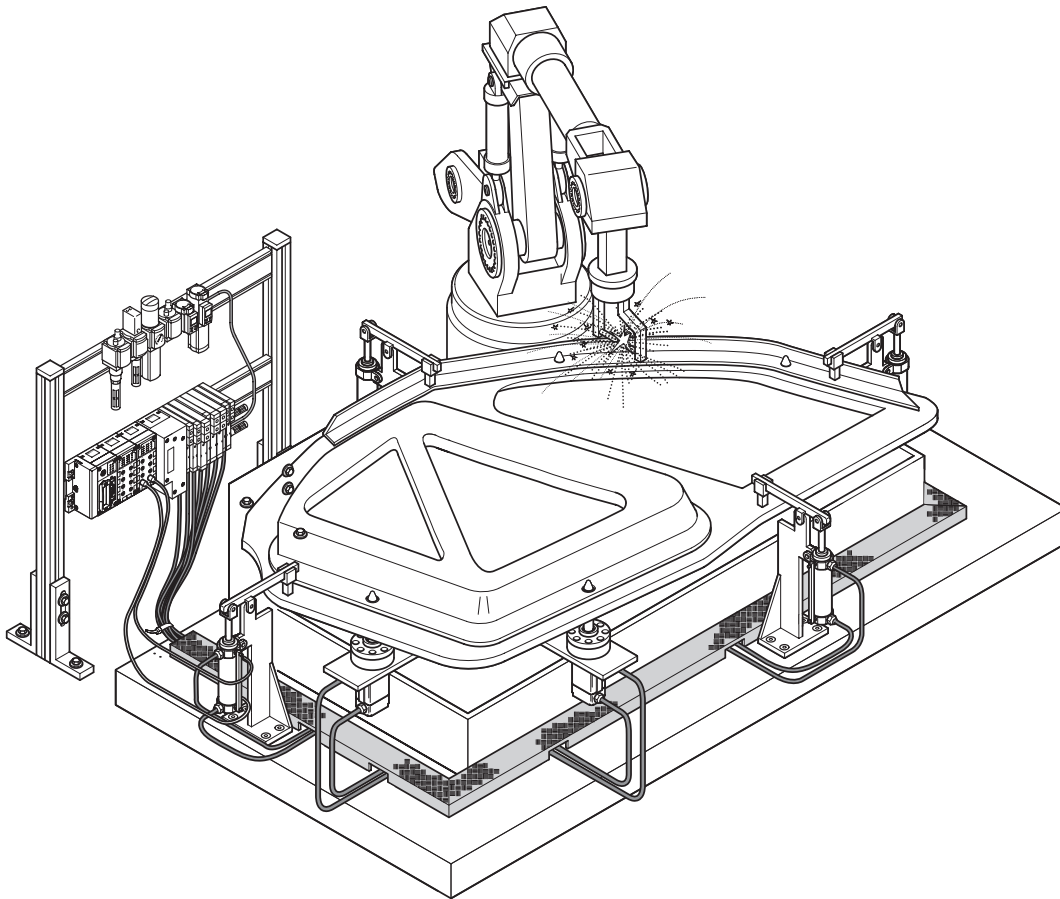


White Paper: Predictive Maintenance bei pneumatischen Antrieben am Beispiel der Servopneumatischen Schweißzange



Die Anwendung neuer Trends wie Cloud Computing, IoT und Big Data kann große Einsparpotentiale für die Instandhaltung in der Karosseriefertigung bedeuten. Dieses White Paper betrachtet beispielhaft anhand der servopneumatischen Schweißzange wie mit Predictive Maintenance Herausforderungen überwunden und erhebliche Produktivitätssteigerungen erzielt werden können.

Erfahren Sie mehr über:

- Konzept und Basisarchitektur
- Stufenplan, um Komplexität und Risiken zu minimieren
- Datenanalyse und Datentransparenz
- Condition Monitoring und KI-Modelle
- Business Case und Datenhoheit

Executive Summary

Die Karosseriefertigung mit ihren Prozessketten Werkzeugbau, Presswerk, Karosseriebau und Lackiererei ist ein wesentlicher Bestandteil im Automobilbau. Sie besitzt ein sehr hohes Einsparpotential hinsichtlich der Energie- und Instandhaltungskosten. Das Thema Energieeffizienz im Karosseriebau, in dem viel pneumatische Antriebstechnik eingesetzt wird, wurde bereits in den letzten Jahren thematisiert und vorangetrieben¹.

Welche Einsparpotentiale eröffnen sich nun zusätzlich für die Instandhaltung durch die Anwendung neuer Trends wie Cloud Computing, IoT und Big Data? Dieses Papier beschreibt das Vorgehen in Kundenprojekten, beispielhaft an der servopneumatischen Schweißzange für Großkunden im Automobilbau, wie Herausforderungen in der Instandhaltung mit der Erweiterung um Cloud-Mehrwertdienste erfolgreich überwunden werden und zu erheblichen Produktivitätsverbesserungen beitragen können. Komponenten- und Prozessdaten liefern dabei wichtige Ansatzpunkte zur Interpretation des Systemzustandes.

