

# Modellierung und Optimierung von Instandhaltungsprozessen mit Sozio-Cyber-Physischen Systemen

Hendrik Hopf<sup>1</sup>, Manuela Krones<sup>1</sup>, Egon Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb, TU Chemnitz

## Zusammenfassung

Durch aktuelle Entwicklungen wie Industrie 4.0, Smart Factories und Cyber-Physische Systeme wird die Produktion tiefgreifend verändert. Dadurch ergeben sich vielfältige Potenziale, jedoch auch Herausforderungen für die Fabrikplanung und den Fabrikbetrieb. Die Instandhaltung repräsentiert ein wichtiges Gestaltungsfeld im Zusammenhang mit Sozio-Cyber-Physischen Systemen, da sie einerseits eine hohe Bedeutung für die Prozessstabilität in Produktionssystemen aufweist und andererseits von komplexen Arbeitstätigkeiten geprägt ist. Im Projekt S-CPS steht die Optimierung von Instandhaltungsprozessen im Vordergrund, indem verschiedene menschliche und technische Akteure in intelligenten, kollaborativen Netzwerken zusammengeführt werden. Der vorliegende Beitrag stellt Ansätze zur Modellierung und Bewertung der relevanten Prozesse dar, diskutiert Verbesserungspotenziale durch den Einsatz von Sozio-Cyber-Physischen Systemen in Instandhaltungsprozessen und zeigt erzielbare Effekte anhand eines prototypischen Demonstrators auf.

## 1 Einleitung

### 1.1 Smart Maintenance

Im Zuge von Industrie 4.0 (u. a. Bauer et al., 2014), Smart Factories (u. a. Bauernhansl et al., 2014; Riedel et al., 2015) und Cyber-Physischen Systemen (CPS) wird die Digitalisierung von Unternehmen und ihrer Prozesse vorangetrieben, sodass die gesamte Wertschöpfungskette eines Produkts über Unternehmensgrenzen hinweg informationstechnisch vernetzt wird. CPS nehmen dabei eine zentrale Rolle in der Smart Factory ein. Sie vereinen reale, physische Objekte (z. B. Anlagen, Maschinen, Einrichtungen, Werkzeuge, Behälter oder Teile) mit intelligenten Informationskomponenten zur intelligenten Daten-/Informationsverarbeitung und Kommunikation sowie zur eigenständigen, dezentralen Arbeitsweise (Bauer et al., 2014; Geisberger & Broy, 2012; Lee, 2006).

Die Instandhaltung ist ein entscheidender Faktor für die Produktivität, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Produktionssystemen (Faccio et al., 2014; Schenk et al., 2014). Die Instandhaltung umfasst alle technischen, organisatorischen und administrativen Maßnahmen, um die Funktion eines Objektes zu gewährleisten, wobei die Grundmaßnahmen Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung und Wartung unterschieden werden (DIN 13306, 2010; DIN 31051, 2012). Die Effizienz und die Effektivität der Planung und Steuerung der Instandhaltungsprozesse spielen dabei eine besondere Rolle (Kovacs et al., 2011). Hierfür werden mehr und mehr moderne Informations- und Kommunikationstechnologien eingesetzt.

Aus der zunehmenden Vernetzung der Produktion resultiert, dass das Angebot an Daten und Informationen über die Technologien und Abläufe in der Fabrik steigt, sodass sich daraus weitreichende Chancen zur Prozessoptimierung im Fabrikbetrieb und damit auch in der Instandhaltung ergeben. Demgegenüber stehen jedoch komplexe Herausforderungen wie die effektive Handhabung und Nutzung der Menge an automatisch erfassten Daten sowie der nutzer- und kontextspezifischen Informationsbereitstellung in der Fabrik (Müller et al., 2016).

Trotz der hohen Bedeutung von Informations- und Kommunikationstechnologien für Instandhaltungsprozesse ist die Instandhaltung selbst in der Praxis nur partiell in die Informationsnetzwerke im Unternehmen eingebunden. Demzufolge müssen Daten und Informationen häufig manuell aus vorhandenen Informationssystemen wie Enterprise Resource Planning (ERP), Produktionsplanung und -steuerung (PPS), Manufacturing Execution System (MES), Product Data Management (PDM) sowie aus Sensorik und Aktorik auf Maschinen- und Anlagenebene zusammengetragen werden, um bspw. Mitarbeiter koordinieren, Aufgaben planen oder Maschinen und Anlagen verwalten zu können. Des Weiteren kommen in den schwer vorhersagbaren, zeitlich begrenzten (u. a. Berücksichtigung des Produktionsbetriebs), serviceorientierten und arbeitsteiligen Instandhaltungsprozessen verschiedenste interne und externe, menschliche und technische Akteure zusammen, deren Einsatz geplant und gesteuert werden muss. In den Instandhaltungsprozessen tritt daher Verschwendung – insbesondere in Form von Zeiten für die Suche und Aufbereitung der Informationen – auf.

## 1.2 Prozessbetrachtung im Projekt S-CPS

Vor diesem Hintergrund wird im Forschungsprojekt S-CPS: Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme darauf abgezielt, die für die Instandhaltung relevanten Datenströme eines Produktionssystems mit den relevanten Informationen für die an der Instandhaltung beteiligten Mitarbeiter in

Form eines sogenannten Ressourcen-Cockpits zusammenzuführen (Hopf et al., 2014). Das S-CPS-Ressourcen-Cockpit bietet Potenziale zur Prozessoptimierung, indem bspw. Prozesszeiten reduziert und langfristig die Qualität der Instandhaltung gesteigert werden kann (Hopf & Müller, 2015).

Zur Beschreibung und Beurteilung der Potenziale zur Prozessverbesserung wurde zunächst eine umfangreiche Analyse der Ist-Prozesse in den Anwendungsunternehmen durchgeführt, um daraus die Anforderungen an das zu entwickelnde Gesamtkonzept und insbesondere an das Ressourcen-Cockpit ableiten zu können. Hierfür wurden u. a. die Ist-Prozesse, die Stakeholder sowie die gewünschten Funktionalitäten der Anwender mittels Datenanalyse, Befragungen und Beobachtungen aufgenommen. Als Teilergebnis wurden die Anforderungen zusammengefasst, die neben der Größe, Form und Handhabung des Ressourcen-Cockpits vor allem die abzubildenden Daten, Informationen und Funktionen betreffen. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen wurden im zweiten Schritt die konzeptionellen Entwicklungsarbeiten durchgeführt, welche die Gestaltung von informationstechnischer Referenzarchitektur, Referenzprozessen, Hard- und Softwarebausteinen zur Fehlerdiagnose, Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie Rollen und Views der Benutzer umfassen. Die Referenzprozesse als übergeordneter, nutzungsorientierter Rahmen für die Entwicklung und Anwendung des Ressourcen-Cockpits werden in Kapitel 2 näher vorgestellt.

Aus dem Vergleich der Ist- und Referenzprozesse der Instandhaltung wurden im Rahmen von Workshops die grundsätzlichen Potenziale zur Prozessverbesserung durch S-CPS abgeleitet (Kapitel 3). Die Vorgehensweise und Kriterien zur Beurteilung der Prozessverbesserung werden nachfolgend in Kapitel 4 vorgestellt. Die konkrete Bewertung der Potenziale erfolgt anhand eines Test Cases für den Demonstrator des Ressourcen-Cockpits in Kapitel 5, der in der Experimentier- und Digitalfabrik der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb umgesetzt wurde. In einer abschließenden Zusammenfassung werden die wesentlichen Potenziale des S-CPS-Ressourcen-Cockpits resümiert.

