

technology

safety data

security

Augmented
Reality

sensor

status Telematics

critical information

situation awareness

real-time

adaptive
control

automation

reduce
costs

solution

Telemaintenance



Industrie 4.0 konkret

Forschungsergebnisse für die Fabrik

Telematik erleichtert das Fernwarten und die Ferndiagnose von Automatisierungsanlagen in der Fertigung



„Im Projekt MainTelRob sind hervorragende Servicetools entstanden, die speziell auf Roboteranwendung eng zugeschnitten sind und den weltweiten Support unserer Roboteranlagen über Fernzugriff ermöglichen. Durch die angewandte „Augmented Reality“ Technologie gestaltet sich der „virtuelle Serviceeinsatz“ dabei so transparent, als wäre der Servicetechniker vor Ort.“

Dipl.-Inform. Franz Som
Leiter R&D Control Systems
KUKA Industries
KUKA

„Die von uns entwickelten Steuerungsfunktionen werden in naher Zukunft von uns zur Serienreife gebracht und fließen in einen der nächsten Softwarereleases der Robotersteuerung ein. Die Funktionen sind dann für unsere Kunden allgemein nutzbar, bzw. erleichtern unserem Service-Personal den Support und die Wartung bei Kundenanlagen.“

„Die anwendungsnahe Entwicklung im Projekt MainTelRob erlaubte es, neue Konzepte im realen Industrieumfeld zu testen und so Ideen aus der Forschung zeitnah an die Anforderungen von Nutzer und Produktionsumgebung anzupassen.“

Dipl.-Inform. Felix Sittner
Wissenschaftler
Zentrum für Telematik



Dipl.-Inform
Doris Aschenbrenner
Wissenschaftlerin
Zentrum für Telematik



„Das Projekt MainTelRob ermöglichte eine praxisnahe Umsetzung theoretischer Konzepte wie „Human Supervisory Control“ in dem für Forschungseinrichtungen i.d.R. schwer zugänglichen Setting einer aktiven Produktionsanlage. Die Ergebnisse erlauben die für „Industrie 4.0“ notwendige Überprüfung und Anpassung der Theorien.“

„Das Forschungsprojekt „MainTelRob“ hat uns gezeigt, wie wichtig der Schritt in Richtung Industrie 4.0 für den Standort Deutschland ist. Unsere Produktionsanlagen arbeiten 24h an 7 Tagen, 350 Tage pro Jahr.“

Rolf Ruckstetter
Leiter Maintenance
Molding
Procter&Gamble



„Durch die Erkenntnisse aus diesem Projekt haben wir uns entschlossen, ein Team im Bereich Molding zu bilden, das sich intensiv mit dem Thema Industrie 4.0 beschäftigen wird. Das Team setzt sich zusammen aus SPS-Programmierern, Informatikern, Instandhaltungsplanern und Manager.“

Bernd Schwab
Equipment Engineer
Procter&Gamble



Christoph Hirschler
Servicetechniker
Procter&Gamble



Die digitale Zukunft startet

Telematik als Schlüssel zu Industrie 4.0

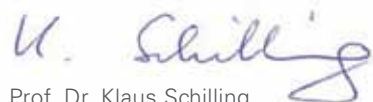
In rasanter Geschwindigkeit dringt die Digitalisierung mit allen Produkten und Dienstleistungen in alle Lebensbereiche vor. Zunehmend erreicht der digitale Wandel auch die Automatisierungsindustrie und führt zu erhöhter Effizienz und Flexibilität in der Produktion.

Besonders dynamisch verlaufen die technischen Entwicklungen, wenn sich Telekommunikation, Automatisierung und Informatik zur „Telematik“ verzahnen. Bei den Fragestellungen rund um die vierte industrielle Revolution benötigt man genau diese Kombination, um erfolgreich zu sein.

Enorme Fortschritte in der Telekommunikations- und Informationsindustrie lassen neue, anspruchsvolle Dienstleistungen entstehen, und zwar solche, die über große Distanzen machbar sind. Realisierbar sind dabei interaktive Eingriffsmöglichkeiten, bei denen die Daten reisen und nicht mehr die Menschen. So entsteht auf dem aktuellen Stand der Forschung ein riesiges wirtschaftliches Potenzial.

„Internet der Dinge“, „Vernetzung“, „Smarte Objekte“ und „Mensch-Maschine-Schnittstelle“ das sind die Hauptthemen der Vision Industrie 4.0. Entwicklungen, an denen das Zentrum für Telematik arbeitet, die es bereits mit Erfolg in industrielle Forschungsprojekte umgesetzt hat. Ergebnisse, die diese Broschüre beschreibt.

Nutzen auch Sie solch eine interdisziplinäre Denkweise. Lassen Sie sich also von den im Heft vorgestellten Beispielen anregen. Realisieren Sie mit uns spannende Lösungen für Industrie 4.0. Wir freuen uns auf gemeinsame Projekte mit Ihnen!



Prof. Dr. Klaus Schilling
Vorstand Zentrum für Telematik



Themen

Tablets erobern die Fabrik

Im Consumer-Bereich sind sie bereits Alltag: Mobile Endgeräte, wie Smartphones oder Tablets, finden immer mehr Anwendungen in der industriellen Produktion. **Seite 6**

Mit AR-Technik effizient reparieren

In der Fertigung lassen sich zahlreiche Servicearbeiten softwareunterstützt ausführen. Hierbei wurde insbesondere der Einsatz von Augmented Reality (AR)-Methoden erprobt. **Seite 8**

Instandhaltung präzise planen

So viel Wartung wie nötig, aber so wenig wie möglich. Ein Condition Monitoring System optimiert vorausschauend die Intervalle bei der Instandhaltung. **Seite 10**

Gezielt optimieren

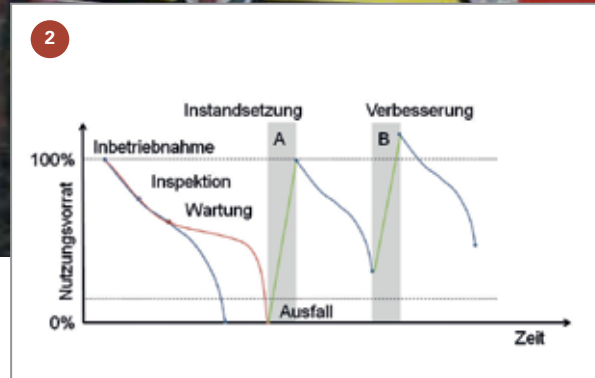
Neu entwickelte Werkzeuge für die Ferndiagnose und das Optimieren mit Hilfe externer Dienstleistungen ermöglichen eine integrierte Sicht auf die unterschiedlichen Anlagenteile. **Seite 11**

Fernwarten übers Internet

Wie sich der Zugriff auf den Industrieroboter und die Kommunikation mit dem Servicetechniker vor Ort realisieren lässt, zeigt die Umsetzung anhand eines Motortauschs. **Seite 12**

Security und Bandbreiten im Griff

Beim Austausch sensibler Daten über das Internet lauern verschiedene Gefahren. Die Lösung: Ein Adaptive Management und Security System, entwickelt vom ZfT. **Seite 14**



(2-1) Die Aufgaben für die Fernwartung (2-2) Der Lebenszyklus einer Maschine

Fernwartung im Fokus

Instandhaltung: Die Aufgaben in der Industrie 4.0

In Deutschland umfasst Instandhaltung in der Regel folgende fünf Themen: Inspektion, Wartung, Instandsetzung, Verbesserung und Schwachstellenanalyse (DIN 31051:2003-06). Diese Bereiche werden in Abbildung 2-2 anhand eines Lebenszyklus einer Maschine visualisiert.

Verschleiß mindert den Nutzungsvorrat, Inspektionen stellen den aktuellen Wert fest

Bei Inbetriebnahme der Maschine ist der Nutzungsvorrat per Definition 100% und die Maschine arbeitet in ihrem Zielzustand. Während des Betriebs sinkt allerdings der Nutzungsvorrat durch Verschleiß. Das ist nicht zwangsweise ein linearer Prozess wie es in der Abbildung 2-3 schematisch visualisiert ist. Durch die Durchführung von Inspektionen können Techniker den aktuellen Stand des Nutzungsvorrats feststellen.

Verschleiß wird durch Wartung nur verlangsamt

Wenn nichts unternommen wird, wird dieser weiter bis unterhalb einer Schadensgrenze sinken (schmale gepunktete Linie) bis die Maschine schließlich nicht mehr funktionstüchtig ist (Breakdown). Mithilfe von Wartungsmaßnahmen kann der Verschleiß reduziert werden, so dass der Nutzungsvorrat weniger steil sinkt. Sowohl Wartung und Inspektion sind sogenannte präventive Maßnahmen.