Die Vorgehensweise lässt auch generelle Rückschlüsse auf die Instandhaltung in anderen Industriezweigen zu, wenn es sich um pneumatische Antriebe handelt.

¹ Innovations-Allianz. Planung des effizienten Einsatzes von Druckluft im Karosseriebau. Technical report, Green Carbody - Projektkonsortium, 2013.

1. Predictive Maintenance im Fokus

1.1 Die Herausforderungen

Das Thema „Predictive Maintenance“ rückt zunehmend in den Fokus. Der Schritt von vorbeugender Wartung zur Vorhersage des Maschinenzustands ist ein Trend, aber auch eine große Herausforderung, um die Instandhaltung weiter zu optimieren. Kann man das Versprechen tatsächlich einlösen? Fakt ist: Gegenüber den klassischen Condition Monitoring Ansätzen ergeben sich mit den Mitteln von Industrie 4.0 nun erweiterte Möglichkeiten, z.B. das Zusammenführen von Geräte- und Prozessdaten und die Auswertung mit KI-Modellen in der Cloud.

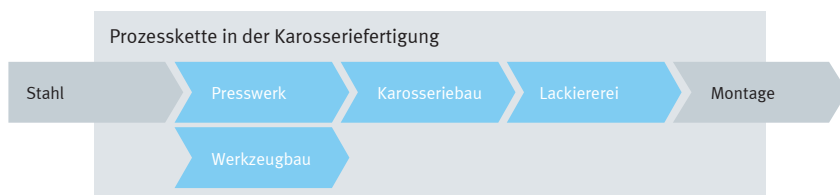


Abbildung 1. Gewerke im Automobilbau ¹

1.2 Mehrwert durch Dateninterpretation

In mechatronischen Systemprodukten von Festo wie Schweißzangenantrieben für das Widerstandspunktschweißen werden heute schon viele Daten verarbeitet und zu Diagnosen vorverdichtet, die für die Instandhaltung nutzbar sind. Jedoch reicht es nicht aus, Daten nur bereitzustellen und anzuzeigen. Herausforderung ist es, mit den Daten aus den Geräten, den Daten aus dem Applikationsumfeld und dem Wissen über die Prozesse echte Mehrwerte für den Endkunden zu liefern. Erst dann ergeben sich daraus neue Geschäftsmodelle und verkaufbare Produkte für die Komponentenhersteller.

Bezüglich des Informationsflusses ist sicherzustellen, dass die Prädiktionsmeldung wieder zurück bis zur jeweiligen betroffenen Anlage/Instandhalter erfolgt. Die Auswahl und Umsetzung dieses vom Endkunden initiierten Innovationsprojektes im Karosseriebau erfolgt nach einem definierten Reifegradmanagementprozess.

Zunächst wird die Projektidee transparent dargestellt und eingeordnet. Anschließend wird das Potential dieser Lösung untersucht und folgend dann im „Proof of Concept“ bestätigt. Anschließend folgt ein Pileinsatz in größerem Umfang, um anschließend im Serieneinsatz mit standardisierten Bausteinen final ausgerollt zu werden.

Festo arbeitet in diesem Kontext an einer Digitalstrategie. Es werden Produkte, vor allem Softwarelösungen, und Dienstleistungen für die Kunden entwickelt (², ³).

Neben der klassischen Produktentwicklung im Standardgeschäft sind jedoch neue Wege notwendig: Das Industrie-4.0-Business erfordert eine wesentlich höhere Dynamik als die Standardproduktentwicklung. Nicht alles lässt sich vorab in Anforderungen fixieren oder spezifizieren. Der Weg über kundenspezifische Lösungen mit Kenntnissen der Applikation ermöglicht dagegen iterative und innovative Ansätze und das gemeinsame Lernen. Aus den Erfahrungen ergeben sich dann Potentiale zur Multiplikation für das Standardgeschäft.

Das ist ein grundsätzliches Vorgehen bei diesen Projekten, das sich bewährt hat:

Mit einem konkreten Großkundenprojekt beginnen, daraus lernen, den Ansatz iterativ entwickeln, dann aber darauf achten, dass es zur Multiplikation kommt und Standards entstehen.

➤ Mehrwert lässt sich nur durch die richtige Interpretation der Daten erzielen. Dazu ist Kenntnis von der Applikation Voraussetzung.

¹ Innovations-Allianz. Planung des effizienten Einsatzes von Druckluft im Karosseriebau. Technical report, Green Carbody - Projektkonsortium, 2013.

² Roger Kehl. Das neue Spielfeld des CIO: Digitalisierung- von der Komponente bis zur Cloud. Präsentation, 2017. Vortrag VDMA Kongress.

³ Jan Bredau und Filip Kubis. Predictive Maintenance für kundenspezifische Systemlösungen/Servopneumatische Schweißzange. Präsentation, 2018. Vortrag VDMA Kongress.

1.3 Ziel: Einsparpotentiale

Ziel war es, in Machbarkeitsstudien Einsparpotentiale aufzuzeigen und gemeinsam Mehrwerte zu erarbeiten.

➤ Algorithmen sollen Komponentenausfälle vorhersagen.