## 2 Modellierung der Instandhaltungsprozesse

### 2.1 Zielstellung und Vorgehen

Als Rahmen für die Entwicklung des Ressourcen-Cockpits werden allgemeine und spezifische Abläufe der Instandhaltung als Prozesse abgebildet, um damit die beabsichtigte Anwendung des Ressourcen-Cockpits aus einer übergeordneten Sichtweise beschreiben zu können. Zudem können damit Ansätze zur Prozessoptimierung identifiziert werden, die durch den Einsatz von

S-CPS entstehen. Die Herausforderung besteht insbesondere darin, die Prozesse der Instandhaltung, die in unterschiedlichsten Ausprägungen in der Praxis auftreten und oftmals nicht standardisiert werden können, in einer vereinfachten Form zu verallgemeinern.

Dazu wurden im Forschungsprojekt S-CPS zunächst die Ist- und Soll-Prozesse für Betrieb, Instandhaltung und Service der Maschinen und Anlagen in den Anwendungsunternehmen aufgenommen und analysiert. Zur einheitlichen Aufnahme und Darstellung dieser Geschäftsprozesse wurde insbesondere eine Dateivorlage in Form erweiterter Ereignisgesteuerter Prozessketten (eEPK) erarbeitet und eingesetzt. Damit wurden mittels projektrelevanter Attribute (bspw. verwendete Dokumente, IT-Systeme und Nutzerrollen) auch die nutzerspezifischen Daten- und Informationsbedarfe erfasst.

Parallel zur Ist-Analyse wurde eine Literatur- und Marktrecherche durchgeführt, um domänenübergreifende Standardprozesse der Instandhaltung zu identifizieren. Dabei wurde deutlich, dass in den Normen und Richtlinien nur auszugsweise verallgemeinerte Modelle für Instandhaltungsprozesse verfügbar sind. Wesentliche Anhaltspunkte für Abläufe in der Instandhaltung liefern die DIN 31051, die VDI 2890 und VDI 2895 sowie das Prozess-/Leistungsmodell im Facility Management der International Facility Management Association der Schweiz (DIN 31051, 2012; IFMA, 2015; VDI 2890, 2015; VDI 2895, 2012). Auf dieser Basis wurden verallgemeinerte Standardprozesse u. a. für die übergeordnete Planung und Steuerung sowie für die grundlegenden Instandhaltungsmaßnahmen Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung und Wartung abgeleitet und modelliert. Hierfür wurde die Dateivorlage derart erweitert, dass die einzelnen Modellierungssichten (vgl. Gadatsch, 2008) für die (Informations-) Systeme, Daten, Organisation und Prozesse detailliert werden können. Diese Herangehensweise ist für S-CPS von entscheidendem Vorteil, weil sie es erlaubt, die Abläufe und das Zusammenwirken der eingesetzten technischen Systeme und der nutzenden, menschlichen Akteure nach dem Grundsatz „Mensch, Technik und Organisation“ fokussiert auf die Daten- und Informationsflüsse abbilden zu können.

Schließlich wurden Referenzprozesse für die Instandhaltung unter Einbeziehung von S-CPS modelliert. Dazu fand ein Abgleich der Ist-/Soll-Prozesse und der Standardprozesse statt. Darauf aufbauend und unter Berücksichtigung der konzeptionellen Entwicklungsarbeiten für die Referenzarchitektur, Rollen, Schnittstellen etc. wurden Modelle für die Referenzprozesse erarbeitet. Diese erweitern die Standardprozesse um die S-CPS-spezifischen Elemente (in den folgenden Abbildungen durch die kursive Schrift gekennzeichnet; instanziierte Attribute sind eingerückt) für die System-, Daten-, Organisations- und Prozesssicht. Die Referenzprozesse und ihre einzelnen Sichten werden nachfolgend erläutert.

## 2.2 Referenzprozesse

### 2.2.1 Systemsicht

Die Systemsicht stellt die eingesetzten (Informations-) Systeme und deren Verbindung dar (Abbildung 1). Dabei werden die grundsätzlichen Informationssysteme der Produktion, wie ERP, MES und PDM, berücksichtigt. Auf Anlagen-/Maschinenebene kommen üblicherweise Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) und andere Steuerungen zum Einsatz. Ebenfalls werden mehr und mehr Condition Monitoring (CM) oder separate Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssysteme (IPS) eingesetzt.

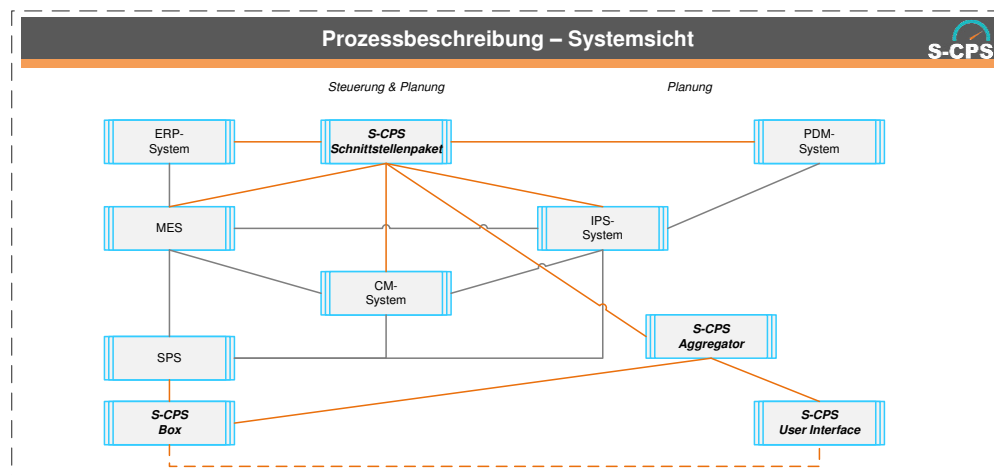


Abbildung 1: Systemsicht (Auszug)

An diese Grundstrukturen werden die S-CPS-Komponenten adaptiert. Die S-CPS Box erweitert ein reales Objekt (z. B. bestehende Maschine) zum CPS. Sie ist mit dem Objekt verbunden (z. B. per Datenverbindung zur SPS), nimmt eigenständig Daten auf (z. B. per eigene Sensoren), speichert Daten und Informationen lokal und dezentral (z. B. Bedienungsanleitungen, Pläne oder Zustandsdaten) und stellt diese im Netzwerk über eine oder mehrere Schnittstellen bzw. Webservices in permanenten Verbindungen (wenige Informationen) und Ad hoc-Verbindungen (bei Bedarf detaillierte Informationen) bereit. Der S-CPS Aggregator, als zentrale Einheit (Backend), verbindet zum einen die Boxen bzw. Objekte miteinander und zum anderen die S-CPS-Komponenten per unternehmensspezifischen S-CPS Schnittstellenpaket mit vorhandenen Informationssystemen im Unternehmen. Über das S-CPS User Interface (Be-

nutzerschnittstelle), u. a. in Form eines mobilen Endgeräts, bekommt der Benutzer rollen- und kontextspezifische Informationen für seine Prozesse bereitgestellt.

### 2.2.2 Datensicht

In der Datensicht werden die notwendigen bzw. die zu verarbeitenden Daten und Informationen zusammengefasst (Abbildung 2). Dabei werden auftragsneutrale Stammdaten (z. B. Dokumentationen, Listen, Pläne oder Vorschriften), auftragsabhängige Bewegungsdaten (z. B. Aufträge, Meldungen, Protokolle oder Zustandsdaten) sowie sonstige Daten (z. B. Foto- und Videoaufnahmen) unterschieden.