Instandsetzung stellt den Nutzungsvorrat wieder her

Trotz Wartungsmaßnahmen sinkt der Nutzungsvorrat weiter. Er kann theoretisch mit einer Instandsetzungsmaßnahme komplett wiederhergestellt werden, im Fall A nach einem Maschinenstillstand. Das wird als korrektive Wartungsaktion bezeichnet. Danach beginnt der Nutzungsvorrat wieder zu sinken. Der Instandhaltungsprozess kann auch vor einem Breakdown gestartet werden (Fall B), so dass ein Maschinenstillstand verhindert werden kann. Er

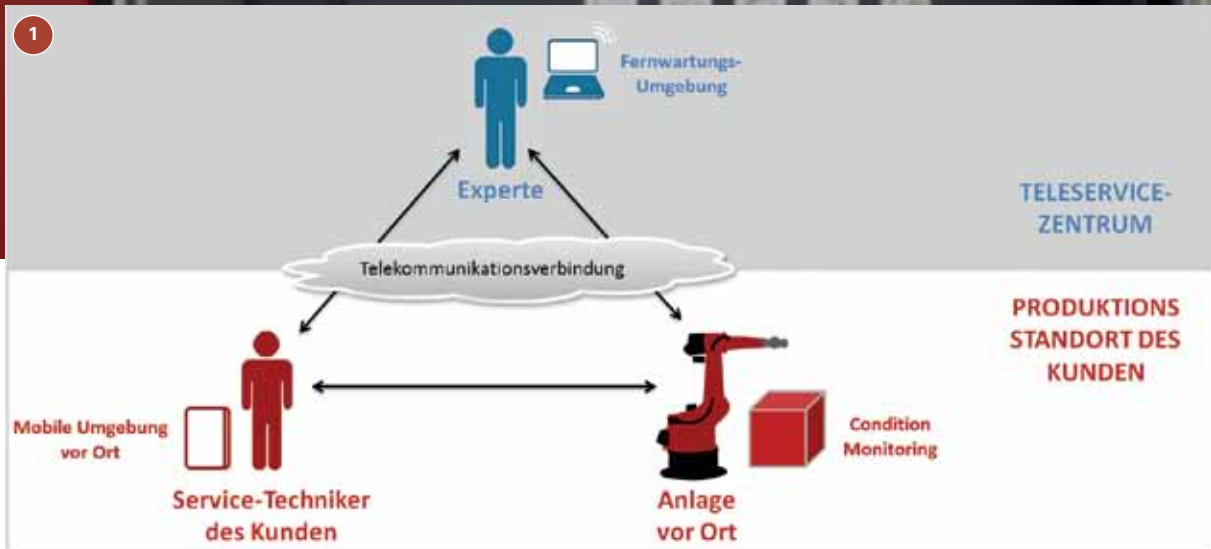
lässt sich mit Verbesserungsmaßnahmen kombinieren, so dass der Nutzungsvorrat sogar noch über 100 Prozent gesteigert werden kann.

Die Kosten in der Instandhaltung optimieren

Die beste Konstellation für Wartung lässt sich über eine Kosteneffizienzanalyse ermitteln. Maschinenstillstände sind generell extrem kostenintensiv, da jede Minute, in der nicht produziert wird, starke Kosten verunsichert. Dies gilt insbesondere wenn die Maschine auf einem kritischen Pfad in der Produktion steht. Wenn unerwartete Fehler auftreten, kann bereits die Diagnose eine lange Zeit dauern. Daher sollten diese im besten Fall gar nicht passieren. Wenn viel präventive Wartung betrieben wird, können zwar Breakdowns verhindert werden, aber die Maßnahmen sind ebenfalls kostenintensiv. Daher ist es optimal, die Maschine so nahe wie möglich an die Schadensgrenze zu bringen und direkt vor dem Ausfall eine geplante Instandsetzung und Verbesserung durchzuführen. In einem Satz lässt sich dies wie folgt zusammenfassen: So viel Wartung wie nötig und so wenig wie möglich.

Fernwartung als Teamaufgabe

Um Verschleiß kontinuierlich zu erkennen und die angemessene Menge an präventiver Wartung zu bestimmen, müssen Sensordaten aus verschiedenen Anlagenkomponenten intelligent verarbeitet werden. Reparaturen müssen sehr sorgfältig in der genau ausreichenden Menge durchgeführt werden und mit der kontinuierliche Steigerung des Nutzungsvorrats durch verschiedene Optimierungsschritte verbunden werden. Dies kann nur mit externem Sachverstand erreicht werden. Diese Experten müssen in die Lage versetzt werden, auch in echtzeitkritischen Situationen zu reagieren. Fernwartung erfordert also die Kombination von intelligenter Inspektion, Reparatur, Optimierung und Fernsteuerung.



(3-1) Schematische Visualisierung des MainTelRob Gesamtkonzepts

Lösungen aus der Praxis

Gefördert vom bayerischen Wirtschaftsministerium hat sich das Forschungsprojekt „MainTelRob - Maintenance and Telematics for Robots“ seit 2012 drei Jahre lang intensiv mit den Herausforderungen beim Fernwarten beschäftigt, und zwar zusammen mit den Industriepartnern KUKA Industries und P&G / Braun.

Produktionsstandort des Kunden Unterstützung von Inspektion und Reparatur

Beim rot eingezeichneten Kunden Braun/P&G befindet sich die Fertigungsanlage mit dem Industrieroboter als zentraler Handhabungseinheit. Die Anlage wird durch manuelle Inspektionen und einem Condition Monitoring System überwacht. Im Fall, dass mit einer Instandsetzung oder Reparatur in den Fertigungsprozess eingegriffen werden muss, sind ein oder mehrere Service-Techniker vor Ort, die durch eine im Projekt entwickelte, Tablet-PC basierten (mobilen) Diagnoseumgebung unterstützt werden. Hier wurde der Einsatz von Augmented Reality Brillen für Reparaturaufgaben erprobt.

Fernwartung erfordert Cybersecurity Adaptives Bandbreitenmanagementsystem

Gleichzeitig besteht die Möglichkeit den Roboterhersteller (KUKA Industries) über die Fernwartungs-umgebung in die Diagnose- bzw. Wartungsaufgabe einzubinden. Hierbei wurde ein spezielle Netzwerkunterstützung, das Adaptive Bandbreitenmanagement und Sicherheitssystem (AMS) entwickelt. Weiterhin wurden intelligente Regelungsalgorithmen entwickelt, die die Verzögerung der Verbindung kompensieren können.

Teleservice-Zentrum Fernanalyse und Optimierung

Der externe Experte kann auf Anforderung mit seiner Fernwartungs-umgebung auf die Anlage zugreifen und mit dem Service-Techniker vor Ort kommunizieren. Der Experte erhält während dieser Zeit per Internetverbindung Zugang zu produktionsrelevanten Anlagen- und Videodaten und kann mit Hilfe dieser Daten bei der Lösung von Problemen unterstützen, ohne selbst vor Ort reisen zu müssen (Fernanalyse).

Fernsteuerung und Condition Monitoring

Auch die Möglichkeit der Fernsteuerung des Roboters wurde implementiert. Besondere Hilfestellung können Experten aber auch bei der Optimierung der Anlage, z.B. durch Minimierung von Zykluszeiten oder Verschleiß, liefern. Hierzu wurden verschiedene Softwaretools entwickelt, die das Herunterladen der gespeicherten Daten aus Condition Monitoring und Inspektionen ermöglicht und die vergleichende Betrachtung verschiedener Anlagenzyklen ermöglicht, ob Schlüsse für die Optimierung zu ziehen. Hier kann ebenfalls Augmented Reality zum Einsatz kommen um die Wahrnehmung zu verbessern.

Prämierte Fernwartungslösung

Für die Gesamtleistung wurde das Projekt mit dem Industriepreis 2015 ausgezeichnet. Besonders hervorgehoben wurde dabei die integrierte Entwicklung von Benutzeroberflächen und den Algorithmen für die Optimierung und Diagnose mit entfernten Experten. Die Jury prämierte die Erprobung mobiler Geräte und Augmented Reality in der Produktion, sowie den Einsatz adaptiver Regelungstechnik.



(4-1) Entwickelt: Der Weg vom Programmierhandgerät zum reisPAD (4-2) BDE Terminal für Wartungsaufgaben

Bring your own device!

Mobile Geräte unterstützen die Inspektion vor Ort

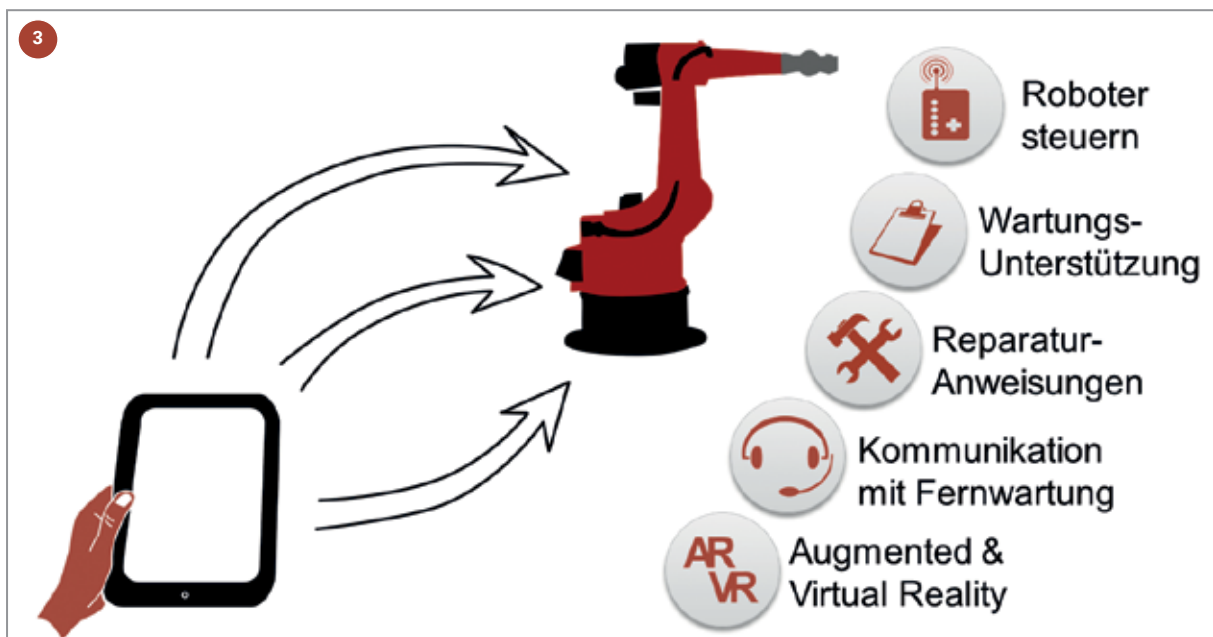
Nachdem mobile Geräte wie Smartphones und Tablets aus der privaten Nutzung fast nicht mehr wegzudenken sind, erobern sie zunehmend auch den Arbeitsplatz. Mittlerweile verwenden 69% der Angestellten private Endgeräte im Unternehmen.