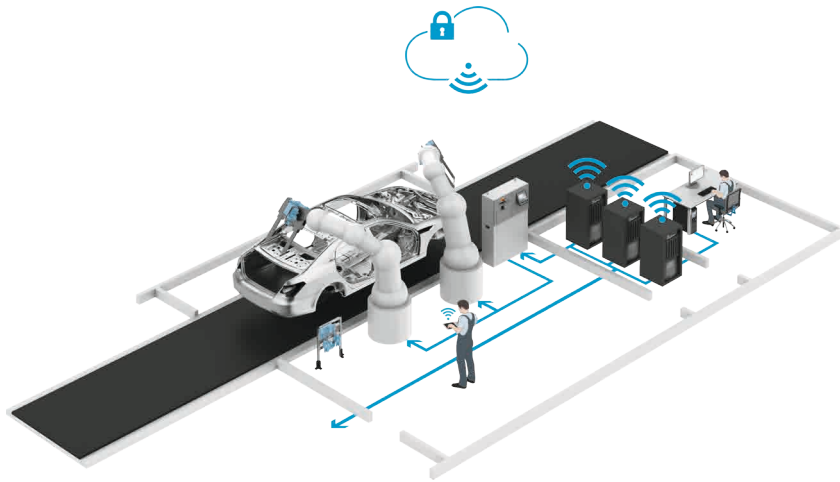


Abbildung 2. Anbindung der Schweißzange an die Cloud über den Anlagen-PC

Als Prämisse wurde vorgegeben, dass eine flexibel einstellbare bzw. geringe Datenerfassung zur Beherrschung des Datenvolumens zwingend erforderlich ist („So wenig wie möglich, so viel wie nötig“). Es sollte außerdem möglichst auf zusätzliche Sensorik und Geräte verzichtet werden. Die servopneumatische Schweißzange ist ein mechatronisches System, dessen Antriebsspaket und die zugehörige Inbetriebnahmesoftware seit Jahren im Karosseriebau eingesetzt und gemeinsam von Endkunde und Technologie-lieferant entsprechend den Anforderungen aus der Produktion stetig weiterentwickelt wird (Abbildung 3, ³).

Während die Produktion heute weitgehend optimiert ist, sind Wartungs- und Instandhaltungsaufwände in der Automobilindustrie Themen mit Optimierungspotenzial. Die Verfügbarkeit ist zwar bereits hoch. Aber der Aufwand, um die hohe Verfügbarkeit zu erreichen (Planung der Instandhaltung, Teilevorrat, vorbeugender Austausch, Reparatur, Serviceeinsätze etc.) ist zu minimieren. Daher ist die Zielgruppe des hier entwickelten Ansatzes ganz klar die Instandhaltung. Aufgrund des großen Einsparpotentials im Karosseriebau wurde das Entwicklungsprojekt mit dem Ziel gestartet, Algorithmen zur Zustandsanalyse (Condition Monitoring) bis hin zur Prädiktion von Komponentenausfällen an der Schweißzange zu implementieren und in die bestehende Infrastruktur zu integrieren.

³ Jan Bredau und Filip Kubis. Predictive Maintenance für kundenspezifische Systemlösungen/Servopneumatische Schweißzange. Präsentation, 2018. Vortrag VDMA Kongress.