Abbildung 2: Datensicht (Auszug)

### 2.2.3 Organisationssicht

Die Organisationssicht stellt die beteiligten verantwortlichen Akteure dar (Abbildung 3). Dabei findet eine grundsätzliche Unterscheidung nach Betreibern sowie nach Herstellern, Lieferanten bzw. Service-Dienstleistern der Anlagen und Maschinen statt. Dies ist notwendig, um die Verantwortlichkeiten und die Zusammenarbeit der unterschiedlichen Personen unternehmensübergreifend darstellen zu können. Dies betrifft auch die Daten- und Systemsicht, weil hier u. a. entsprechende Zugriffsrechte auf Daten und Informationen aus organisatorischen, rechtlichen und sicherheitsrelevanten Gründen berücksichtigt werden müssen (z. B. bei der Fernwartung). Da CPS als intelligente autonome Einheiten selbstständig Aufgaben verantworten können, könnten diese auch selbst als Akteure hier aufgeführt werden.

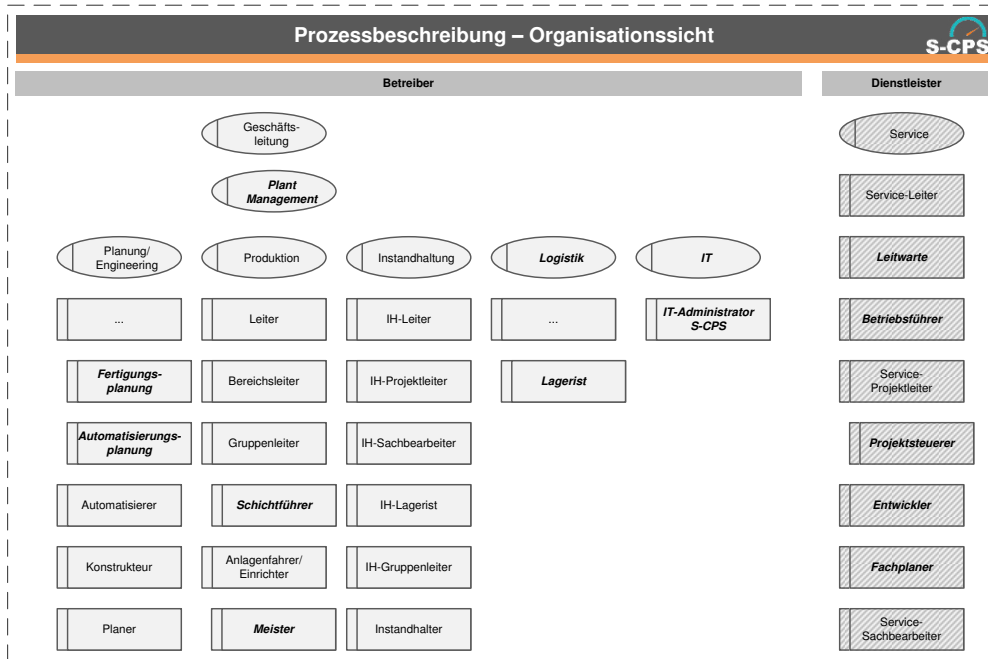


Abbildung 3: Organisationssicht (Auszug)

### 2.2.4 Prozesssicht

In der Prozesssicht werden die auszuführenden Funktionen und die damit verbundenen Ereignisse in ihrer Reihenfolge dargestellt, wobei den Funktionen ihre notwendigen Systeme, ein- und ausgehenden Daten/Informationen sowie die verantwortlichen Akteure zugeordnet werden. Somit werden in der Prozesssicht die anderen Sichten zusammengeführt.

Die Referenzprozesse umfassen Modelle für die Instandhaltungsplanung und -steuerung, die Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung und Wartung, die Störungsaufnahme, -analyse und -behebung, den Betrieb und die Betriebsüberwachung, der Materialbereitstellung sowie die Inbetriebnahme und Abnahme. In Abbildung 4 wird beispielhaft der Prozess der Störungsbehebung auszugsweise dargestellt. Wie zu erkennen ist, besteht die Prozessbeschreibung aus einem Kopfbereich, in dem zunächst der Prozess anhand von Typ, Ziel, Leistung, Messgrößen etc. charakterisiert wird. Darunter wird die eigentliche eEPK abgebildet, wobei die jeweiligen Akteure nicht fest zugeordnet werden, denn die Funktionen können je nach Anwendungsfall von verschiedenen Personen ausgeführt werden (z. B. durch internen Instandhalter und/oder externen Service-Mitarbeiter).

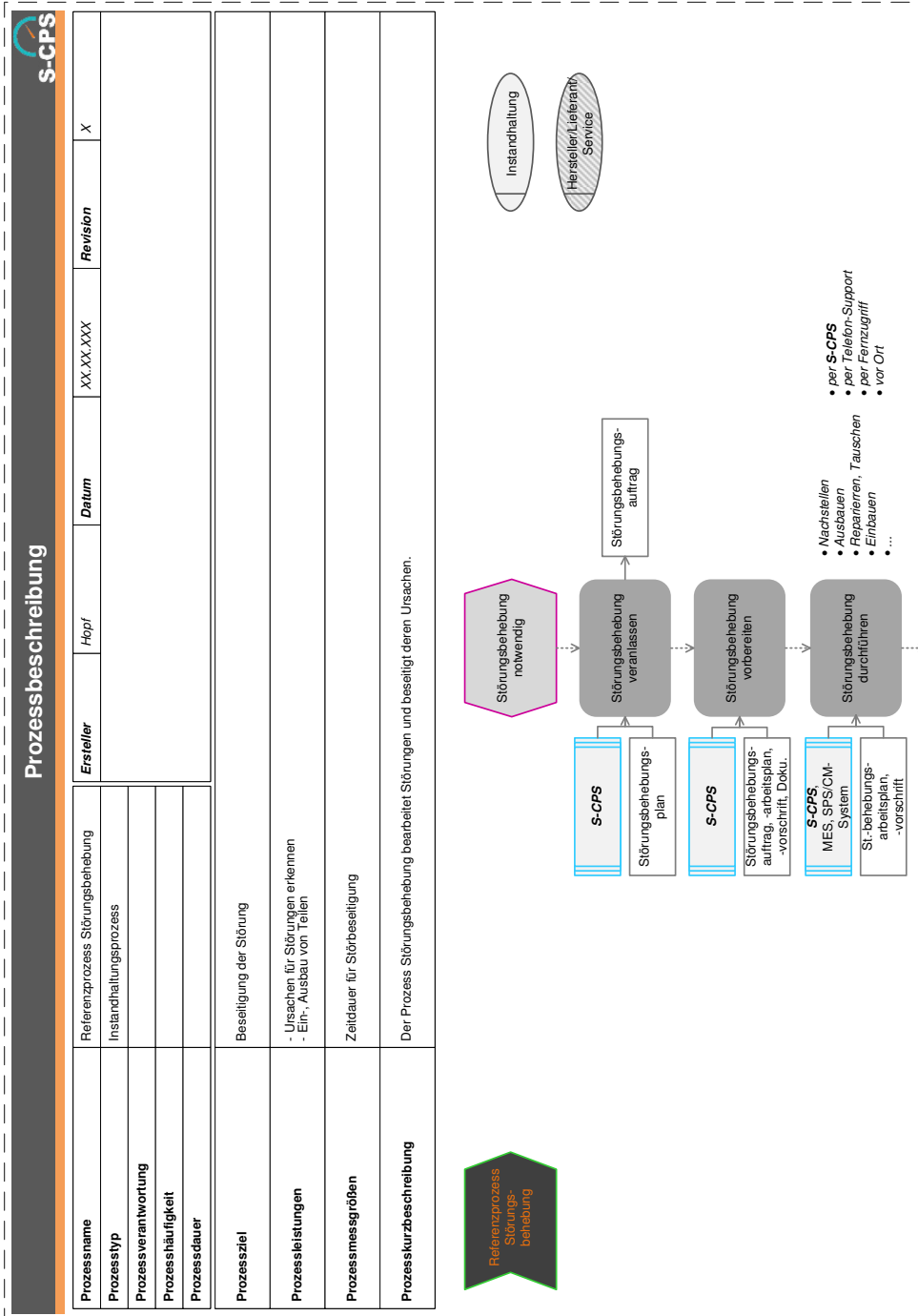


Abbildung 4: Prozesssicht – Prozessbeschreibung Störungsbehebung (Auszug)



### 3 Potenziale zur Prozessverbesserung mittels S-CPS

Aus den vorangegangenen Ausführungen wird deutlich, dass durch den Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien und insbesondere durch S-CPS Instandhaltungsprozesse unterstützt und verbessert werden können.