Gute Prognosen für die Mensch-Maschine Schnittstelle

In der Mitgliederumfrage der Gesellschaft für Maschinen und Anlagentechnik 2012 wurde der Themenbereich „Mensch-Maschine-Schnittstelle“ als zweitwichtigster Impulsgeber für „technische bzw. sozio-ökonomische Entwicklungen und Erfordernisse in der Mess- und Automatisierungstechnik in den nächsten drei Jahren“ identifiziert. Tatsächlich wird im Laufe der vierten industriellen Revolution der Mensch in der Automatisierungsindustrie nicht etwa weniger wichtig oder lässt sich komplett ersetzen –

in einer Studie zu „Industrie 4.0“ stufen 96,9% der befragten Unternehmen die Wichtigkeit menschlicher Arbeit auch in fünf Jahren als „wichtig/sehr wichtig“ ein. Es wird erwartet, dass auch Produktionsmitarbeiter mobile Kommunikationstechnik zunehmend im Arbeitskontext nutzen werden. Ebenfalls wird in der Studie die Prognose abgegeben, dass der Einsatz mobiler Endgeräte neue Möglichkeiten bei der Nutzung aktueller Produktionsdaten eröffnet und dabei den Aufwand der Dokumentation drastisch reduziert und gleichzeitig deren Qualität verbessert.

Um die Frage zu beantworten, wie diese Prognosen in die Realität umgesetzt werden können, werden in dieser Publikation einige konkrete Einsatzmöglichkeiten für mobile Geräte beschrieben.



(4-3) All-In-One Konzept für das mobile Gerät - Die Funktionalitäten im Überblick



(5-1) Am Wartungspunkt Code scannen. (5-2) Anweisung lesen, Punkt überprüfen. (5-3) Anweisung quittieren. (5-4) Ggf. Foto machen.

Das All-In-One Konzept

Anwender des mobilen Geräts sind Maschinenbediener und Servicetechniker vor Ort, die sich an der Anlage um Spritzgussmaschine, Montage-Einheit und den Roboter kümmern. Sie müssen dabei zahlreiche Tätigkeiten rund um die Anlage ausführen, für die teilweise auch weitere Hilfsmittel benötigt werden (z.B. bei Instandhaltungsaufgaben). Das bedeutet, dass das mobile Gerät industrietauglich und einhändig handhabbar sein muss und dass sich möglichst alle gewünschten Funktionalitäten in ein einzelnes Gerät integrieren lassen sollen (siehe Abbildung 4-3).

Zum Steuern des Roboters: das reisPAD

Ausgangspunkt der Überlegungen für die Verwendung eines mobilen Geräts ist eine Innovation des Projektpartners Reis (KUKA Industries). Anstatt mit einem herkömmlichen Programmierhandgerät (Abbildung 4-1 links) kann der Industrieroboter mithilfe eines speziellen, touchbedienbaren Programmierhandgeräts, dem reisPAD (Abbildung 4-1 rechts) gesteuert werden.

Das reisPAD erfüllt dieselben Robustheitsansprüche, ist dabei aber flexibler konfigurierbar. Daher kann auf dieser Basis über die Entwicklung weiterer Funktionalitäten für ein mobiles Gerät im Kontext eines Industrieroboters nachgedacht werden. Generell lassen sich viele der aktuell in Papierform durchgeführten Prozesse (wie z.B. auch die halbjährliche Instandhaltung) in Checklisten wie in Abbildung 5-5 überführen und durch elektronische Möglichkeiten erweitern. Diese bearbeiteten Checklisten sind dann gleichzeitig als Dokumentation vorhanden.

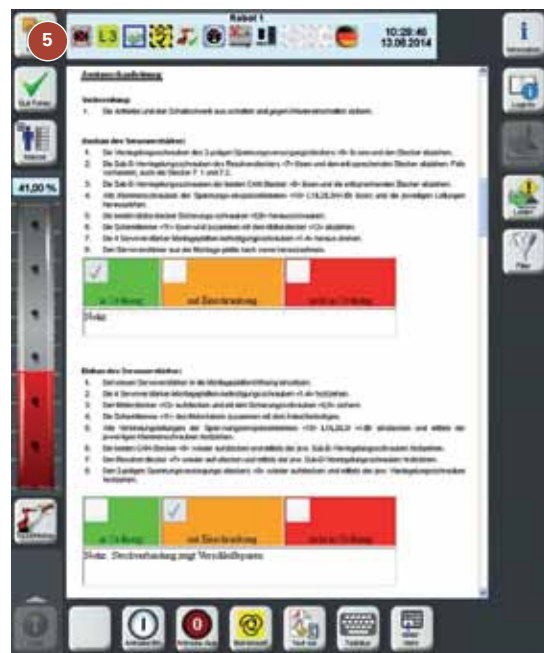
Geht bei Wartungsaufgaben zur Hand

Das mobile Gerät kann den Servicetechniker bei Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben durch die Abbildung der einzelnen Wartungsschritte unterstützen. Insbesondere die als CIL (Cleaning Inspection Lubrication) Tätigkeiten bezeichneten Aufgaben, die die Maschinenbediener permanent an der laufenden

Anlage verrichten, um Anlagenstillstände zu vermeiden, lassen sich damit gut umsetzen. Die meisten CIL Tätigkeiten bestehen aus einer Sichtprüfung, die regelmäßig an einem bestimmten Ort durchgeführt wird. Aktuell wird ein stationäres Bedienterminal (BDE-Terminal) zur Verwaltung dieser Tätigkeiten verwendet.

Ersetzt man nun das Terminal durch ein mobiles Gerät, so erspart dies überflüssige Laufwege. Zusätzlich ist mit dem Gerät die Nutzung von Ortsinformationen möglich, so dass die Überprüfung am Wartungspunkt auch mit Vergleichsbildern möglich ist (siehe Abbildung 5-1 bis 5-4).

Abschließend kann im Fehlerfall direkt am Wartungspunkt ein Foto mit der eingebauten Kamera des Tablets gemacht werden. Von dieser besseren Dokumentation erwarten sich die Verantwortlichen eine schnellere Behebung auftretender Fehler und insgesamt weniger Maschinenstillstände.



(5-5) Nützlich: Wartungs-Checkliste im reisPAD



(6-1) Reparatur am Roboter-Schaltschrank mit AR-Brille (6-2) Ansicht einer AR-Anleitung auf einem Tablet-PC

Die virtuelle Brille zum Prozess

Sorgt für mehr Durchblick im Schaltschrank

Während der Begriff „Virtual Reality“ bereits breit bekannt ist, ist für viele die Abgrenzung zu „Augmented Reality“ nach wie vor unklar. Augmented Reality (AR), wörtlich übersetzt „Angereicherte Realität“, ermöglicht die Erweiterung der normalen Wahrnehmung um künstliche Informationen, während VR („Virtuelle Realität“) eine komplett künstliche Konstruktion ist.

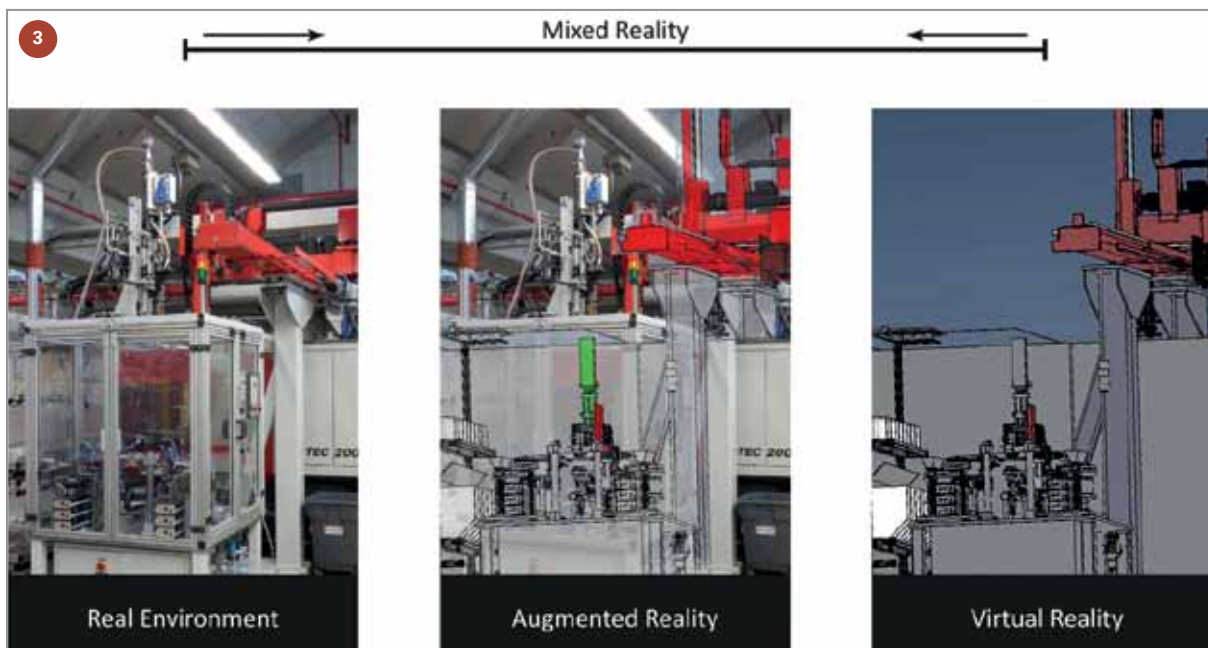
Augmented Reality ist reif für den Massenmarkt

Im „Gartner Hype Cycle“ von 2009 wurde für AR ein Adaptionshorizont von 5 bis 10 Jahren prognostiziert. Heute ist diese Zeit nahezu verstrichen und AR beginnt tatsächlich den Massenmarkt zu erobern. Durch die Evolution mobiler Geräte wie Smartphones und Tablets sind Geräte wie Visuali-

sierungsbrillen (head mounted displays HMD, z.B. Google Glass) für den Endverbraucher verfügbar. Es wird daher Zeit, diesen Technologiefortschritt auch für die Industrie zu nutzen.