2. Umsetzung an der Servopneumatischen Schweißzange

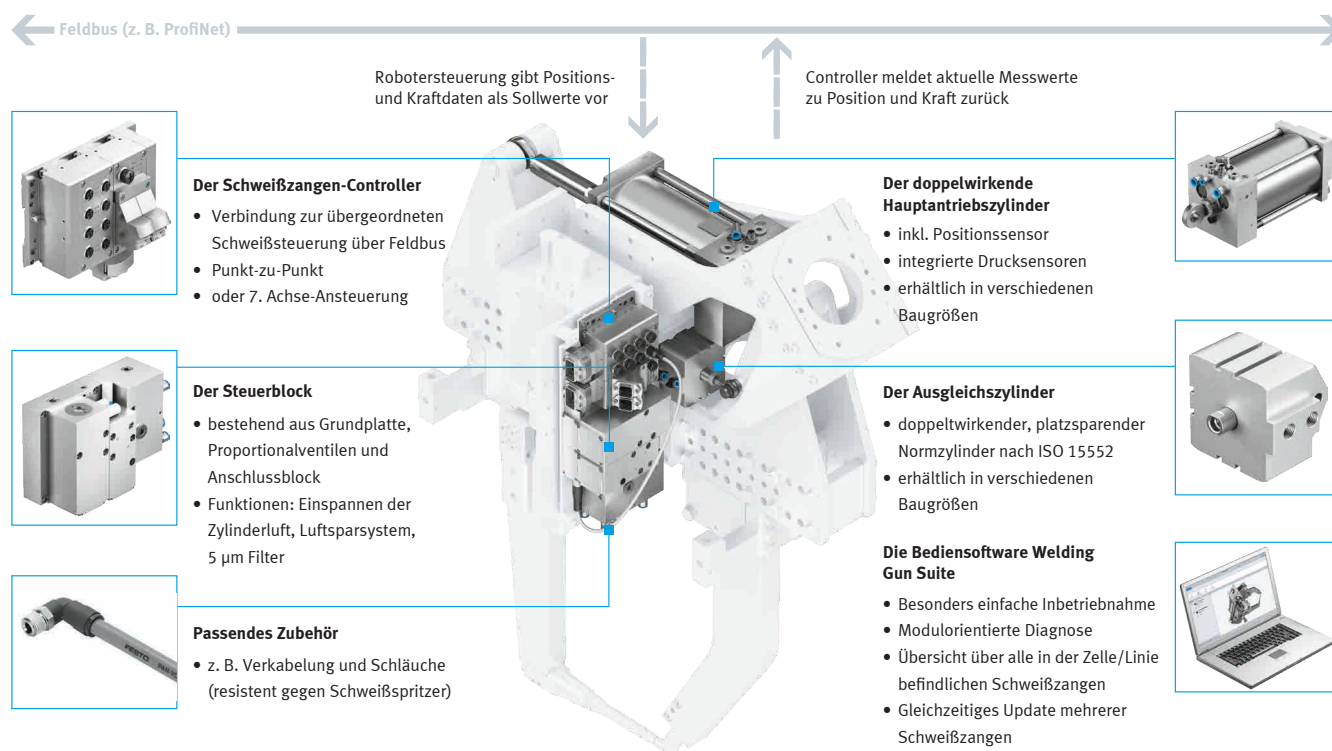


Abbildung 3. Die Hauptkomponenten der Servopneumatischen Schweißzange

Schweißzangen gibt es in C- und X-Bauformen. Die Antriebssysteme sind heute vorrangig geregelt, entweder servoelektrisch oder servopneumatisch.

Das servopneumatische Antriebssystem besteht aus:

- Antriebszylinder mit integrierter Druck- und Positionssensorik
 - Ausgleichszylinder mit Regelventil für die Balancer-Funktion
 - Controller mit Feldbusanbindung an den Roboter (i.d.R. ProfiNet)
 - PC-Software mit grafischer Oberfläche für Inbetriebnahme, Betrieb und Diagnose
- Über den Roboter erhält das System seine Sollwerte für die Positions- und Kraftregelung.

2.1 Konzept und Basisarchitektur

In dem Konzept wird der vorhandene Anlagen-PC der Roboterzelle um eine Software (Festo Welding Gun Cloud Connector) erweitert. Diese sammelt die Diagnosedaten der Schweißzange ein und sendet diese an einen Cloud-Eingangspunkt. In der Cloud wird eine Instandhaltungsapplikation betrieben, welche die Daten im Browser darstellt (Instandhaltungs-Dashboards) und hinsichtlich der zu erwartenden Lebensdauer auf Basis von Verschleißursachen und erlernten Ausfallursachen bewertet (Abbildung 4).

2.2 Stufenplan

Um das Langfristziel „Predictive Maintenance“ zu erreichen, wurde ein Stufenplan erstellt, der die Komplexität und Risiken bei der Umsetzung reduzieren soll und mit jedem Schritt Mehrwerte für den Instandhalter generiert.

- 1 Definition, Hypothesenbildung und Cloud-Connectivity
- 2 Daten sammeln, anzeigen und evaluieren; Condition Monitoring Modelle
- 3 Physikalische Modellbildung und KI-Modelle mit dem Fokus auf prädiktiver Instandhaltung
- 4 Ausrollen des Produkts zur vorausschauenden Wartung

➤ Schrittweises Vorgehen minimiert Komplexität und Risiken.