Das hauptsächliche Potenzial zur Prozessoptimierung des eingangs vorgestellten S-CPS Ressourcen-Cockpits liegt in der Zusammenführung der verschiedensten, individuellen Hard- und Softwaresysteme sowie der zugehörigen Daten und Informationen im Unternehmen sowie im unternehmensübergreifenden Zusammenhang, um damit den unterschiedlichen Benutzern Hilfestellung zur Lösung ihrer Aufgaben zu bieten und dadurch die Instandhaltungsprozesse effizienter zu gestalten. Um dies zu erreichen, können in der ersten Iterationsstufe die folgenden grundlegenden Ansätze und Schritte zur Prozessoptimierung identifiziert werden:

- Integration/Zusammenführung der relevanten und spezifischen Hard- und Softwaresysteme der Unternehmen,
- Integration/Zusammenführung der relevanten und spezifischen Daten und Informationen für die Instandhaltung,
- Verarbeitung der Daten zu kontextspezifischen Informationen für die Instandhaltungsprozesse,
- dezentrale Haltung der Daten und Informationen,
- mobile, kontextspezifische, bedarfsgerechte Bereitstellung der Informationen.

Hierfür müssen zunächst alle notwendigen Hard- und Softwaresysteme im Unternehmen erfasst, kategorisiert und an das Ressourcen-Cockpit angebunden werden. Dazu gehören bspw. vorhandene ERP-, MES- oder PDM-Systeme, die von Unternehmen zu Unternehmen sehr stark variieren. Darüber hinaus betrifft dies die Cyber-Physischen Systeme in der Produktion, die in der Lage sind, selbst vernetzt zu kommunizieren und zu kooperieren. Daher enthält das Ressourcen-Cockpit generische Schnittstellen, mit denen es in die jeweiligen Unternehmen, Unternehmenssysteme und -prozesse integriert werden kann, sodass die vorhandenen Datenquellen abgefragt bzw. mit ihnen Daten ausgetauscht werden können (vgl. S-CPS Schnittstellenpaket und S-CPS Aggregator/Backend).

Ist diese Voraussetzung geschaffen, können nun die für die Prozesse notwendigen Daten und Informationen zusammengeführt werden. Das bedeutet, dass im Ressourcen-Cockpit die prozessrelevanten Daten und Informationen (z. B. Arbeitsaufträge der Mitarbeiter, Maschinenbelegung oder -zustände) aus den angebundenen Systemen abgefragt, selbst erfasst und zusammengefasst werden. Hierfür sind die Arten und Eigenschaften der Daten sowie die benötigte Form der Informationen zu spezifizieren (vgl. S-CPS Schnittstellenpaket und S-CPS Aggregator/Backend).

Ein wesentlicher Punkt zur Prozessoptimierung besteht in der weiteren Verarbeitung der Daten zu kontextspezifischen Informationen. Das bedeutet, dass aus der Unmenge an Daten nur die aufgaben- und rollenspezifischen Informationen gefiltert bzw. generiert werden. Dementsprechend sind hierbei die Instandhaltungsaufgaben (z. B. Störungsbehebung) sowie die Rollen der Benutzer (z. B. Werker, Instandhalter, Service-Mitarbeiter) zu berücksichtigen, sodass nur die wirklich relevanten Informationen bedarfsgerecht aggregiert werden. Dies führt dazu, dass manuelle Prozessschritte, die die Suche, Sammlung und Zusammenfassung notwendiger Daten umfassen, reduziert bzw. eliminiert werden (vgl. S-CPS Aggregator/Backend). Die Eliminierung manueller Prozessschritte erhöht zusätzlich die Prozesssicherheit, da an Schnittstellen zwischen manuellen Aufzeichnungen und elektronischen Systemen Übertragungsfehler auftreten können.

Im Zuge der zunehmenden Vernetzung der Systeme sowie der automatischen, sensorgestützten Datenerfassung und -verarbeitung wächst die Datenmenge im Unternehmen und in der Produktion immer weiter an. Daher sind neben der kontextspezifischen Zusammenfassung der Daten und Informationen auch deren Speicherung und Bereitstellung zu verbessern. Zentralistische Systeme verlangen eine entsprechende Netzwerkinfrastruktur, die die großen Datenmengen sowie die notwendigen Übertragungsraten und -geschwindigkeiten gewährleisten können. Um die Belastung der Netzwerke möglichst gering zu halten, bietet es sich an, eine dezentrale Datenhaltung vorzusehen.

Gerade vor dem Hintergrund der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit von Betreibern und Herstellern, Lieferanten bzw. Service-Dienstleistern zeigt sich, dass sich auf der Maschinen- und Anlagenebene alle grundsätzlichen Daten und Informationen zu den technischen Betriebsmitteln bündeln lassen. Diese können bedarfsgerecht für verschiedene Anwendungsfälle (z. B. Kontrolle und Protokollierung der Betriebszustände durch den Betreiber bzw. Durchführung oder Überwachung notwendiger Instandhaltungsaufgaben durch Service-Dienstleister) bedarfsgerecht angeboten werden. Das führt auch dazu, dass verschiedenste unternehmensinterne oder -externe Informationssysteme an die dezentrale Einheit angebunden werden können (vgl.

S-CPS Box). Eine Bündelung der Informationen ermöglicht eine einfachere Aktualisierung von Dokumenten (z. B. Anlagendokumentation) ebenso wie die Sicherstellung, dass alle beteiligten Akteure auf die jeweils aktuelle Version der Dokumentation zugreifen.

Nachdem die relevanten Daten und Informationen aggregiert sind, müssen sie kontextspezifisch dem Benutzer bereitgestellt werden. Da die Instandhaltungsaufgaben typischerweise vor Ort an der Anlage oder Maschine auszuführen sind, ist dementsprechend eine mobile Lösung (u. a. Tablet oder Laptop) notwendig. Dabei ist der Benutzer mit seiner Rolle am System angemeldet und bekommt nur die für ihn und seine aktuelle Aufgabe relevanten Informationen angezeigt. Somit kann der Prozess effizienter, insbesondere schneller, durchgeführt werden, weil nicht erst die notwendigen Informationen manuell zusammengetragen werden müssen. Aus der Ist-Analyse im Projekt S-CPS geht hervor, dass diese Zusammenstellung der Daten und Informationen einen großen Zeitfaktor in der ganzen Prozesskette einnimmt. Des Weiteren assistiert das System bei der Durchführung der Arbeiten, indem es auf Basis der verarbeiteten Daten und Benutzereingaben die nächsten Bearbeitungsschritte vorgibt. Dadurch kann den Instandhaltungsmitarbeitern Sicherheit bei der Ausführung der typischerweise komplexen und heterogenen Tätigkeiten gegeben werden. Schließlich steigert die Übersichtlichkeit von Informationen das Nutzungspotenzial eines Systems durch die Mitarbeiter sowie deren Zufriedenheit.

