunktion genutzt werden (Schritt **6.**). Die für die Auswertung relevanten Knoten sind beispielhaft in Abbildung 4 aufgeführt.

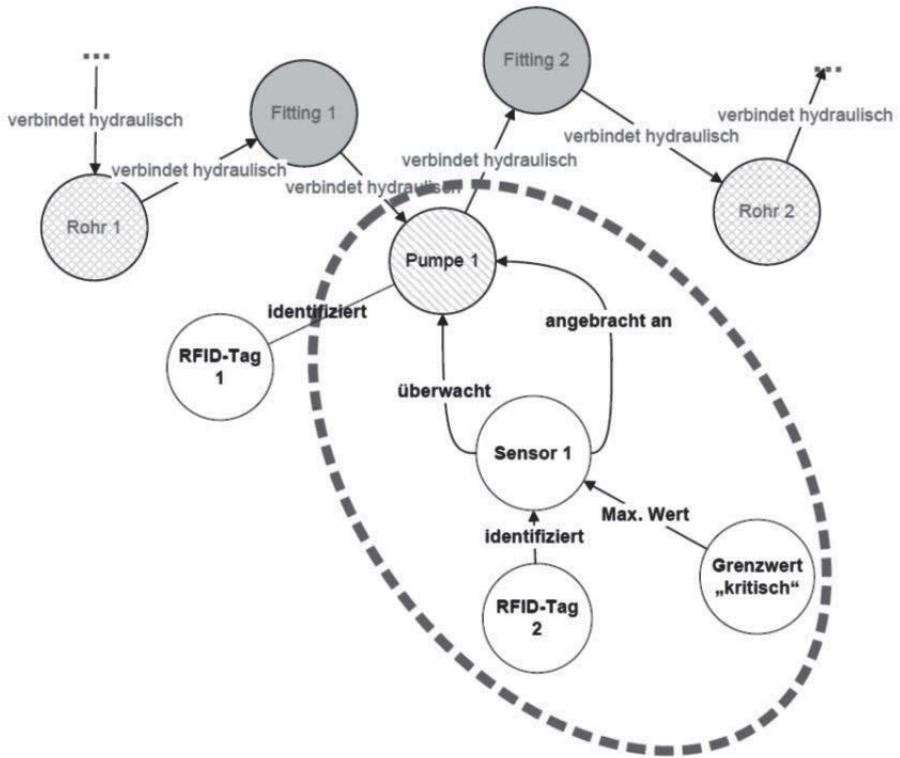


Abbildung 4: Dynamische Erweiterung des Graphen

## Prototypische Implementierung und Validierung

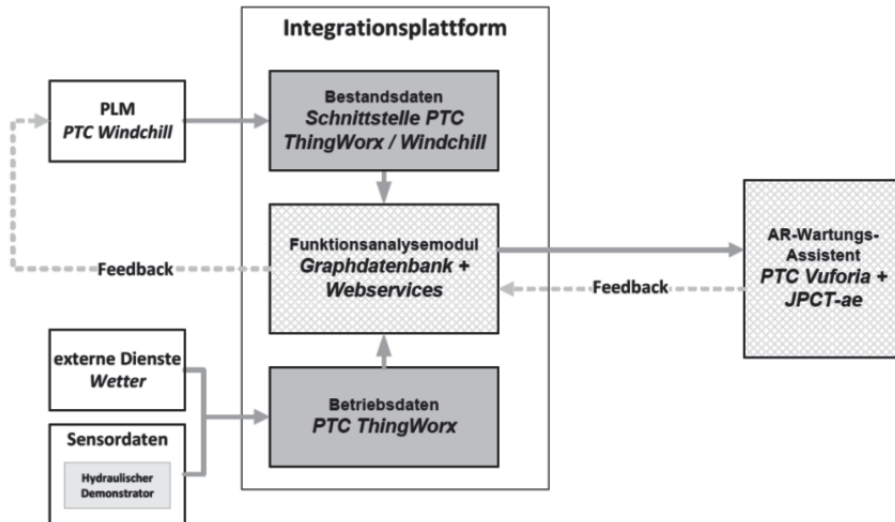


Abbildung 5: Durchgeführte Implementierung

Für die prototypische Implementierung wurden die im Folgenden näher erörterten Rahmenbedingungen für den Laborversuch festgelegt.