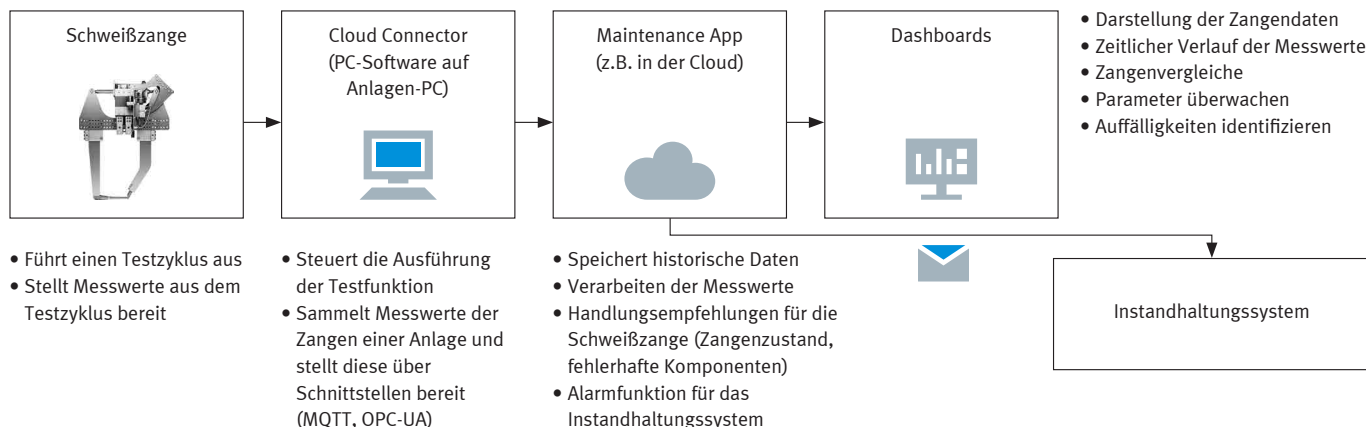


Abbildung 4. Anbindung der Schweißzange an die Cloud über den Anlagen-PC

Für Endkunden ebenso wie den Systemlieferanten besteht die erste Herausforderung darin, Daten der Schweißzangen aus der Produktion in die Cloud zu transportieren. Anforderungen an Netzwerkauslastung, Prozessorlasten und Datensicherheit waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt. Wenn diese Anforderungen nicht ermittelt und umgesetzt werden können, ist der Use Case mit dieser Basisarchitektur nicht zu realisieren.

2.3 Testfunktion des Antriebssystems

Die Definition der zu speichernden Daten war geprägt von Diskussionen zwischen den Erwartungen der Data Scientisten, dem technisch Möglichen und dem technisch Sinnvollen. Während der Data Scientist möglichst hochaufgelöste Sensor- und Umgebungsdaten wollte, mussten die Experten der Schweißzange bremsen: Die eingesetzten, seit Jahren bewährten Komponenten können dem Festo Welding Gun Cloud Connector die Sensordaten nicht im Millisekundentakt bereitstellen.

Neben dieser rein technologischen Restriktion waren sich die Domänenexperten der Schweißzange einig, dass das Abspeichern in dieser Detailtiefe keinen Mehrwert bietet und nur zu erhöhten Kosten für den Datentransfer und Verarbeitung in der Cloud geführt hätte.

Stattdessen wurde ein Testzyklus eingeführt, bei dem die Schweißzange außerhalb ihres produktiven Einsatzes ca. 3 - 5 mal täglich in eine definierte Orientierung ausgerichtet wird und fest vorgeschriebene Bewegungsaufgaben ausführt (Positionier- und Kraftaufbauvorgänge). Während der Bewegung werden Kennwerte wie Positionierzeiten oder Reibung in der Schweißzange ermittelt und als Ergebnis der Testfunktion in der Cloud-Applikation weiterverarbeitet.

Neben diesen Prozessdaten werden auch Komponentendaten (z.B. Firmwareversion, Seriennummer), Kalibrierdaten, Reglerdaten und Betriebsdaten (z.B. Anzahl der Schweißpunkte, Betriebsstunden) übertragen und abgespeichert. Sie liefern ebenfalls wichtige Informationen, die zur Interpretation des Zangenzustandes notwendig sind.

Mit dieser Lösung ist das Datenaufkommen gering. Pro Tag und Schweißzange werden weniger als 10 Kilobyte übertragen.

➤ Prozess- und Komponentendaten liefern wertvolle Hinweise – trotz geringem Datenumfang.

2.4 Hypothesenbildung

Die Definition der Testfunktion ist eng an das Thema Hypothesenbildung gekoppelt. Die Lieferanten der IoT-Lösungen sollten frühzeitig Hypothesen zum Zusammenhang von Messgrößen und Fehlerfolge/Ereignis erstellen. Dies sollte in der Hypephase von IoT und Big Data auch das Know-how des Domänenexperten berücksichtigen. Damit sollte die Erfolgswahrscheinlichkeit der Projekte erhöht werden – ohne rein datengetrieben im Nebel zu stochern.

Bei der Schweißzange wurde vermutet, dass Positionierzeiten, Kraftaufbauzeiten und Reibung mit Zylinderverschleiß, Zylinderausfall, Zylinderundichtigkeit, Systemleckagen oder unerwarteter externer Belastung korrelieren (Abbildung 5). Dies sollte im Schritt zwei und drei des Stufenplans gezeigt werden.

2.5 Daten sammeln und bewerten

Nach erfolgreichem Test in einer ersten Pilotanlage wurde die Applikationssoftware auf 250 Schweißzangen ausgerollt. Es wurden kontinuierlich Daten der Schweißzangen gesammelt und bewertet. Mittlerweile sind ca. 2500 Systeme angebunden.

Erste Tests im Karosseriebau führten zu einer hohen Auslastung im Produktionsnetz. Dies beeinflusste die Software: der Welding Gun Cloud Connector wurde angepasst. Die im Dashboard angezeigten Daten der Testfunktionen hatten einen unerwarteten zeitlichen Verlauf und bedurften einer regelmäßigen Überprüfung durch die Schweißzangen-experten. Sie sollten klären, ob es sich um einen Bug innerhalb der Cloud-Kommunikation handelt oder durch andere Effekte verursacht wurde (physikalisches Modell). Trotz des umfangreichen Domänenwissens und der überschaubaren Komplexität der Cloud-Kommunikations-Software entstanden spürbare beiderseitige Aufwände zur Bewertung der Ergebnisse. Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft ein Dashboard mit einfachen Assetdaten bis hin zu Fehlerkurven.