Darüber hinaus kann der Benutzer während und nach Abschluss seiner Tätigkeiten den Auftrag und die damit verbundenen Aufgaben direkt vor Ort dokumentieren, ohne dass weitere Prozessschritte notwendig sind (vgl. S-CPS User Interface). Durch die Dokumentation und Auswertung von Instandhaltungsprozessen (z. B. Störungsbehebung) wird eine kontinuierliche Unterstützung und Verbesserung der standardisierten Prozesse ermöglicht. Langfristig können diese Informationen genutzt werden, um die Planbarkeit der Instandhaltung zu erhöhen und damit weitere wirtschaftliche Potenziale zu erschließen (z. B. Berücksichtigung typischer Fehlerquellen in der vorbeugenden Instandhaltung).

Zusammengefasst tragen die dargestellten Ansätze dazu bei, dass das Daten- und Informationsmanagement erweitert und vereinfacht sowie die Prozessumfänge (Prozessinhalte, -schritte, -ketten) auf die wesentlichen Punkte zur Lösung der Instandhaltungsaufgaben reduziert werden. Letzteres betrifft insbesondere die Verkürzung oder Eliminierung von Prozessen und Prozessschritten zur Daten-/Informationssuche, -verarbeitung, -bereitstellung sowie zur Auftrags-/Aufgabensteuerung, -durchführung und -kontrolle. Die Beurteilung der Prozessverbesserung anhand konkreter Zielgrößen ist Gegenstand des nachfolgenden Abschnittes.

## 4 Beurteilung der Prozessverbesserung

### 4.1 Methodische Vorgehensweise

Die kontinuierliche Analyse, Überprüfung und Optimierung von Abläufen in einem Unternehmen folgt der Vorgehensweise des Geschäftsprozessmanagements in den Schritten Vorbereitung (Zielformulierung, Abgrenzung), Durchführung (Modellierung, Implementierung und Analyse) sowie Verbesserung in Form einer (inkrementellen) Optimierung oder einer (radikalen) Restrukturierung (Palleduhn & Neuendorf, 2013).

Der Ausgangspunkt für die Identifizierung von Möglichkeiten zur Prozessverbesserung ist daher die Modellierung der Ist-Prozesse (siehe Kapitel 2). Hierbei ist zusätzlich die Definition von Prozesszielgrößen zu berücksichtigen, die den Ausgangspunkt für die nachfolgende Optimierung bilden. Für die Erarbeitung von Optimierungspotenzialen können neben allgemeinen Kreativitätstechniken konkrete Methoden der Prozessverbesserung wie Kaizen oder Six Sigma eingesetzt werden (Koch, 2015). Die erarbeiteten Soll-Prozesse können anschließend in der gleichen Methodik wie die Ist-Prozesse modelliert werden. Danach erfolgt der beurteilende Vergleich zwischen Ist- und Soll-Prozess anhand der definierten Prozesszielgrößen. Prozessverbesserungen können grundsätzlich mithilfe der folgenden Maßnahmen erreicht werden:

- Eliminierung von Prozessen oder Prozessschritten,
- Verkürzung von Prozessen oder Prozessschritten sowie
- Vereinfachung von Prozessen oder Prozessschritten.

Für die Bewertung von Prozessmodellen können quantitative (z. B. Kostenvergleichsrechnung) und qualitative Bewertungsverfahren (z. B. Nutzwertanalyse) herangezogen werden (Koch, 2015). Die methodische Vorgehensweise zur Beurteilung der Prozessverbesserung ist in Abbildung 5 zusammenfassend visualisiert und wird in Kapitel 5 für den Demonstrator angewendet.

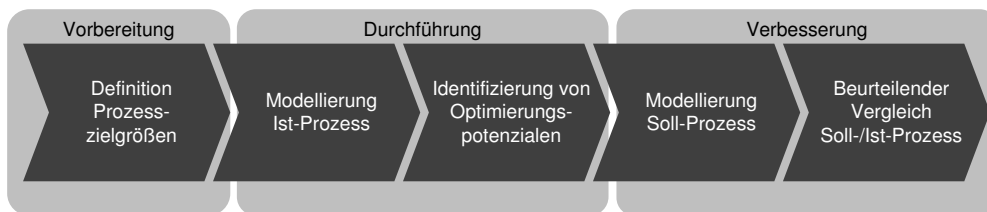


Abbildung 5: Vorgehensweise zur Beurteilung der Prozessverbesserung

## 4.2 Bewertungskriterien für Instandhaltungsprozesse

Wie in Abschnitt 4.1 dargestellt, ist die Definition von Zielgrößen eine wesentliche Voraussetzung für die Bewertung von Prozessverbesserungen. Für die Bewertung der Instandhaltung können verschiedene Indikatoren in Form von absoluten oder relativen Kennzahlen herangezogen werden (VDI 2893, 2006). Dabei ist jeweils zwischen dem Aufwand für Instandhaltungsprozesse (Prozess- bzw. Finanzkennzahlen) und dem resultierenden Nutzen für die Produktion zu unterscheiden. Im Rahmen des Projektes wurden Kennzahlen für Instandhaltungsprozesse definiert, die zur Beurteilung der Verbesserung von Instandhaltungsprozessen herangezogen werden können (Tabelle 1). Die Anwendung der Bewertungskriterien für den Demonstrator des S-CPS Ressourcen-Cockpits erfolgt in Abschnitt 5.3.

*Tabelle 1: Ausgewählte Kennzahlen für Instandhaltungsprozesse, erweitert nach VDI 2893 (2006)*

	<b>Kennzahl</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Aufwandsperspektive</b>	Instandhaltungszeit	Gesamte Zeit für Instandhaltungsmaßnahme
	Reaktionszeit	Zeit von Auftreten einer Störung bis Beginn der Analyse
	Analysezeit	Zeit zur Analyse einer Störung (z. B. Suche nach geeigneten Informationen)
	Behebungszeit	Zeit zur Behebung einer Störung
	Anzahl beteiligter Rollen	Anzahl interner und externer Rollen mit Aufgaben im Instandhaltungsprozess
	Anzahl Systemübergänge	Anzahl der Übergänge zwischen verschiedenen Systemen oder Medien
	Bereitstellungsaufwand für Instandhaltungsinformationen	Aufwand für Erstellung und Pflege von instandhaltungsrelevanten Informationen (z. B. Vorlage für Störungsmeldungen)
<b>Nutzenperspektive</b>	Ausfallzeit	Ausfallzeiten an Anlagen (z. B. aufgrund von Störungen)
	Anlagenverfügbarkeit	Grad der Nutzungsfähigkeit einer Anlage
	Mittlere Ausfallzeit / Mean Time To Repair (MTTR)	Durchschnittliche Ausfallzeit pro Instandsetzung
	Mittlerer Ausfallabstand / Mean Time Between Failures (MTBF)	Durchschnittliche Laufzeit einer Anlage zwischen zwei Ausfällen
	Anzahl Störungen	Anzahl an Störungen einer Anlage in einer definierten Zeit
	Anzahl Ausfälle	Anzahl der Anlagenausfälle aufgrund von Störungen in einer definierten Zeit
	Arbeitssicherheit	z. B. Anzahl Unfälle

## 5 Verbesserung von Instandhaltungsprozessen am Beispiel des Demonstrators Experimentier- und Digitalfabrik

### 5.1 Beschreibung des Demonstrators

Im Rahmen des Projektes wurde ein Demonstrator in der Experimentier- und Digitalfabrik (EDF) der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb realisiert. Die EDF verfügt über verschiedene Produktions- und Logistikkomponenten einer stückgutbasierten Produktion einschließlich der zugehörigen Planungs- und Steuerungskomponenten.