Off the shelf Technologie nutzen

Der Einsatz handelsüblicher Elektronikgeräte für eine AR-Anwendung im industriellen Umfeld muss daher geprüft werden. Obwohl KUKA als größter Roboterhersteller in einer Umfrage ermittelt hat, dass die Akzeptanz von Roboterbedienern für AR hoch ist – sie ermittelten eine Zustimmungquote von 82,1% auf die Frage „AR kann mir in meiner täglichen Arbeit mit dem Roboter helfen“ – gibt es nach wie vor wenige konkrete Anwendungen, die AR mit Industrierobotern verknüpfen.



(6-3) Mixed-Reality Continuum mit MainTelRob Anwendung



(7-1) Versuchsperson mit AR-Anwendung auf Tablet-PC mit Halterung (7-2) Versuchsperson mit AR-Anwendung auf Tablet-PC

Reparaturanweisungen 4.0

Erprobung von Augmented Reality im Fehlerfall

Fehler, die die Anlagenverfügbarkeit beeinträchtigen, treten im Allgemeinen unvorhergesehen auf und erfordern ein schnelles Handeln des Anlagenbedieners, um einem drohenden Produktionsausfall unmittelbar entgegenzuwirken. Die Fehlerursache kann dabei vielfältig sein und ihre Analyse ist ggf. langwierig. Insbesondere, wenn aufgrund eines Hardwaredefekts der Roboteranlage die Fehlerursache nicht direkt ersichtlich ist, weil sich eine defekte Steuerungskomponente im Steuerungs-Schalt-schrank befindet.

reisPAD statt Klemmbrett

Im Zuge der „All-In-One“ Strategie (Abbildung 4-3) soll die Fehlerdiagnose und -behebung weitestgehend über das reisPAD erfolgen. Der erste Schritt war daher, die Fehleranzeige zu erweitern: Tritt steuerungsseitig ein Fehler auf, dann wird dieser Fehler zusammen mit einer Fehlernummer und einer kurzen Fehlermeldung in der Statuszeile auf dem Display des Programmierhandgerätes (reisPAD, siehe dazu Abbildung 7-3) angezeigt. Durch Antippen der Statuszeile kann ein Fenster mit der Fehlerhistorie geöffnet bzw. wieder geschlossen werden.

Studie zum Einsatz von Augmented Reality

In einer mit Studierenden durchgeführten Studie stellte sich die Frage, ob es signifikante Unterschiede zwischen unterschiedlichen verwendeten Anleitungsmedien gibt. So wurde mit je zehn Probanden anhand einer Papieranleitung, einer Augmented Reality Anwendung auf einem Tablet-PC (Abbildungen 7-1 und 7-2) sowie einer Augmented Reality Anwendung auf einem Head-Mounted-Display (siehe Abbildung 6-1) jeweils ein Reglertausch (Dauer ca. 1 Stunde) durchgeführt. Die Augmented Reality Anwendung wird in Abbildung 6-2 angezeigt. Oben steht die Anleitung, im Video-Display werden die zu bearbeitenden Stellen durch pinke Kreise hervorge-

hoben und unten können weitere Erklärungen angezeigt werden. Man kann weiterhin zwischen den Arbeitsschritten hin und her wechseln. Insgesamt sieht die Studie die Verwendung von Tablet mit Textanweisungen am Positivsten. Ein Grund ist, dass die Auflösung der Brille in Bezug auf Kamera und Display sowie die Bildwiederholungsrate nicht identisch mit der des verwendeten Tablets sind. Diese technischen Unterschiede werden sich allerdings in den nächsten Jahren angleichen.

AR auf Tablet-PCs wird empfohlen

Eine Augmented Reality Anwendung kann auf einem handelsüblichen Tablet-PC mit Kamera betrieben werden. Eine Halterung für das Tablet wie in Abbildung 7-1 erleichtert die Handhabung nochmals.



(7-3) Fehlermeldung mit Link zur Anleitung im reisPAD



(8-1) Warnungs-Anzeige auf dem Programmierhandgerät bei Condition Monitoring Event (8-2) Sicht auf verschiedene Sensorwerte in der Robotersoftware ProVis um Schwellwerte für das Condition Monitoring zu setzen

Fehler im Vorfeld erkennen

Condition Monitoring, Fernanalyse und Optimierung mit externen Experten

Obleich der Hersteller die Wartungsintervalle vorgibt, in der Praxis hängen sie von der konkreten Beanspruchung der Komponente ab.

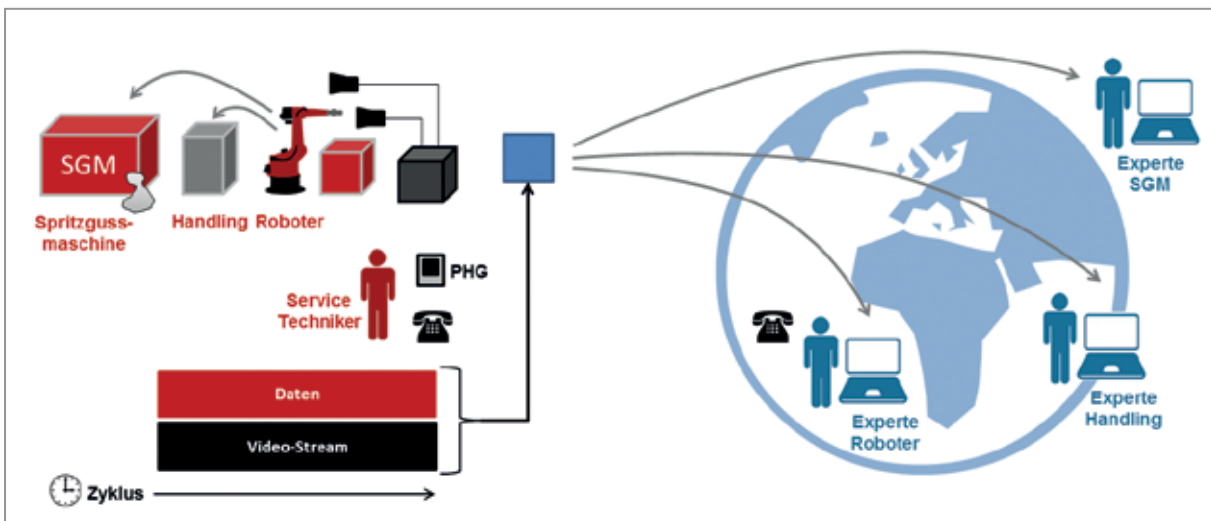
Predictive Maintenance durch Condition Monitoring

In einem vom Projekt MainTelRob untersuchten Szenario wurde anhand von signifikanten Änderungen von Betriebsgrößen erkannt, ob und wie weit sich ein Maschinenteil von seinen optimalen Betriebsbedingungen entfernt hat. Das Ziel hierbei ist es, das starre Raster von Wartungsintervallen zu durchbrechen und durch vorbeugende Bedarfswartung (predictive maintenance) zu ersetzen. Hierzu sind innerhalb der Robotersteuerung RobotStarV Funktionen enthalten, mit denen aussagekräftige interne Prozessgrößen, wie z. B. der Strom einzelner Achsen, gemessen, aufgezeichnet und auch bewertet werden können. Diese Prozessgrößen werden in Systemvariablen zur Verfügung gestellt. Bei gleichmäßigem Prozessverlauf ist eine mitlaufende Prüfung von Prozessgrößen gegen feste absolute Grenzwerte

möglich. Diese Prüfung beinhaltet eine gestufte Auswertung, in der sowohl eine Fehlergrenze, die zum sofortigen Anhalten der Maschine führt, als auch eine enger gesetzte Warngrenze, die lediglich einen Hinweis gibt, genutzt werden können (vgl. Abbildungen 8-1 und 8-2).