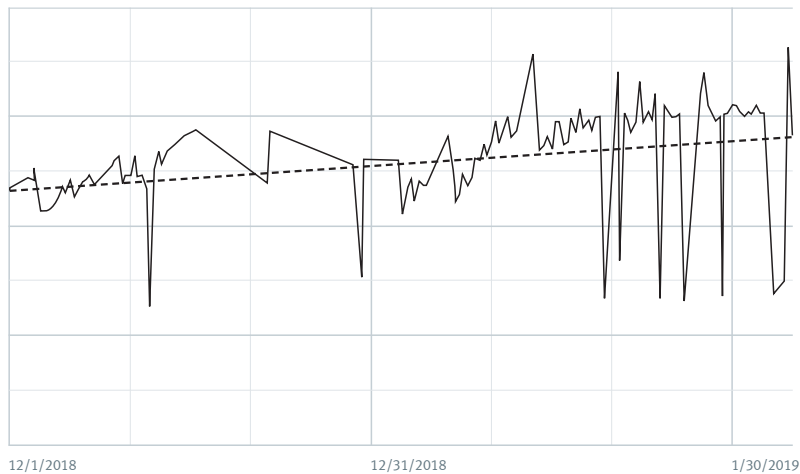


Abbildung 5. Verlauf der Positionierzeiten des Hauptzylinders

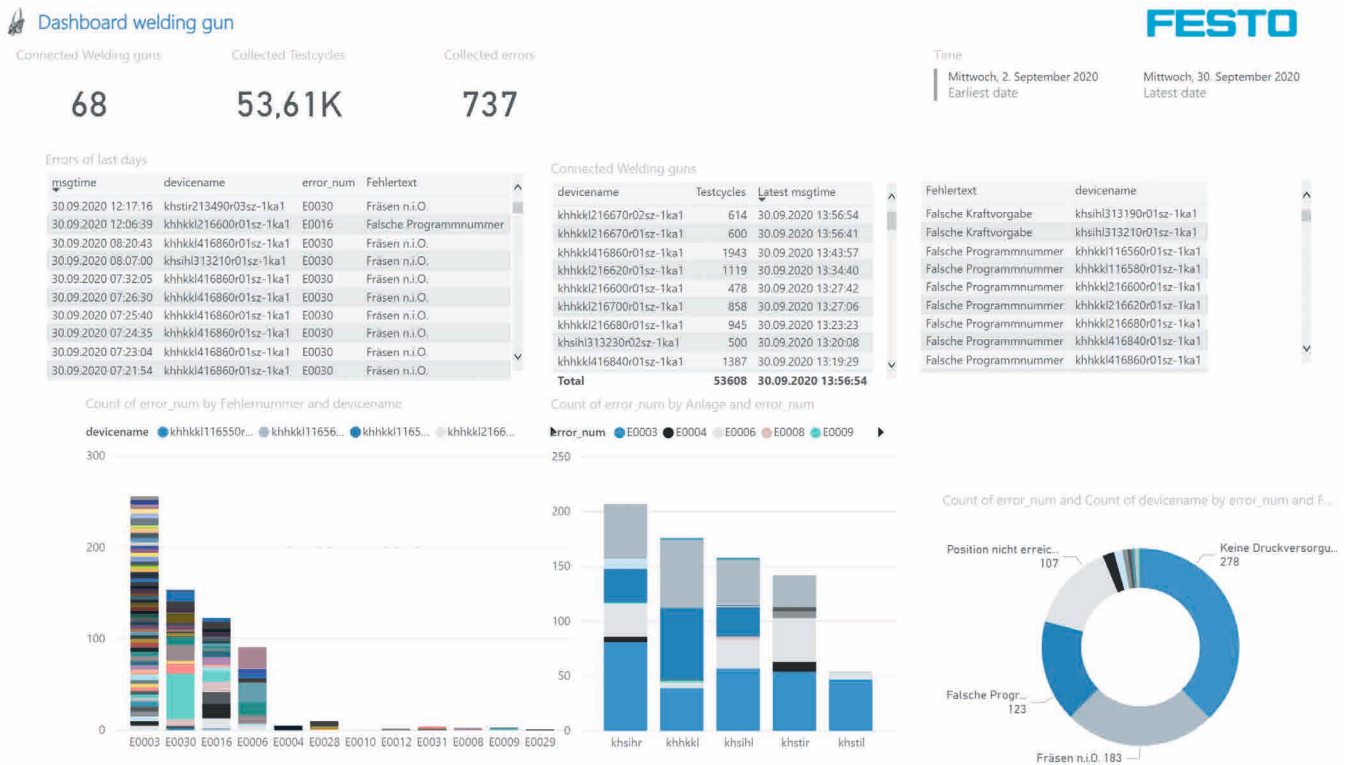
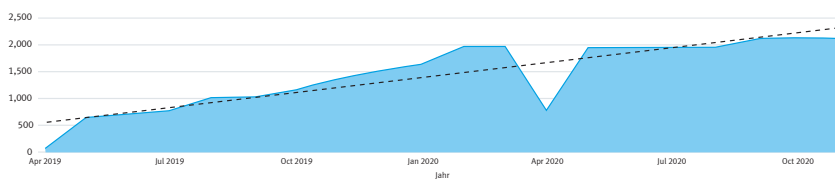