Für den Demonstrator wurden zunächst die vorhandenen Anlagen und Einrichtungen hinsichtlich ihrer Eignung als Betrachtungsobjekt untersucht. Auf dieser Basis wurde das Transfersystem TS5 ausgewählt, das einen Stetigförderer zum Transport von Kleinladungsträgern umfasst. Das System weist fünf Arbeitsstationen auf, die manuelle oder automatische Bearbeitungsschritte repräsentieren, sodass verschiedene Anwendungsszenarien abgebildet werden können. Das Transfersystem ist mit einer Siemens S7 SPS ausgestattet, die den Materialfluss der Werkstückträger steuert. Dabei wird an der ersten Arbeitsstation mithilfe eines RFID-Identifikationssystems das jeweilige Produkt identifiziert, in Abhängigkeit dessen die Bearbeitungszeiten sowie die Art der nachfolgenden Arbeitsstationen (manuell oder automatisch) festgelegt sind. Den Eingang bzw. Ausgang eines Werkstückträgers in bzw. aus einer Arbeitsstation wird durch induktive Näherungsschalter registriert.

Zur Umsetzung des Demonstrators erfolgte die Ankopplung der Datenerfassung mithilfe der S-CPS-Box und der Datenvisualisierung mittels des S-CPS Ressourcen-Cockpits (Brenner et al., s. S. 167 ff.). Auf dieser Basis werden auftretende Störmeldungen des Transfersystems direkt in eine Visualisierung des Ressourcen-Cockpits überführt, die über mobile Endgeräte von verschiedenen Benutzern abgerufen werden kann (Abbildung 6).

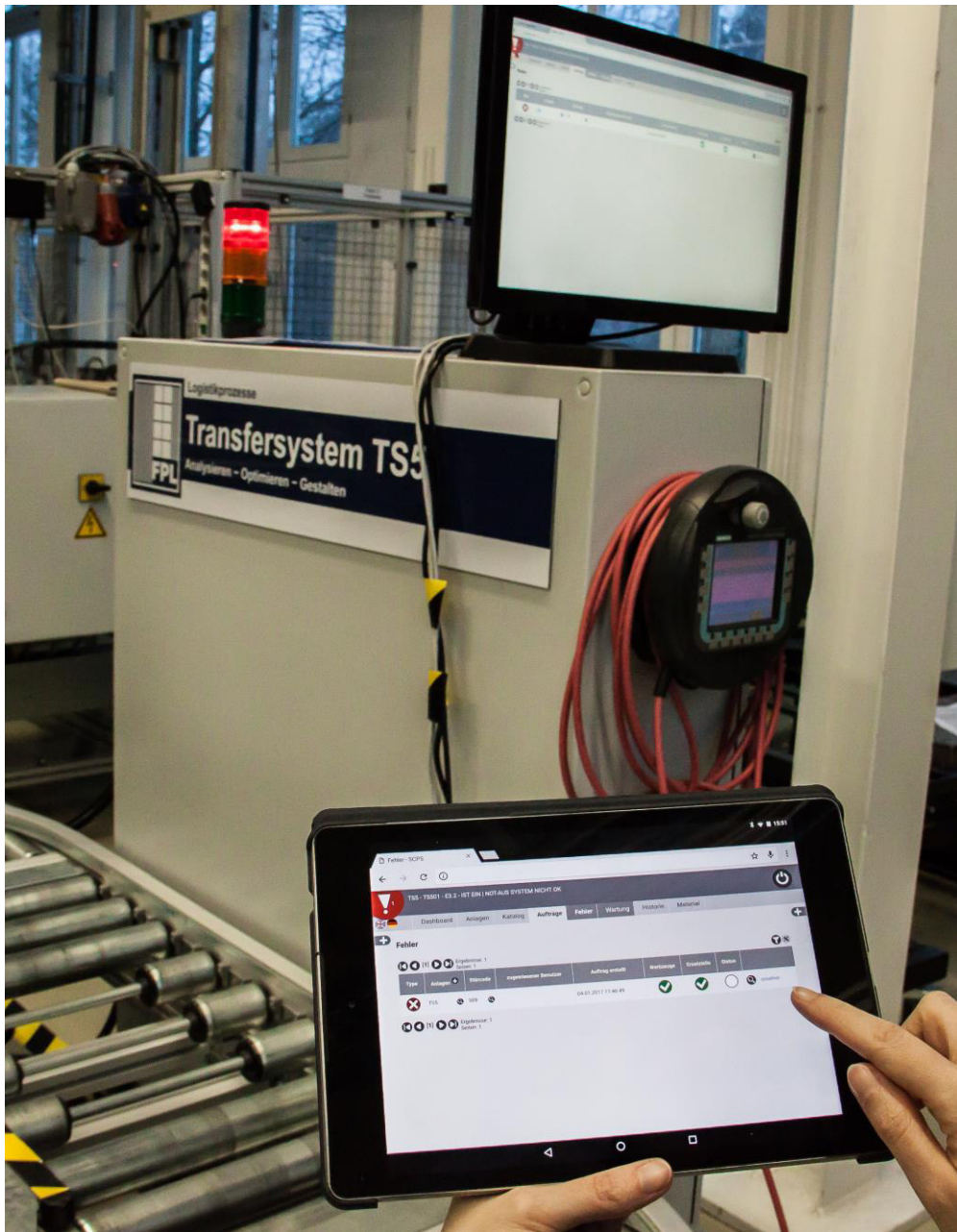


Abbildung 6: Demonstrator Experimentier- und Digitalfabrik

## 5.2 Anwendungsszenario für Instandhaltungsprozess

Die Beurteilung des umgesetzten Demonstrators erfolgt nach der in Abschnitt 4.1 skizzierten Vorgehensweise. Hierfür wird ein konkreter Test Case einer Störung im Transfersystem betrachtet. Für dieses Szenario werden nachfolgend sowohl der Instandhaltungsprozess im Ausgangszustand als auch im verbesserten Zustand unter Nutzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits beschrieben und modelliert.

Der Ausgangspunkt des Prozesses ist eine vom System gemeldete Störung. Daraufhin wird zunächst der Anlagenfahrer kontaktiert, der die Störungsmeldung am Bedienpanel der Steuerung identifiziert und die Störung unter Nutzung der Dokumentation des Anlagenlieferanten analysiert. Führen die in dieser Dokumentation enthaltenen Maßnahmen (z. B. Reset der Steuerung) nicht zur Lösung des Problems, wird die Instandhaltung kontaktiert. Für die weitere Analyse werden zudem die Dokumentationen des Anlagenherstellers bzw. Herstellers einzelner Komponenten (z. B. Identifikationssystem für Werkstückträger) benötigt. Je nach Eingrenzung möglicher Fehlerursachen wird der Anlagenlieferant kontaktiert und eine Beschreibung des Systemzustandes übermittelt. Im Austausch zwischen dem Anlagenlieferanten und dem Instandhalter werden weitere Maßnahmen abgeleitet und die Störung schließlich behoben (z. B. durch mechanisches Verstellen der Initiatoren). Aus dieser Beschreibung lässt sich schlussfolgern, dass ein hoher Anteil der Instandhaltungszeit für die Suche und Erschließung der relevanten Informationen aufgewendet wird und viele Personen am Prozess beteiligt sind.

Unter Nutzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits wird die Störungsmeldung dem Instandhalter direkt auf einem mobilen Endgerät angezeigt. Die Analyse möglicher Fehlerursachen und Ableitung entsprechender Maßnahmen wird durch den bereitgestellten Handlungsleitfaden unterstützt. Ein Kontakt zum Anlagenlieferant ist in diesem Fall nur erforderlich, falls der Instandhalter Rückfragen hat oder die Störung auf einen anderen Fehler wie bspw. der programmierten Steuerung zurückzuführen ist.