Das bestehende hydraulische System wurde um Sensorik erweitert, um den Maschinenzustand automatisiert erfassen zu können. Dafür wurden zum einen Sensormodule konstruiert und gefertigt, die die Hebelstellungen der Ventile erfassen und so die Unterscheidung zwischen geöffneten und geschlossenen Ventilstellung, sowie dem unsicheren Zustand dazwischen erfassen zu können. Darüber hinaus wurden die beiden angebrachten Pumpen durch Relais schaltbar und abrufbar verkabelt. Die Steuerung übernimmt ein Raspberry Pi 2 auf Basis eines selbst entwickelten Webservice-Protokolls. Damit sind die Sensordaten des hydraulischen Demonstrators über die entsprechend vereinbarte Schnittstelle für die Integrationsplattform verfügbar.

Die Konstruktionsdaten wurden für spätere Verwendung in PTC Windchill hinterlegt. Durch den sogenannten Connector lassen sich Windchill-Daten in der IoT-Plattform PTC ThingWorx abrufen. ThingWorx ist außerdem in der Lage auf einige vorgefertigte Wetterdienstanbieter zuzugreifen und die Daten je nach eingegebener GPS-Koordinate abzurufen.

Die Integrationsplattform teilt sich nun in zwei Komponenten auf. Die Verwaltung von Produktinstanzdaten erfolgt in PTC ThingWorx, die Verwaltung der semantischen Daten in der auf einem separaten Webserver befindlichen OrientDB Server. Die gewünschten Funktionen wurden als Javascript User Function in der Graphdatenbank hinterlegt und per PHP-Webservice-Implementierungen für andere Komponenten zugänglich gemacht.

Das hydraulische System verfügt über einen digitalen Zwilling (Rosen et al. 2015) in PTC Thingworx, d.h. alle auf diese spezielle Produktinstanz bezogenen Daten (Betriebsdaten und z.B. Austauschteile etc.) werden hier verwaltet. Zusätzlich wird eine Struktur in der Graphdatenbank angelegt, die dem später geplanten automatisierten Import der Produktstruktur entsprechen soll. Im Rahmen der prototypischen Implementierung wurde diese Arbeit händisch durchgeführt, um die Funktionsweise zu prüfen und die dynamische Erweiterbarkeit zu evaluieren, statt den Fokus auf den Importvorgang aus bestehenden Modellen zu legen. Im Prototypen wurde grundsätzlich eine lose Kopplung der Komponenten über Webservices auf XML-Basis angestrebt und umgesetzt, um eine größtmögliche Flexibilität zu erhalten.

Die Augmented Reality Applikation wurde mit PTC Vuforia und der 3D-Engine JPCT-ae umgesetzt. Diese greift direkt auf die implementierten Webservices des Funktionsanalysemoduls zu, anstatt, wie im Konzept aufgezeigt, den Umweg über die IoT-Plattform zu gehen. Auch an dieser Stelle wurde zugunsten der Funktionalität auf die geplante Auslegung der Architektur verzichtet.

Das vorher vorgestellte Konzept (vgl. Abbildung 1) wurde wie Abbildung 5 dargestellt implementiert und anhand zweier Use-Cases evaluiert.

#### Einbindung eines Sensormoduls in die bestehende Maschine

Um die dynamische Erweiterbarkeit zu demonstrieren, wurde ein RFID-Sensormodul mit Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor an Pumpe 1 des hydraulischen Testsystems angebracht und mit Hilfe der Assistenzfunktion der AR-Applikation in das Datenmodell eingebunden.