Abbildung 6. Beispielhafte Darstellung eines Dashboards

Angeschlossene Schweißzangen



Ausgeführte Testzyklen

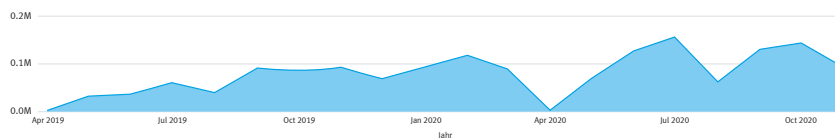


Abbildung 7. Angeschlossene Schweißzangen und ausgeführte Testzyklen im Zeitverlauf

2.6 Datentransparenz: 25 % weniger Störungen

Zur Visualisierung der Daten im Browser wird Power BI, eine Business Analytics-Anwendung, verwendet. Um die Komplexität und Schnittstellen in dieser frühen Projektphase zu reduzieren, entschied sich das Projektteam bewusst gegen eine performantere Lösung. Über diese Software können Dashboards mit geringem Aufwand und lediglich mit Excel-Know-how konfiguriert werden.

Bereits die Darstellung von Übersichten (Wo läuft welche Firmware? Welche Reglerparameter werden in welcher Zange genutzt?) bringen dem Instandhalter Mehrwerte. Zusammen mit dem Fehlerbild bei einem Stillstand kann er eine erste Diagnose zur Fehlerursache erstellen. Nach der Testphase, wenn die Dashboards einen stabilen Stand haben, werden diese nun sukzessive durch performantere, kostengünstigere auf den Use Case zugeschnittene Weboberflächen ausgetauscht.

Nach einer Auswertung der Zangendaten konnten weitere Verschleißfälle vor dem eigentlichen Ausfall identifiziert werden. Diese wurden gesammelt und zum Jahresende in einer Nutzenbetrachtung ausgewertet. Hier konnte in Summe bei Störungen >30 Minuten bereits die Störzeit um 22 % reduziert werden. Die Anzahl der Störungen konnte dementsprechend um 25 % reduziert werden.

➤ Durch die Auswertung der Daten in einfachen Dashboards ließen sich die Störzeiten um 22 %, die Störungen um 25 % reduzieren.

2.7 Condition Monitoring und KI-Modelle

Neben der Auswertung von Reibkennlinien oder Positionierzeiten über die Lebensdauer sollten in der zweiten Stufe bereits erste Grenzwerte für diese Kennwerte ermittelt werden, um später gemäß VDMA-Einheitsblatt 24582 ⁴ den Zangenzustand über das Instandhaltungs-Dashboard darzustellen.

Wie im Condition Monitoring stellte sich auch im Projektverlauf die Frage nach den korrekten Grenzwerten für eine Warnung oder einem kritischen Alarm. Aufgrund der großen Vielfalt an Zangengeometrien, unterschiedlichen Reglerparametern und noch geringer Erfahrungswerte (zu wenige Komponentenausfälle für eine statistische Relevanz) ist die Bestimmung der Grenzen nun ein essenzieller Arbeitsschwerpunkt.

Ursprünglich sollten gemäß Stufenplan die Kennwerte der Schweißzange zunächst zustandsbasiert überwacht werden, bevor Methoden der prädiktiven Instandhaltung angewendet werden. Um jedoch auch schon frühzeitig Erfahrungswerte über die Machine Learning-Methoden zu sammeln, wurde mit diesem Ansatz ebenfalls der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Testfunktion und den Rückmeldungen zu Fehlern aus der Instandhaltung untersucht.

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass z.B. zwischen dem Ausfall eines Hauptzylinders und den aufgezeichneten Parametern der Testfunktion ein Zusammenhang besteht. Es konnte dann ein Modell trainiert werden, das im Projektverlauf einen Ausfall korrekt vorhersagte. Durch das Ergebnis wurden Zylinder vorbeugend getauscht. Untersuchungen bestätigten, dass ein Lebensdauerende kurz bevorstand.

➤ Machine Learning belegt: Zwischen dem Ausfall eines Hauptzylinders und den aufgezeichneten Parametern der Testfunktion besteht ein Zusammenhang, der die Lebensdauer von Zylindern vorhersagbar macht.

⁴ VDMA. Feldbusneutrale Referenzarchitektur für Condition Monitoring in der Fabrikautomation. Einheitsblatt 24582, 2014. Industriestandard.

2.8 Business Case und Datenhoheit

Neben dem Erarbeiten der technologischen Basis für Festo ist das Thema Geschäftsmodelle essenziell. Ist es eine reine Entwicklungsleistung oder ein Produkt?

Es gibt zwei Ansätze:

- Fall A: Daten werden vom Systemlieferant bereitgestellt, der Endkunde/Betreiber wertet selbst aus.
- Fall B: Daten werden vorverdichtet, durch den Systemlieferanten ausgewertet und dem Betreiber werden Informationen/Hinweise zur Wartung geliefert.