Optimieren mithilfe der aufgezeichneten Daten

Service-Techniker vor Ort sind bemüht, die Anlage immer weiter zu optimieren. Hier ist oft ein „Blick von außen“ von Vorteil; die Anreise externer Experten ist aber oft sehr teuer. Eine Aufgabe des Projekts war die Entwicklung einer Tele-Schnittstelle, über die Servicetechniker mit externer Hilfe beispielsweise Zykluszeiten, Material- und Stromverbrauch weiter optimieren können. Nach längeren Gesprächen mit den Anwendern hat sich herausgestellt, dass aktuell durchgeführte Optimierungsvorgänge häufig mit Hilfe von Videos der gesamten Anlage und von Anlagenteilen durchgeführt werden. Hier müssen aber mühselig die visuell erfassten Vorgänge wieder



(8-3) Konzept für integrierte Aufzeichnung von Video und Daten für die Optimierungssoftware als Flussdiagramm



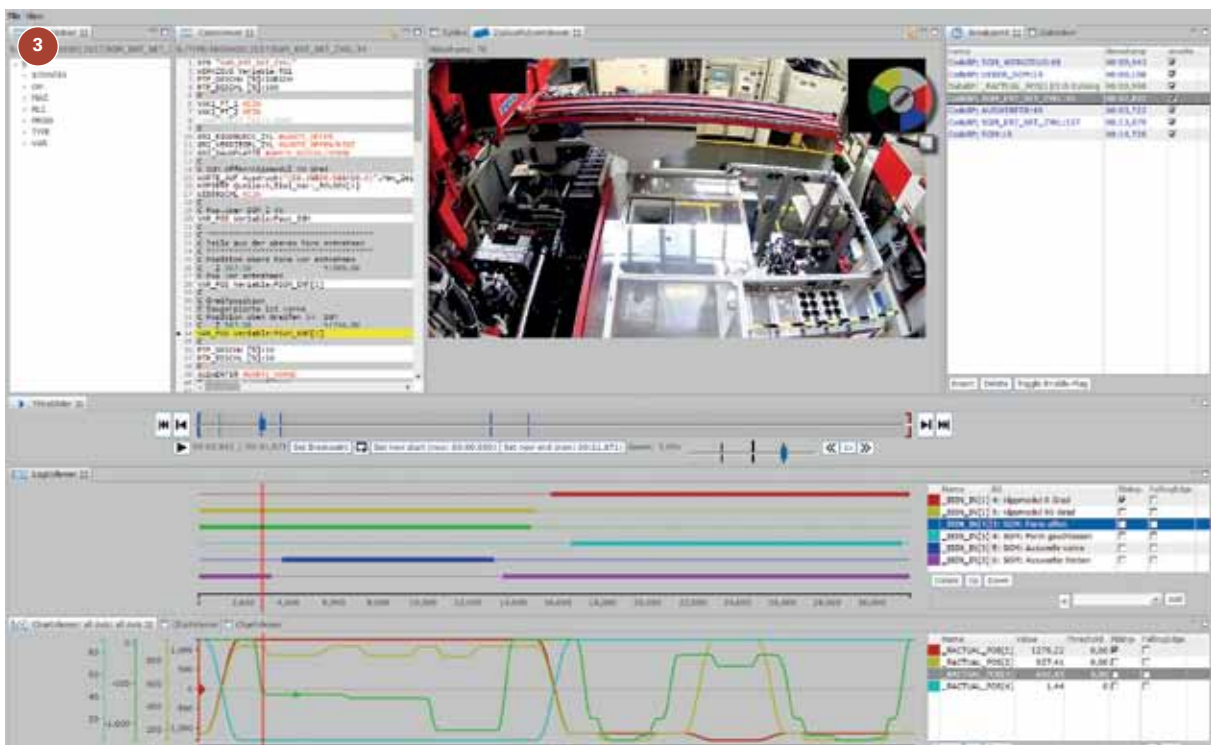
(9-1) Schema für die Integration 3D Daten mit Sensorwerten (9-2) 3D in einer begehbaren VR-Anwendung (Virtual Reality) mit Interaktionspunkten und Sensorvisualisierung

mit den Roboterprozessen in Verbindung gebracht werden. Hieraus ist nun der Ansatz für das Optimierungstool entstanden, in dessen aktuellem Stand Video- und Roboterdaten aufgezeichnet werden können. Die Daten werden gemeinsam in ein Paket verpackt und können an Experten übertragen werden. Die Experten nehmen nun (auch offline) eine Analyse auf den Daten vor und geben Optimierungsempfehlungen (vgl. Abbildung 8-3).

Den Produktionsablauf visualisieren

In Abbildung 9-3 wird die dafür entwickelte Benutzeroberfläche dargestellt. Mit der mittigen Play-Leiste wird das aufgezeichnete Paket abgespielt. Wie bei einem Videoplayer gewohnt, kann man die Geschwindigkeit verändern oder auch nur Teile der Aufzeichnung in einer Schleife abspielen. Links oben ist der Quelltext und die Verzeichnisstruktur auf der Ro-

botersteuerung dargestellt. Die aktuell ausgeführte Programmcodezeile wird gelb hervorgehoben. Rechts daneben befindet sich das Videobild und im Fenster rechts oben eine Liste von interessanten Zeitpunkten, zu denen direkt gesprungen werden kann, die auch in der Abspieelleiste farbig markiert werden. Es können dabei binäre I/O Daten und kontinuierliche Daten (wie z.B. aktuelle Position oder Stromverbrauch einer Achse) angezeigt werden. Diese beiden Anzeigen lassen sich dynamisch konfigurieren, und gewählte Konfigurationen lassen sich abspeichern. Mit diesem Tool ist eine Remote-Analyse der Anlage möglich, das heißt es lassen sich auch weitere Daten von anderen Anlagenkomponenten mit darstellen. In den Abbildungen 9-1 und 9-2 wird eine Erweiterung dargestellt: Sensordaten können in einem CAD Modell der Anlage interaktiv mit Virtual Reality dargestellt werden.



(9-3) Benutzeroberfläche der Software „Machinery Optimizer“ für die integrierte Sicht auf Sensor und Videodaten



(10-1) Service-Techniker mit Tablet vor der Anlage (10-2) Service-Techniker bei Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben

Motortausch per Fernwartung

Erfolgreicher Proof-Of-Concept für das Forschungsprojekt MainTelRob

Manchmal sind zur Reparatur Spezialisten von außerhalb nötig. Um Stillstandszeiten zu minimieren und Reisekosten zu sparen wird Fernwartung eingesetzt. Die Anreise externer Experten ist teuer und bedeutet im Service-Fall eine relativ hohe Reaktionszeit, daher lässt sich der Mehrwert einer solchen Infrastruktur auch wirtschaftlich abbilden.

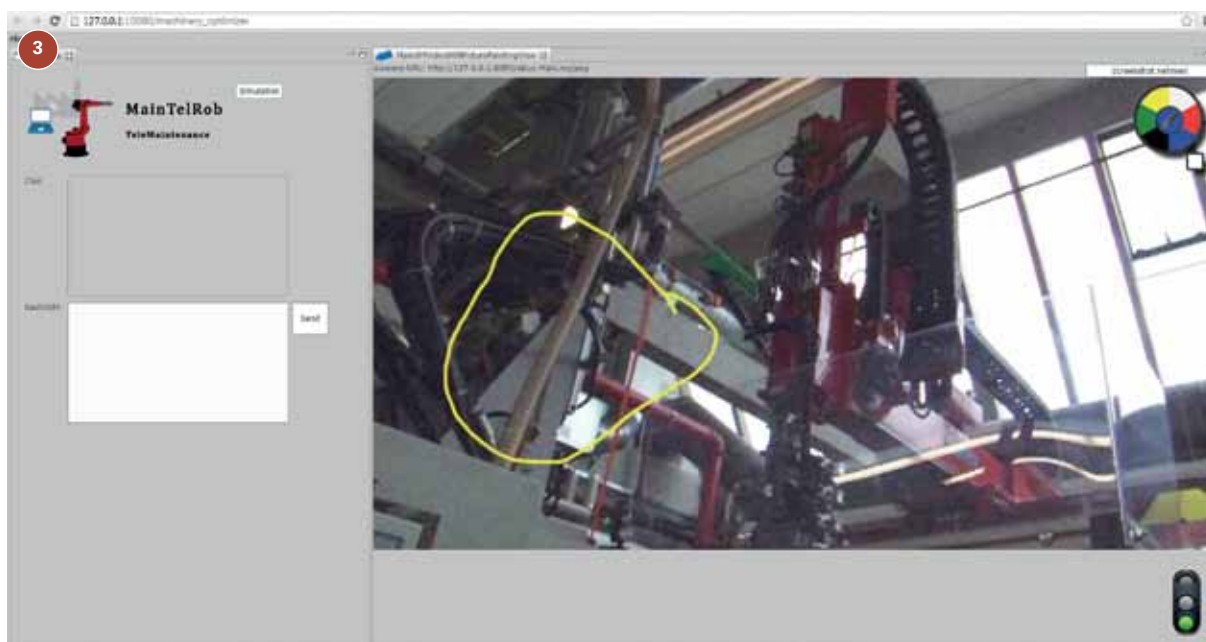
Mit dem Servicetechniker kommunizieren

Während einer Fernwartung muss der Service-Techniker mit dem Experten kommunizieren aber auch gleichzeitig die Reparaturarbeiten durchführen (siehe Abbildung 10-2). Um den Service-Techniker vor Ort zu unterstützen wurde eine Applikation für Tablet-PCs entwickelt. Der Servicetechniker mit Tablet ist in Abbildung 10-1 zu sehen, eine vergrößerte Ansicht der Benutzeroberfläche wird in Abbildung 10-3

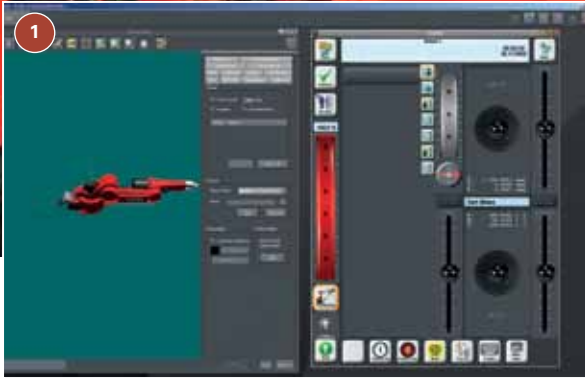
dargestellt. Dabei gibt es links einen Chatbereich, in dem schriftliche Nachrichten ausgetauscht werden können. Dies ist vor allem für Typbezeichnung oder Seriennummern gut geeignet, da diese ggf. über die mündliche Kommunikation missverstanden werden können.

