



Smart Sensors, Augmented Reality, Knowledge Graphs & MQTT Data Hubs für den Remote Service

Use Case Design für den Maschinen- und Anlagenbau

[1 Fazit – Neue Technologien können fast alles bis auf eines!](#)

[2 Mehrwert – Wie kann ein Remote Service ihn generieren?](#)

[3 Technologien – Welche können neuen Mehrwert generieren?](#)

[4 Use Case - Was wird sich an der heutigen Realität verändern?](#)

[5 Testen - Machbarkeit und Marktresonanz frühzeitig absichern!](#)

1 Fazit - Neue Technologien können fast alles bis auf eines!

Während klassische Serviceaktivitäten im Maschinenbau durchaus gewinnbringend sind, garantieren neue Technologien im Service nicht automatisch einen sicheren Markterfolg. Welche Fähigkeiten müssen sie also dafür mitbringen?

Eine der großen Herausforderungen für fast jedes Unternehmen ist der Mangel an qualifizierten Fachleuten bei gleichzeitig steigenden Erwartungen an kurze Reaktionszeiten. Manche digitale Technologien können dem Remote Service neue, faszinierende Fähigkeiten verleihen, um solchen und anderen Herausforderungen zu begegnen. Diese gehen über klassische Anwendungen des "trouble shooting" weit hinaus. Was unterscheidet diese Technologien von anderen?

Geschäftsleitungen achten bei ihren Entscheidungen auf einen messbaren monetären Mehrwert. Sie tun dies meist auf Basis von Daten des letzten Monats, des letzten Quartals oder der letzten Jahre. Realtime-Werte, die eindeutig das Ergebnis ihrer Entscheidungen auf Basis aktueller Daten aufzeigen, stehen ihnen selten zur Verfügung. Die Produktionsverantwortlichen haben zwar Zugriff auf Echtzeit-Daten ihrer Produktionsanlagen, ihnen fehlt aber die Verknüpfung mit ebenso aktuellen kommerziellen Daten. Welchen Beitrag können solche Technologien für bessere Entscheidungen besonders in zeitkritischen Situationen leisten?

Ein Branchenfremder, wie Jeff Bezos konnte in kurzer Zeit den Einzelhandel mit seinem Online-Konzept revolutionieren. Er hat die Schwächen der bestehenden Lösungen erkannt und den Service in seinem Unternehmen durchgehend und kundenzentriert digitalisiert. Einzelhandel und Maschinenbau haben auf den ersten Blick kaum Gemeinsamkeiten. Könnte dem Remote Service trotzdem ein ähnlicher Erfolg bevorstehen? Hohe Servicequalität, extrem kurze Reaktionszeiten und niedrige Kosten können auch Maschinenbau-Kunden schnell überzeugen.

Bei der Umsetzung derart ambitionierter Vorhaben sind mittelständische Maschinenbauer nicht auf sich allein angewiesen. Junge, engagierte Unternehmen stehen mit ihren spezifischen Kompetenzen bereit, für den Remote Service neue Aufgaben zu erschließen.

Anmerkung: Artikel enthält Links. Bitte Anmerkung am Ende des Beitrags beachten.

2 Mehrwert – Wie kann ein Remote Service ihn generieren

Die Kernaufgabe in der Serviceabteilung eines Maschinenlieferanten besteht aus der Unterstützung des Betriebspersonals im Störfall und der Abwicklung sich daraus ergebender Ersatzteillieferungen. Die internen Serviceverantwortlichen seiner Kunden/-innen haben jedoch sehr viel mehr Aufgaben. Sie sind insgesamt für eine hohe Verfügbarkeit der Produktionsanlagen zuständig, vielleicht sogar für Optimierungen und Modernisierungen über den gesamten Lebenszyklus. Oft und mit hoher Berechtigung beginnt ihre Zuständigkeit bereits bei der Definition des Anlagenkonzepts für eine neue geplante Investition. Offensichtlich besteht ein Servicebedarf durch hochspezialisierte Experten/innen entlang des gesamten Lebenszyklus einer Maschine oder Anlage, also nicht nur im Störfall.