Die Modellierung der Prozesse ist in Abbildung 7 dargestellt, wobei die S-CPS-Komponenten kursiv hervorgehoben sind. Es wird deutlich, dass durch die Nutzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits Prozessschritte eliminiert und vereinfacht werden können. Die Beurteilung anhand ausgewählter Prozesszielgrößen erfolgt im nachfolgenden Abschnitt.



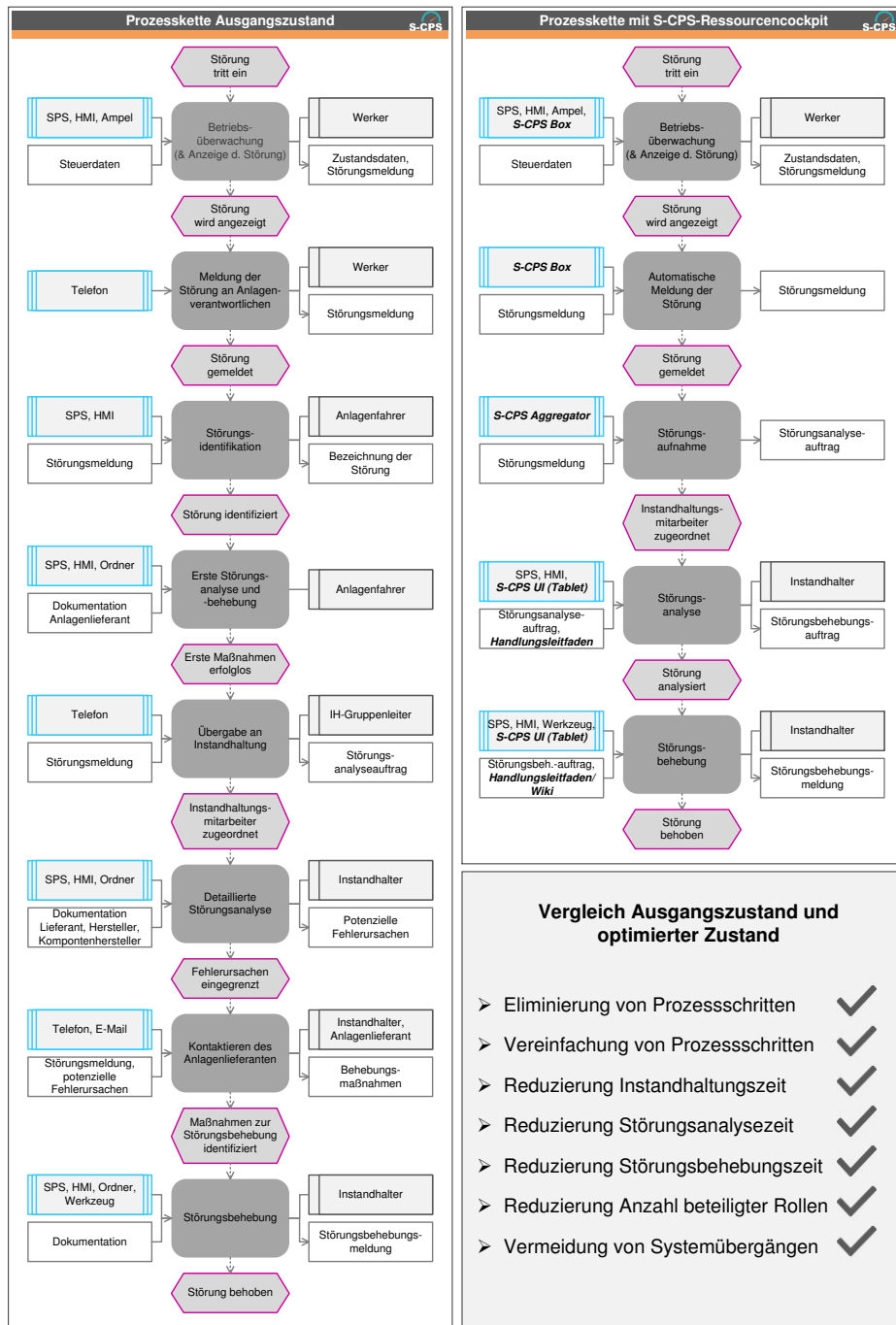


Abbildung 7: Vergleich des Ausgangsprozesses und des optimierten Prozesses unter Nutzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits im Test Case

### 5.3 Beurteilung der Prozessverbesserung im Demonstrator

Die Beurteilung der Prozessverbesserung durch das S-CPS Ressourcen-Cockpit erfolgt unter Anwendung ausgewählter Kennzahlen aus Abschnitt 4.2.

#### **Instandhaltungszeit**

Die Instandhaltungszeit setzt sich aus der Reaktions-, Analyse- und Behebungszeit zusammen. Während im Ausgangszustand eine manuelle Meldung an den Anlagenfahrer erfolgt, kann die Reaktionszeit unter Nutzung des Ressourcen-Cockpits verkürzt werden, indem die automatische Meldung direkt an den Instandhalter erfolgt. Für die Analyse der Störung werden im Ausgangsszenario die Suche und Erschließung geeigneter Informationen in der Dokumentation berücksichtigt, die je nach Häufigkeit der Arbeit mit dem entsprechenden System sehr hoch ausfallen kann. Das Ressourcen-Cockpit stellt stattdessen einen Handlungsleitfaden bereit, der eine gezielte Analyse ermöglicht. Das Einsparpotenzial der Analysezeit wird für den Test Case auf bis zu 75 % eingeschätzt, hängt jedoch stark von der Ausgangsbasis der Anlagendokumentation sowie der Art der Aufbereitung der Informationen im Handlungsleitfaden ab. Die Behebungszeit hängt von der Art der Störung und der zugrundeliegenden Fehlerursache ab. Falls zusätzliche Abstimmungen mit dem Anlagenlieferanten erforderlich sind, hängen diese weiterhin von der Verfügbarkeit der jeweiligen Ansprechpartner ab. Die Störungsbehebung mithilfe des Ressourcen-Cockpits wird durch den Handlungsleitfaden und ggf. durch ein Wiki unterstützt, sodass grundsätzlich keine weiteren Abstimmungen erforderlich sind. Insgesamt kann die Reduzierung der Instandhaltungszeit für das betrachtete Szenario im Demonstrator auf bis zu 50 % geschätzt werden.

#### **Anzahl beteiligter Rollen**

Im Ausgangszustand sind neben dem Werker und dem Instandhalter zusätzlich der Anlagenfahrer, der Instandhaltungs-Gruppenleiter sowie der Anlagenlieferant am Prozess beteiligt. Dies führt zu zusätzlichem Kommunikations- und Abstimmungsaufwand, der durch das Ressourcen-Cockpit stark verringert werden kann.

#### **Anzahl Systemübergänge**

Im Ausgangszustand werden verschiedene Medien zur Kommunikation (Telefon, E-Mail) und Dokumentation (schriftliche Anlagendokumentation, manuelle Störungsmeldung) benötigt. Durch das Ressourcen-Cockpit kann ein durchgängiges System genutzt werden und der Kommunikationsaufwand wird verringert. Dadurch wird der Instandhaltungsprozess vereinfacht. Zusätzlich entfällt die Übertragung manuell geführter Dokumente in ein IT-System

(z. B. zur Dokumentation aufgetretener Störungen), die zusätzlichen Aufwand verursacht und zu weiteren möglichen Fehlern führen kann.