Interaktionen per Video bringen die Lösung

Auf der rechten Seite ist ein Videobild zu sehen, dies kann das Kamerabild des Tablet sein, oder ein vom entfernten Experten bereitgestelltes Videobild. Hier können Screenshots erzeugt und gespeichert werden. Zusätzlich gibt es eine sogenannte „Paint-Tool“ (gelb eingezeichnet), mit dem vom Servicetechniker oder vom Experten interessante Partien des Bildes hervorgehoben werden können. Ein Anwendungsfall ist beispielsweise dass der Experte



(10-3) Anzeige auf dem Tablet mit dynamischer Markierungsfunktion (gelb)



(11-1) Robotersoftware Provis mit Robotersteuerung (11-2) Externer Experte vor der Fernwartungsumgebung

den Servicetechniker anweist, einen bestimmten Knopf zu drücken. Auf dieser Basis sind zuverlässige schrittweise Durchführungen von Tests oder Reparaturvorgängen möglich.

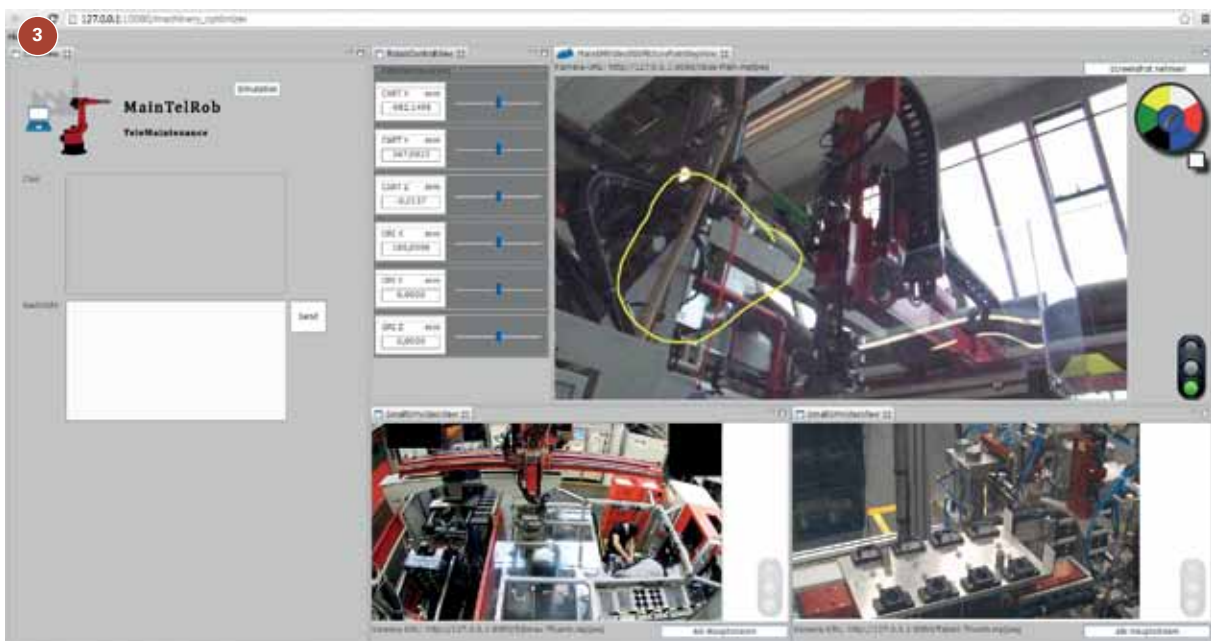
Fernwartungszentrale hält die Fäden in der Hand

Der Experte bei Reis (KUKA Industries) sieht zum einen die Remoteansicht in der Robotersoftware Provis (vgl. Abbildung 11-1), zum anderen die in Abbildung 11-3 dargestellte Fernwartungs-Benutzerschnittstelle. Dominant sind hier die drei Videobilder, die von den beiden fest installierten Kameras und der Kamera des mobilen Geräts stammen. Die kleinen Ampeln zeigen die Videoqualität an, so dass hier bereits Feedback der Bandbreite an den Nutzer zurückgegeben wird. Verschlechtert sich beispielsweise die Verbindung, so wird das vom ZfT entwickelte AMS – Adaptive Management and Security System (siehe nächste Seite) zunächst die Bandbreite der Videos herunterregeln. Hier sieht man eben-

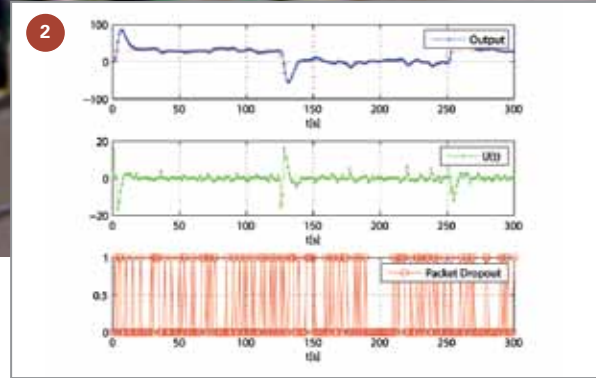
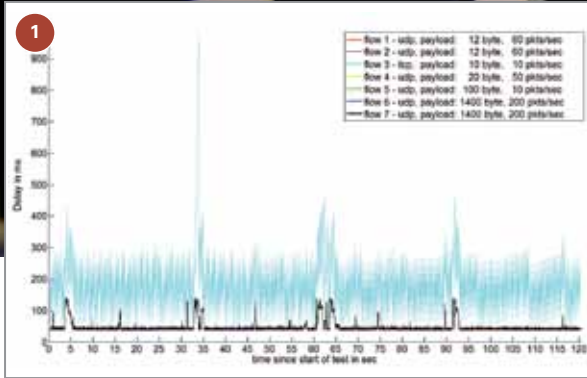
falls die Videointeraktion durch das neu entwickelte „Paint-Tool“. Da der Servicetechniker ein mit Kamera ausgestattetes mobiles Gerät mit sich führt, kann der Experte den Blickwinkel des Servicetechnikers besser nachvollziehen.

Motortausch als Proof-Of-Concept

Ein Motortausch wurde noch nie mit Remote-Unterstützung erprobt, konnte aber mit der beschriebenen Software erstmals durchgeführt werden. Es wurde ein Servicetechniker bei Braun (P&G) ausgewählt, der schon längere Zeit keinen Motortausch mehr durchgeführt hatte. Da dies eine recht aufwendige Reparatur darstellt, müsste sonst ein Servicetechniker von Reis Robotics (KUKA Industries) vor Ort fahren und die Reparatur überwachen bzw. selbst vornehmen. Ein Bild aus der Endabnahme mit einem Experten von Reis Robotics (KUKA Industries) ist in Abbildung 11-2 zu sehen. Die Software wurde von beiden Teilnehmern sehr positiv bewertet.



(11-3) Benutzeroberfläche der Fernwartungszentrale mit Chat (links) Robotersteuerung (mitte oben) und Kamerastream des Tablets (oben rechts) mit dynamischer Markierungsfunktion (gelb), unten wechselbar die Roboterübersicht und die Detailansichten



(12-1) Verzögerung von TCP und UDP Testdaten (12-2) Entwicklung von verzögerungsrobusten Regelungsalgorithmen

Netzwerk sicher im Griff

Verschiedene Verbindungsszenarien und eine spezielle Dienstkonfiguration

Aus der Anforderungsanalyse für die Fernwartung wurde deutlich, dass dafür zahlreiche Dienste bereitgestellt werden müssen, um die Daten zwischen den beiden Endstellen auszutauschen. Sie haben jeweils unterschiedliche Anforderungen an Echtzeit und Bandbreite und beeinflussen sich gegenseitig: Die Roboterbefehle müssen zum Beispiel mit höchster Priorität versendet werden und dürfen keinesfalls durch das breitbandige Videobild des Video-Feedback Kanals verdrängt werden.