Die Assistenzfunktion greift nach Schritt **3** „Identifikation des Sensors“ auf eine Funktion des Funktionsanalysemoduls zu und erzeugt die dem Sensortyp „Telid-422“ entsprechende Datenstruktur mit den korrekten Verknüpfungen zu Pumpe 1. Wie in Abbildung 6 ersichtlich gehören zwei Sensoren zu je einem Sensormodul, welches über eine eindeutige Identifikation verfügt. Die Sensoren überwachen jeweils das Bauteil, welches mechanisch mit dem Sensormodul verbunden ist (hier Pumpe 1).

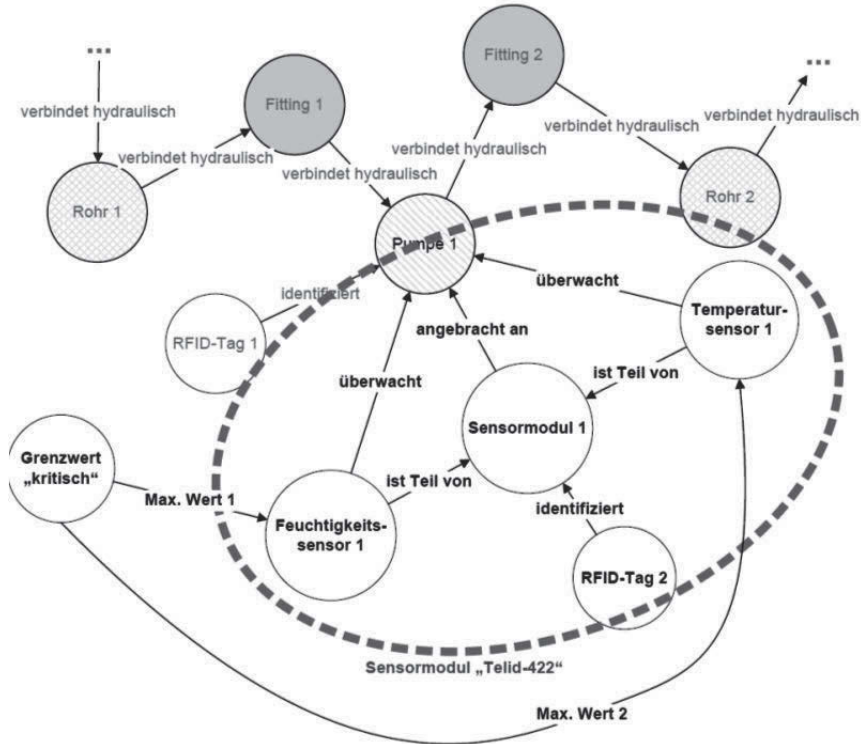


Abbildung 6: Dynamische Erweiterung um konkretes Sensormodul

### Auslösung einer Benachrichtigung

Tritt in einem überwachten System eine Zustandsänderung auf, die einen Grenzwert überschreitet, werden automatisch die im aktuellen Kontext relevanten Warnungen, Hinweise etc. für den jeweiligen Techniker eingeblendet. Das wie in Abbildung 6 dargestellte Konstrukt ist direkt nach der Ausführung des Assistenten produktiv und kann genutzt werden.

Im Zuge der Nutzung dieser speziellen RFID-Sensoren erfolgt die Auswertung nach manuellem Abruf der Messwerte, die dann im Funktionsanalysemodul gegengeprüft werden und anschließend bei einer Grenzwertübertretung eine Meldung ausgeben. Diese Meldung wurde provoziert, indem der Grenzwert für die maximal zulässige Temperatur von 50°C auf 5°C gesenkt wurde, die in unseren Räumlichkeiten glücklicherweise stets überschritten wird.

## Fazit

Der vorliegende Beitrag zeigt die Potentiale des graphenbasierten Ansatzes für kontextsensitive Auswertung von Betriebsdaten, sowie für die Unterstützung für die sofortige funktionale Einbindung von Sensorik vor Ort. Die in den vorherigen Arbeiten vorgestellten Ansätze wurden deutlich erweitert und in einem Laborversuch validiert.

Die zukünftige Forschungsaktivität wird die vorgestellte prototypische Implementierung in einen durchgängigen Prozess einbetten und um die früheren Phasen der Entstehung des semantischen Datenmodells erweitern. Anschließend soll der gesamtheitliche Ansatz in einer industriellen Fallstudie auf seine Praxistauglichkeit geprüft werden zu können.