Unser Ziel als Systemlieferant ist es, den Kunden ein offenes Produkt anzubieten, das dieser entsprechend seinen Bedürfnissen nutzen kann. Ohne Daten vom Kunden lässt sich auch das Produkt nicht optimieren. Daraus entsteht eine Win-Win-Situation. Aber es gilt: Die Software soll nicht nur ein Add-On sein, sondern ein nachhaltiges verkaufbares Produkt.

In diesem Fall entschied man sich auf Kundenseite, den Domänenexperten des Pneumatiklieferanten die Auswertung und Analyse zu überlassen. Die Software von Festo erhält Daten aus der Produktion und spiegelt Ergebnisse an den Endanwender zurück. Der Ansatz: Software as a Service (SaaS).

In Bezug auf die Datenhoheit gilt: Der Nutzer kann jederzeit entscheiden, welche Daten er dem Domain-Experten (hier Festo) liefert. Aufgrund der Dynamik bei der Entwicklung im IoT Umfeld (steigende Rechenleistung der Hardware, Gateways Cloudlösungen, neue Algorithmen) war ein Verkauf und die mehrjährige Wartung einer einmal ausgelieferten Software nicht sinnvoll. Es wurde ein Abo-Modell etabliert, indem Kosten pro Schweißzange und pro Jahr verrechnet werden, die SW wird permanent weiterentwickelt. Die Entwicklung eines Geschäftsmodells und der entsprechenden Strategie der Produktpositionierung muss zu Beginn erfolgen, darf nicht erst nach Entwicklung der Technologie erfolgen.

Die Datenhoheit liegt immer beim Nutzer. Festo bietet hier Software as a Service (SaaS) an.

2.9 Partner

Aufgrund der vielfältigen, teilweise unbekannten Technologien arbeiteten neben den Experten der Schweißzange auch IT-Experten mit, um bei der Konfiguration der Cloud-Komponenten wie IoT-Hubs, Datenbanken oder Webseiten zu beraten.

In verschiedenen Workshops wurden Wege für die Zukunft skizziert, wie die verschiedenen Cloud-Dienste und lokalen Instandhaltungssysteme miteinander kommunizieren.

3. Fazit und Ausblick

Die Reduktion unvorhergesehener Stillstandszeiten und Service- / Reklamationskosten benötigt ein Mindestmaß an Zusammenarbeit zwischen Systemlieferant und Endkunde. Für die Einführung dieser Instandhaltungsstrategien ist ein gegenseitiges Verständnis und Vertrauen notwendig, da es initialer Aufwendungen bedarf und ein langfristiger Mehrwert zu Projektbeginn nicht garantiert werden kann.

Ein schlanker Ansatz zur Implementierung von Predictive Maintenance in der Produktion kann funktionieren, wenn Domänenexperten von IT-Experten, Programmierern und Data Scientisten unterstützt werden. Das stufenweise Vorgehen erweist sich als effektiv, da Projektrisiken minimiert und auch in Zwischenschritten Mehrwerte in der Instandhaltung generiert werden.

Im Fall der Schweißzange ergeben sich erste Erfolge wie Datentransparenz und frühzeitige Erkennung von Zylinderausfällen. Dadurch konnten bereits ca. ein Viertel der Großstörungen bzw. Störzeiten im Karosseriebau vermieden werden, da die Reparatur in der produktionsfreien Zeit stattfinden konnte.

Des Weiteren bietet der Ansatz den Vorteil, den Status der Zangen im Leitsystem des Kunden abzubilden. Damit lassen sich automatische Aufträge und ein individueller

Zangenlebenslauf generieren und diverse Filterfunktionen und Vergleichsmöglichkeiten ausgeben. Die frühzeitige Erkennung von Undichtigkeiten in den Komponenten führt zu einer Reduktion des Energieverbrauchs.

Schlüsselfaktoren für diese erfolgreiche Verbesserung der Instandhaltung sind Ausdauer der Projektpartner und das bewusste Einbauen von Phasen, in denen lediglich Daten und Fehlerfälle gesammelt werden, um diese über einen längeren Zeitraum zu bewerten. Die Technologieentwicklung und das Aufzeigen von Mehrwerten müssen Hand in Hand gehen. Zudem ist ein Geschäftsmodell zu definieren, wie das SW-Produkt positioniert wird.

In den nächsten Schritten werden Algorithmen zur Detektion von Komponentenausfällen verfeinert (z.B. Detektion von Bügelbrüchen). Zur Anzeige von Grenzwertverletzungen in den bestehenden Instandhaltungssystemen soll eine Schnittstelle zwischen dieser Software und der Cloudlösung geschaffen werden.

➤ Frühzeitige Erkennung bevorstehender Ausfälle, Statusabbildung im Leitsystem des Kunden, individueller Zangenlebenslauf und Energieeinsparungen sind die Mehrwerte, die sich aus I4.0-Ansätzen ergeben.

Herausgeber / Autor:
Festo SE & Co. KG
Ruiter Straße 82
73734 Esslingen
www.festo.com/process

Jan Bredau
Product Management and Software System Solutions
Jan.bredau@festo.com

Filip Kubis
System-Engineering
Filip.kubis@festo.com