### **Bereitstellungsaufwand für Instandhaltungsinformationen**

Die für die Instandhaltung erforderlichen Informationen müssen vor deren Anwendung in einem bestimmten Szenario zur Verfügung stehen. Im Ausgangszustand umfassen diese die vom Hersteller bzw. Anlagenlieferanten standardmäßig bereitgestellten Dokumentationen. Für die Entwicklung des Handlungsleitfadens und ggf. weiterer Dokumente des S-CPS Ressourcen-Cockpits ist zunächst der Erstellungsaufwand zu berücksichtigen, der jedoch durch die Bereitstellung von Vorlagen o. ä. reduziert werden kann.

### **Ausfallzeit**

Im vorliegenden Anwendungsszenario wird davon ausgegangen, dass die Ausfallzeit der Instandhaltungszeit entspricht, da es sich lediglich auf einen Störfall bezieht. Dementsprechend liegt ein hohes Potenzial zur Reduzierung der Ausfallzeit bzw. Steigerung der Anlagenverfügbarkeit vor.

### **Zusammenfassende Betrachtung**

Für den umgesetzten Demonstrator des S-CPS Ressourcen-Cockpits liegen hohe Potenziale zur Reduzierung der Instandhaltungszeit, der am Instandhaltungsprozess beteiligten Rollen sowie der Anzahl von Systemübergängen vor (siehe Abbildung 7). Andererseits ist der initiale Aufwand zur Erstellung der unterstützenden Dokumente (z. B. Handlungsleitfaden) als hoch einzustufen und wurde für den vorliegenden Demonstrator nur exemplarisch für einzelne Störungskategorien umgesetzt. Weiterhin ist festzustellen, dass die konkrete Auswirkung der Prozessverbesserung stark vom Ausgangszustand abhängt. In jedem Falle bietet die Umsetzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits jedoch Potenziale zur Steigerung der Transparenz und Standardisierung der Instandhaltungsprozesse.

## **6 Fazit**

Im Zuge aktueller Entwicklungen wird die Digitalisierung der Unternehmen in Form der informationstechnischen Vernetzung von Produktionssystemen zunehmend vorangetrieben. Die Instandhaltung bietet hierfür ein großes wirtschaftliches Potenzial, da sie eine wichtige Rolle zur Steigerung der Produktivität von Unternehmen spielt. Zudem zeichnen sich Instandhaltungsprozesse durch heterogene Aktivitäten mit verschiedensten menschlichen und

technischen Akteuren aus. Durch den Einsatz von S-CPS können die Planung, Steuerung und Durchführung von Instandhaltungsaufgaben unterstützt werden. Dies betrifft insbesondere die rollen- und kontextspezifische Daten- und Informationsbereitstellung für die mobilen Mitarbeiter durch das S-CPS Ressourcen-Cockpit. Hierzu werden im vorliegenden Beitrag verallgemeinerte Referenzmodelle für Instandhaltungsprozesse beschrieben. Der Einsatz von S-CPS in Instandhaltungsprozessen bietet verschiedene Potenziale zur Prozessoptimierung, die anhand der vorgestellten Zielgrößen beurteilt werden können. Die exemplarische Anwendung des S-CPS Ressourcen-Cockpits wird anhand eines Demonstrators aufgezeigt und die Verbesserungspotenziale anhand eines konkreten Test Cases diskutiert. Hierbei zeigt sich ein großes Potenzial zur Reduzierung der Instandhaltungszeit und zur Vereinfachung der Instandhaltungsprozesse.

## 7 Literaturverzeichnis

- Bauer, W., Schlund, S., Marrenbach, D., & Ganschar, O. (2014). *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland – Studie*. Berlin: BITKOM.
- Bauernhansl, T., ten Hompel, M., & Vogel-Heuser, B. (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendungen, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2010). *DIN EN 13306 – Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung*. Berlin: Beuth.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2012). *DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung*. Berlin: Beuth.
- Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., & Zanin, G. (2014). Industrial maintenance policy development: A quantitative framework. *International Journal of Production Economics*, 147, 85-93.
- Gadatsch, A., (2008). *Grundkurs Geschäftsprozess-Management – Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker*. Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag.
- Geisberger, E., & Broy, M. (2012). *agendaCPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE)*. München, Berlin: acatech.
- Hopf, H., Jentsch, D., Löffler, T., Horbach, S., & Bullinger-Hoffmann, A. C. (2014). Improving Maintenance Processes with Socio-Cyber-Physical Sys-

- tems. In F. F. Chen (Hrsg.), *Proceedings of the 24th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing* (S. 1163-1170). Lancaster, Pennsylvania, USA: DEStech Publications.
- Hopf, H., & Müller, E. (2015). Modellierung und Optimierung von Instandhaltungsprozessen mit Sozio-Cyber-Physischen Systemen. In E. Müller (Hrsg.), *Vernetzt planen und produzieren – VPP2015. Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 21*, (S. 389-398). TU Chemnitz.
- IFMA (2015). *Prozess-/Leistungsmodell ProLeMo*. <http://www.ifma.ch/standards-richtlinien/prolemo>
- Koch, S. (2015). *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen – Six Sigma, Kaizen und TQM*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kovacs, A., Erdos, G., Viharos, Z. J., & Monostori, L. (2011). A system for the detailed scheduling of wind farm maintenance. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60, 497-501.
- Lee, E. A. (2006). *Cyber-Physical Systems – Are Computing Foundations Adequate?. Position Paper for NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap*. Austin.
- Müller, E., Hopf, H., Clauß, M., & Börner, F. (2016). Cyber-Physische Systeme in der Instandhaltung - Herausforderungen und Chancen. In: G. Horn (Hrsg.), *Der Instandhaltungs-Berater* (S. 1-30). Köln: TÜV Media GmbH.
- Palleduhn, U., & Neuendorf, H. (2013). *Geschäftsprozessmanagement und Integrierte Informationsverarbeitung*. München: Oldenbourg.
- Riedel, R., Göhlert, N., & Müller, E. (2015). Industrie 4.0 in der Textilindustrie – Ansätze der Smart Factory unter besonderer Berücksichtigung textiler Produkte und Prozesse. *wt Werkstattstechnik online*, 105 (4), 195-199.
- Schenk, M., Wirth, S., & Müller, E. (2014). *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb - Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V. (2015). *VDI 2890 Entwurf – Planmäßige Instandhaltung – Anleitung zur Erstellung von Arbeits-, Wartungs- und Inspektionsplänen*. Berlin: Beuth.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V. (2006). *VDI 2893 Auswahl und Bildung von Kennzahlen für die Instandhaltung*. Berlin: Beuth.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V. (2012). *VDI 2895 – Organisation der Instandhaltung – Instandhalten als Unternehmensaufgabe*. Berlin: Beuth.

## Autoren



### Hopf, Hendrik

Dr.-Ing. Hendrik Hopf ist Gruppenleiter an der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Chemnitz. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Fabrik- und Logistikplanung, Industrie 4.0 sowie Energie- und Ressourceneffizienz.



### Krones, Manuela

Dipl.-Math. oec. Manuela Krones ist seit 2011 Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Chemnitz. Ihre Forschungsfelder liegen in den Bereichen Fabrik- und Logistikplanung, Energieeffizienz und Kompetenzentwicklung.



### Müller, Egon

Prof. Dr.-Ing. Egon Müller leitet die Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb an der Technischen Universität Chemnitz. Die Arbeitsgebiete der Professur liegen vorwiegend in der Untersuchung und Entwicklung zukünftiger Produktionsstrukturen und neuartiger Fabrikkonzepte sowie der Erarbeitung von Methoden und Werkzeugen für die Planung und den Betrieb energieeffizienter und wandelbarer produktionstechnischer Systeme und Fabriken.