## Literaturverzeichnis

- Eisenhauer, M., Oppermann, R. & Prinz, W. 2007: Internet der Dinge. Springer-Verlag, Heidelberg, Deutschland, ISBN 978-3-540-36729-1
- Abramovici, M., Göbel, J.-C., & Neges M. 2014: Smart Engineering as enabler for the 4th Industrial Revolution. Berkeley, 6th International Conference on Integrated Systems Design and Technology, ISDT'14, USA, 26 March 2014.
- Wohlgemut, W. & Friedrich, W. 2007: Advanced Augmented Reality Technologies for Industrial Service Applications ARTESAS. BMBF-Leitprojekt ARTESAS, zusammenfassender Schlussbericht: Siemens AG
- Neges, M., Wolf, M. & Abramovici, M. 2015: Zugriffsgesicherte Augmented Reality Lösung zur mobilen Instandhaltungsunterstützung mit zustandsorientierten Arbeitsanweisungen  
In: Wirtschafts- und IndustrieForum 2015: Intelligente Technische Systeme, 12. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 23. und 24. April 2015, Paderborn, Deutschland, ISBN 978-3-942648-61-8, Seiten 181-196, 2015
- Hou, L., Wang, X. & Truijens, M. 2013: Using Augmented Reality to Facilitate Piping Assembly: An Experiment-Based Evaluation. Journal of Computing in Civil Engineering.
- Abramovici, M.; Krebs, A. & Wolf, M. 2014: Approach to ubiquitous support for maintenance and repair jobs utilizing smart devices In: Proceedings of the tenth international symposium on tools and methods of competitive engineering- TMCE 2014, 19.-23. Mai, Budapest, Ungarn, ISBN 978-9-461-86176-4, pp. 83-93
- Finkenzeller, K. 2002: RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. Hanser Verlag, München, Deutschland
- S. White, L. Lister & S. Feiner. 2007: Visual hints for tangible gestures in augmented reality.

- In Proceedings of the 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pages 1–4. IEEE Computer Society.
- Daenzer, W. F. & Huber, F. (Hrsg.) 2002: Systems Engineering, Methodik und Praxis. Industrielle Organisation, Zürich.
- Guy Harrison 2015: Next Generation Databases  
ISBN-13: 978-1-4842-1330-8  
Springer Science+Business Media New York
- Vajna S.; Bley, H., Weber C., Zeman, K. 2009: CaX für Ingenieure  
ISBN 978-3-540-36038-4, Springer-Verlag Berlin
- Weber, C. 2005: CPM/PDD – An Extended Theoretical Approach to Modelling Products and Product Development Processes
- Tönnis, M. 2010: Augmented Reality – Einblick in die Erweiterte Realität  
ISBN 978-3-642-14178-2, Springer Heidelberg
- Koch, C, Neges M., König & M., Abramovici, M. 2014: Performance study on natural marker detection for augmented reality supported facility maintenance, In: Australasian Journal of Construction Economics and Building, Australia, 01-2014
- Rosen, R., von Wichert G., Lo, G. & Bettenhausen K.D. 2015: About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing  
15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2015  
2nd German-Israeli Symposium on Advances in Methods and Systems for Development of Products and Processes, Berlin 07–08.07.2005. In: Bley, H.; Jansen, H.; Krause, F.-L.; Shpitalni, M. (Hrsg.), Proceedings of the 2nd German-Israeli Symposium, S. 159–179. Fraunhofer-IRB-Verlag, Stuttgart, 2005.

## Kontakt

Dr.-Ing. Matthias Neges  
 Mario Wolf, M. Sc.  
 Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici  
 Ruhr-Universität Bochum  
 Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik  
 Universitätsstraße 150  
 44801 Bochum  
 Tel.: +49 - 234 - 32 27009  
 Fax.: +49 - 234 - 32 14443  
[www.itm.ruhr-uni-bochum.de](http://www.itm.ruhr-uni-bochum.de)