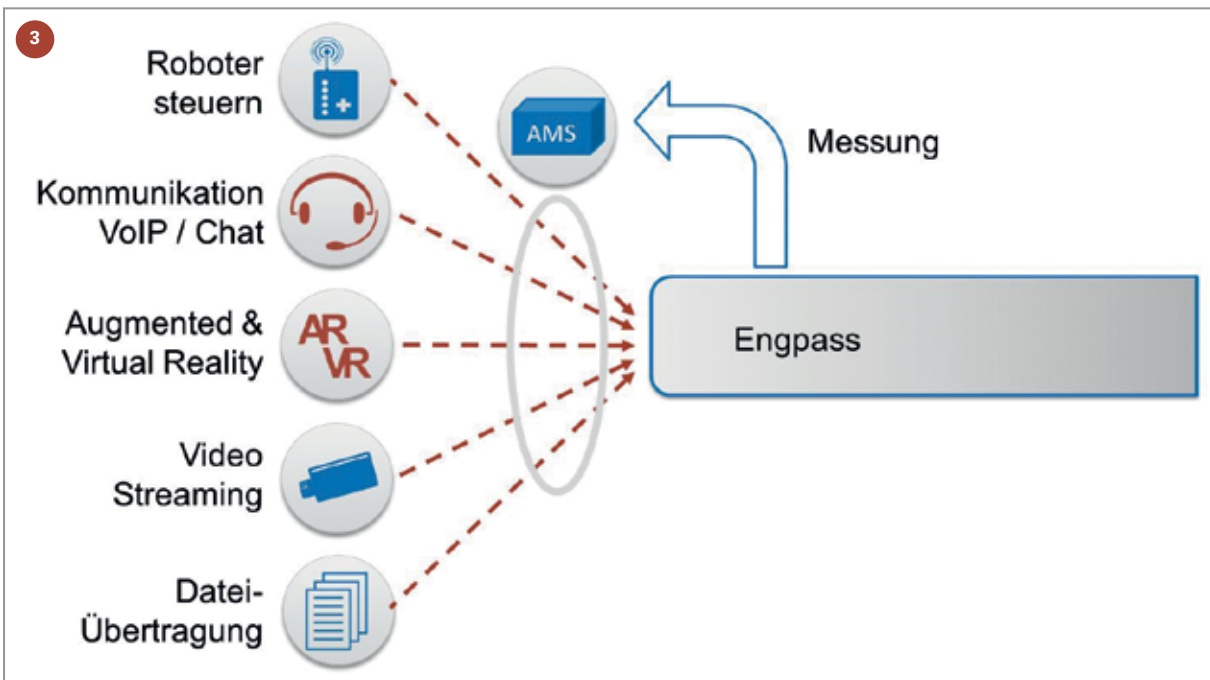
Adaptives Management und Security System

Das Zentrum für Telematik hat daher das „Adaptive Management and Security System“ (AMS) entwickelt, um diese speziell für die Fernwartung benötigte Kombination von Diensten möglichst effizient

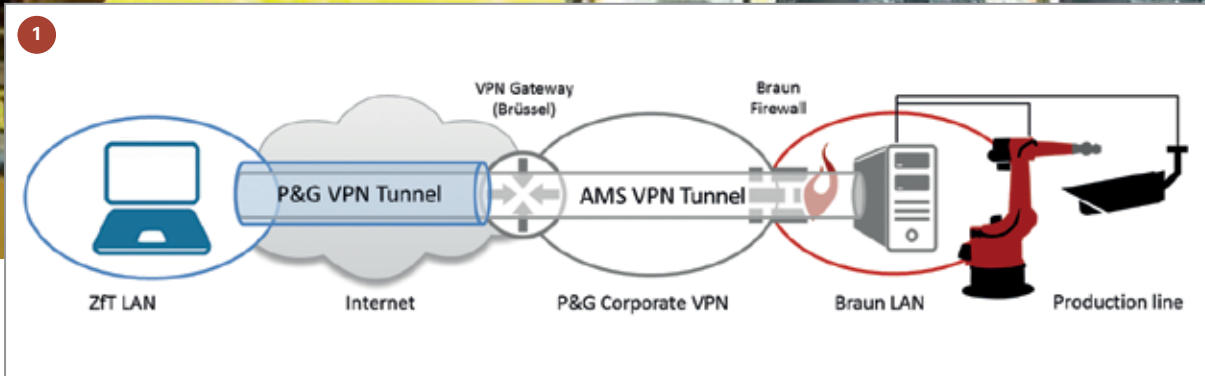
durch eine gegebene Datenverbindung zu leiten. Spezielle Regelungsverfahren passen Dienstqualität und Anzahl der Dienste der gemessenen Verbindungsqualität an. Das AMS misst permanent die Güte der Verbindung und entscheidet abhängig davon, welche Dienste mit welcher Qualität versendet werden können.

Dynamische Netzwerkkonfiguration testen

Mithilfe eines Emulators wurden auch allgemeine Fälle für die Telekommunikationsverbindung getestet. Dafür wurden Sets realistischer Netzwerkparameter für die Referenzszenarien ermittelt. Wichtige Verbindungsparameter sind z.B. Durchsatz („Bandbreite“), Latenz und Jitter (Variation der Zwischenankunftszeiten).



(12-3) Im Überblick: Fernwartung mit AMS-Prinzip benötigt verschiedene Services



(13-1) Schematischer Aufbau der Netzwerkinfrastruktur für die Fernsteuerung vom Zentrum für Telematik aus

Immer sicher verbunden

Höchstmöglicher Schutz vor Cyber-Angriffen darf den Durchsatz nicht behindern

Die Fernwartungsinfrastruktur musste im Zuge des Projekts komplett neu aufgebaut werden. Der größte Punkt war der Netzwerkzugriff von Reis (KUKA Industries) oder (zu Testzwecken) vom Zentrum für Telematik aus auf die Anlage bei Braun (P&G). Auf Basis dieser Netzwerkinfrastruktur konnten zahlreiche Messungen zur Verbindungsgüte vom Zentrum für Telematik und von Reis (KUKA Industries) aus durchgeführt werden (vgl. Abbildung 12-1). Ebenso wurden verschiedene Sicherheitskonzepte mit Absprache der Cyber Security Abteilung ausprobiert.

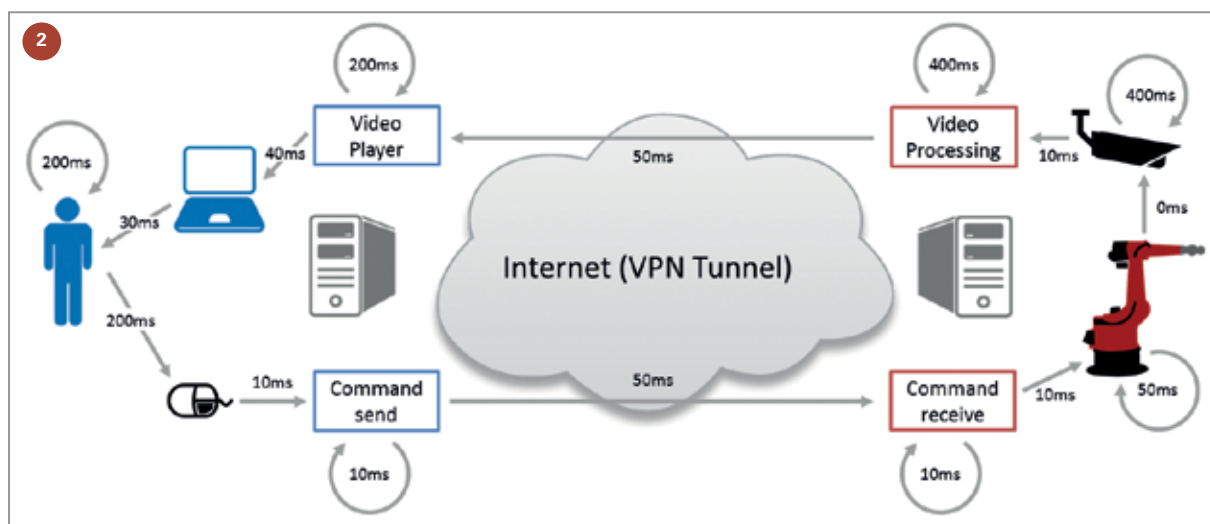
Die Methoden zum Authentifizieren

Da ein remote eingeloggter Techniker teure Anlagen fernsteuern und auch beschädigen kann, sind angemessene Authentifizierungsmethoden unverzichtbar. Mit digitalen Signaturen kann die Fälschung und Manipulation von Telekommandos unterbunden

werden. Um Schutz vor Wirtschaftsspionage zu bieten, müssen alle bei der Fernwartung ausgetauschten Daten verschlüsselt werden, denn zu Wartungs- und Reparaturzwecken können detaillierte Bilder von Maschinen, Videos ganzer Produktionszyklen, Schaltpläne und auch längere Maschinenprogramme ausgetauscht werden.

Einsatz von Regelungsalgorithmen

Neben des Bandbreitenmanagements über das AMS wurden intelligente Regelungsalgorithmen eingesetzt (vgl. Abbildung 12-2). Hierzu wurde ein theoretisches Modell des Systems und eine Abschätzung der Zeiten unerlässlich. Es wurde das „Human Supervisory Control“-Modell gewählt und entsprechend erweitert. Die damit zusammenhängende Abschätzung der Verzögerungen ist in Abbildung 13-2 in einer Übersicht dargestellt.



(13-2) Zeitabschätzung für die Fernsteuerung eines Industrieroboters mit Video-Feedback



(14-1) Abschlussveranstaltung MainTelRob (14-2) Rolf Ruckstetter (P&G) zeigt auf, wie sich noch Reserven aufspüren lassen

Einsparpotential durch MainTelRob

Kosteneffizienz-Analyse

Kürzere Zykluszeiten beim Fernwarten verbessern Produktivität

Neben der wissenschaftlichen Evaluation der im Projekt entwickelten Innovationen wurde auch eine wirtschaftliche Bewertung durchgeführt.

Evaluation durch Langzeittests der Tablet-PCs

Durch die Unterstützung der Inspektion durch ein mobiles Gerät kann der aktuelle Nutzungsvorrat der Anlage besser bestimmt werden. Weiterhin wird die Umsetzung individueller Wartungspläne durch das flexible System erleichtert. Die Anwender sehen ein großes Potential für die Qualitätsverbesserung der Dokumentation durch den Einsatz von mobilen Geräten, bei gleichzeitig weniger Aufwand für die Dokumentation. Für die Inspektion ist natürlich auch die Überwachung relevanter Parameter durch das Condition Monitoring relevant.

Zahlreiche Optimierungsansätze gefunden

Die Unterstützung durch entfernte Experten wird insgesamt sehr positiv gesehen, so hofft man sich über die asynchrone Zuschaltung von Experten eine

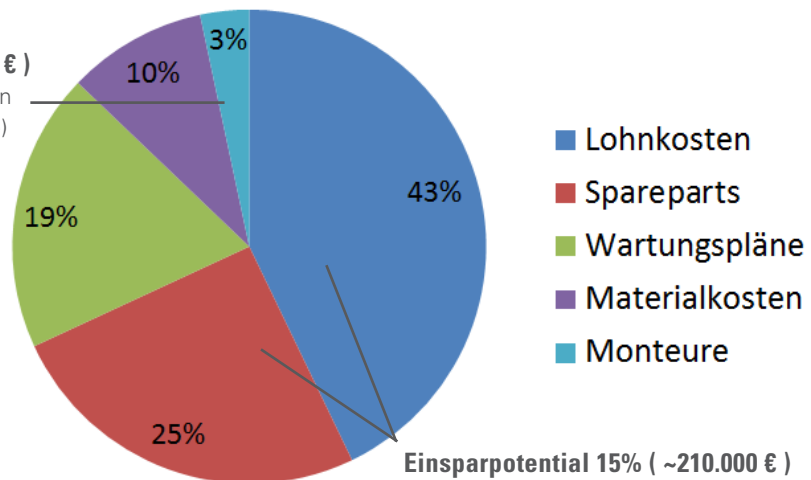
Optimierung der Maschine mit höherer Produktivität durch reduzierte Zykluszeiten. In der dazu durchgeführten Studie wurden verschiedene Ansätze für eine Verschleiß-Optimierung gefunden. Weiterhin wurde durch den Einsatz der Software die Möglichkeit erkannt, wie über eine Sekunde an Zykluszeit eingespart werden kann. Bei der hohen Taktung der betrachteten Anlage (sie läuft sieben Tage die Woche 24 Stunden am Tag) geht es hier um einen hohen Betrag.

Ungefähr 15 Prozent pro Jahr einsparen

Aber auch die Fernwartung wird sehr positiv gesehen, die direkten Instandhaltungskosten von externen Monteuren lässt sich dadurch weiter reduzieren. In der untenstehenden Grafik werden bezogen auf die geplanten Instandhaltungskosten 2015/16 von 2,1 Mio € beim Anwendungspartner P&G die Einsparpotentiale in verschiedenen Bereichen aufgezeigt. Sie belaufen sich in allen Bereichen auf etwa 15 Prozent.

Einsparpotential 15% (~10.000 €)

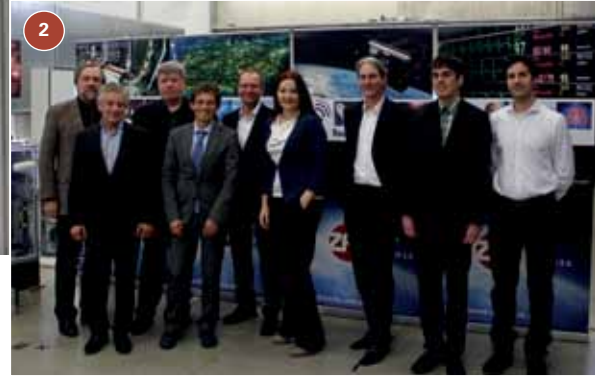
Reduzierte Instandhaltungskosten (speziell durch externe Monteure)



Einsparpotential 15% (~210.000 €)

Gesteigerte Produktivität durch reduzierte Zykluszeiten und weniger Stillstandzeiten

(14-3) Man kann durch Industrie 4.0-Maßnahmen bei der Wartung ca. 15 Prozent einsparen



(15-1) Test der Augmented Reality Brille (15-2) Gruppenfoto des Projektteams mit Projektträger

Das Fazit

Innovationen in der Bilanz

Einsparpotentiale durch den Einsatz von Fernwartung

Die untenstehende Grafik fasst die Ergebnisse zusammen. Ganz oben wird das Fernwartungsszenario visualisiert, welches sich aus der Live-Unterstützung des Service-Technikers und der Fernwartungsumgebung auf beiden Seiten der Telekommunikationsverbindung zusammensetzt. Weiterhin ist der asynchrone Zugriff zur Optimierung und Diagnose

weltweit ermöglicht worden. Abschließend wurde der Einsatz mobiler Geräte in der Produktion, sowie Augmented und Virtual Reality Techniken exemplarisch eingesetzt. Das Projektteam aus KUKA Industries, Procter&Gamble (Braun) und dem Zentrum für Telematik e.V. wurde für diese Leistungen mit dem Industriepreis „Best of 2015“ ausgezeichnet.



(15-3) Ansatzpunkte zum Optimieren der Prozesse: Die einzelnen Stationen für Innovationen bei der Fernwartung



Modulare Systemarchitektur einzelner Komponenten unterstützt die flexible Integration und Produktion

Die Zukunft fortschrittlicher Fertigung gestaltet das ZfT in Würzburg

Demonstrator Industrie 4.0



Enge Kooperation zwischen Werker und Roboter für eine effiziente Integration der Komponenten



Flexibler Materialfluss zwischen Integrations- und Testbereichen durch Transportroboter



Automatisierte Tests überprüfen Funktionalität und Leistung des Endproduktes

(18-1) Die Zukunft digitalisierter Produktion: Verschiedene Stationen im Herstellprozess komplizierter Elektronik-Produkte (Kleinstsatelliten)

Anpassungsfähige technische Systeme, in denen sich kooperierende Einzelkomponenten zu einer optimalen Gesamtleistung selbstorganisieren, bestimmen die nächste Evolutionsstufe für effiziente Technik. Das Zentrum für Telematik bietet dank anerkannter Vorarbeiten ausgezeichnete Voraussetzungen, um die dafür erforderlichen Innovationen an vorderster Front mitzugestalten. Die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschung stärkt die wirtschaftliche Basis bei der Fertigung künftiger innovativer Produkte und gibt Impulse für das Entstehen zukunftssträchtiger Arbeitsplätze in Bayern.

Anhand des oben dargestellten Demonstrators können die aktuellen Forschungsergebnisse gezeigt werden. Adaptive, einfach bedienbare und robuste Systeme wurden damit für den Einsatz in der Produktion realisiert. Hierbei wird auf eine hohe Flexibilität hinsichtlich Varianten von Standardprodukten, der schnellen Integration von modularen Komponenten und die Beachtung höchster Qualitätsanforderungen Wert gelegt. Die Vorlaufforschung im Rahmen von „Bayern Digital“ liefert die Basis um spannende Automatisierungsmethoden kontinuierlich weiter voran zu bringen.



Florian Dreher
Group Leader Service
Procter&Gamble



„Wir können davon ausgehen, dass wir die Instandhaltungskosten durch das Projekt um ca. 15% senken können. Das entspricht ca. 210.000 Euro pro Jahr.“

Stefan Weber
Servicetechniker
Procter&Gamble



„Die Anlage bei P&G ist selbst für deutsche Verhältnisse extrem hoch getaktet und bot uns ein hervorragendes Umfeld, um Fernwartung und Prozessverbesserung in der laufenden Produktion weiter zu entwickeln.“



Dipl.-Ing. (FH)
Markus Krauß
Leiter Automation
Zentrum für Telematik



Prof. Dr. Klaus Schilling
Vorstand
Zentrum für Telematik



Dipl.-Inform.
Michael Fritscher
Wissenschaftler
Zentrum für Telematik



„Zusammen mit unseren Projektpartnern konnten wir uns vielen interessanten Herausforderungen in aktuellen (Industrie 3.0) und zukünftigen (Industrie 4.0) Produktionsanlagen stellen und wichtige Impulse für die Weiterentwicklung geben.“



Dr. Jürgen Neumann
Koordinator Forschungsprojekte
KUKA Industries



„Die im Projekt MainTelRob gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere der Begleitung der Szenarien sind deshalb von großer Bedeutung für die weitere Entwicklung im Bereich der Fernwartung.“



Eberhard Amrhein
Customer Services EMEA
KUKA Industries



„Mit der Umsetzung der aus dem Projekt MainTelRob ermittelten Erkenntnisse und aufgezeigten Möglichkeiten wird unser Customer Service in die Lage versetzt, unseren weltweit angesiedelten Kunden durch unsere Service- und Prozess-Spezialisten einen High Level Support zu bieten, weitestgehend unabhängig davon, welche geographischen Distanzen bzw. Zeitverschiebungen gegeben sind. Ein weiterer Schritt zur Sicherung hoher Anlagenverfügbarkeiten und damit zur Zufriedenheit unserer Kunden.“

Executive Summary

Vernetzung, Smarte Objekte und Mensch-Maschine-Schnittstelle: das sind die Hauptthemen der Vision Industrie 4.0. Entwicklungen, an denen das Zentrum für Telematik arbeitet, die es bereits mit Erfolg in industrielle Forschungsprojekte umgesetzt hat. Ergebnisse, die diese Broschüre beschreibt. Nutzen auch Sie solch eine interdisziplinäre Denkweise. Lassen Sie sich also von den im Heft vorgestellten Beispielen anregen. Realisieren Sie mit uns spannende Lösungen für Industrie 4.0. Wir freuen uns auf gemeinsame Projekte mit Ihnen!

Impressum (V.i.S.d.P.):

Prof. Klaus Schilling
Zentrum für Telematik e.V.
Magdalene-Schoch-Straße 5
97074 Würzburg

www.telematik-zentrum.de

P&G

KUKA



**ZENTRUM
FÜR
TELEMATIK E.V.**