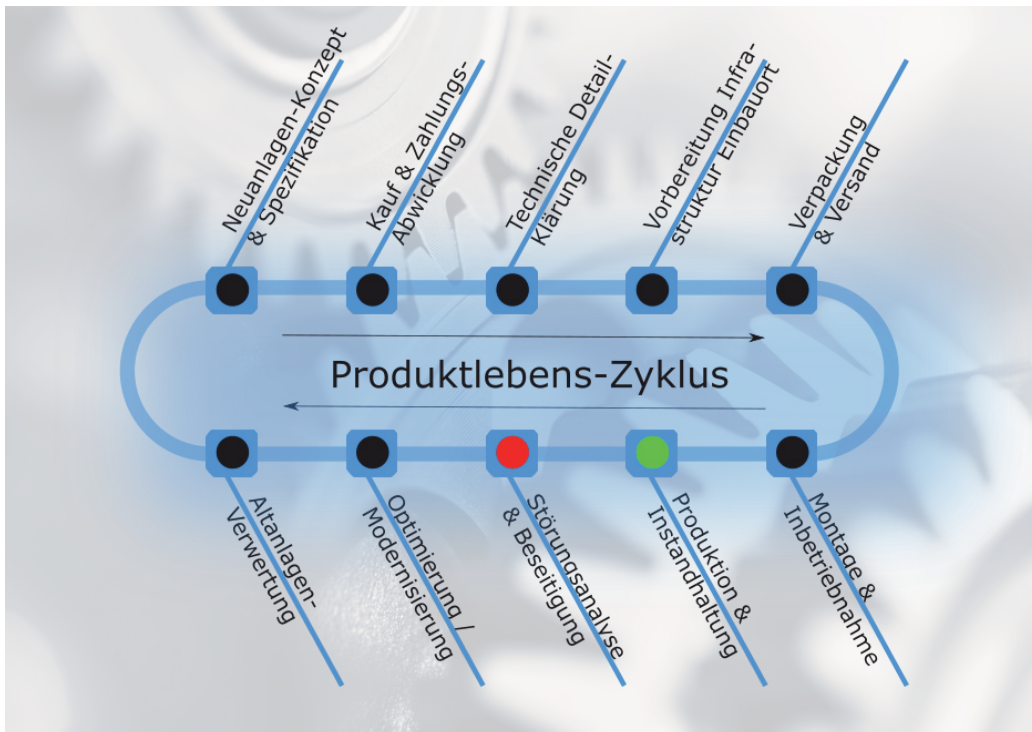


Abbildung 1: Maschinen erfordern über den gesamten Lebenszyklus Serviceleistungen (© innoXsprint 2021)

Die digitale Unterstützung solcher Aufgaben generiert jedoch nur dann einen Mehrwert, wenn der erbrachte Nutzen messbar die Kosten für seine Bereitstellung übersteigt. Die Ermittlung von Produktionskennzahlen, wie beispielweise die OEE-Kennzahl (Overall Equipment Effectiveness) gilt bisweilen als Musterbeispiel für eine gelungene Digitalisierungsaufgabe. Das folgende Beispiel veranschaulicht die Problematik solcher Zahlen:

Eine Service-App ermittelt für zwei Anlagen anhand der Daten ihrer Maschinensteuerungen die zugehörigen OEE-Kennzahlen. Die erste Anlage erreicht 73%. Die zweite Anlage liegt mit 48% unter dem Firmendurchschnitt. Betrachten wir ausschließlich die OEE-Kennzahl, werden wir uns mit hoher Priorität um die zweite Anlage kümmern. Wenn wir jedoch weitere Informationen für unsere Entscheidungsfindung hinzuziehen, wird sich möglicherweise ein anderes Bild ergeben. Die CRM- und ERP-Systeme des Unternehmens könnten uns zum Beispiel aufzeigen, dass Anlage 1 zurzeit einen wichtigen Großauftrag mit einem engen Liefertermin abwickelt. Beim bisherigen Produktionsfortschritt ist der Termin gefährdet. Eine alternative Fertigungsmöglichkeit steht nicht zur Verfügung. Anlage 2 hingegen produziert ein immer weniger nachgefragtes Auslaufprodukt. Eine schnelle Verbesserung der Anlage 1, wenn auch nur um wenige Prozentpunkte, wäre aus einer „Mehrwert-Sichtweise“ eindeutig die bessere Wahl. Eine solche Mehrwert-Sichtweise erfordert stets Realtime-Informationen aus technischen und kommerziellen IT-Systemen.

Mehrwert-Sichtweise erfordert Realtime-Informationen aus technischen und kommerziellen IT-Systemen

Der Mehrwert einer Remote Service Applikation wird für die angesprochene Kundengruppe umso größer sein, je massiver das Problem ist, das damit beseitigt wird. Die Herausarbeitung dieser zentralen Problemstellung ist eine Hauptaufgabe zu Beginn jeder erfolgreichen Entwicklung. Bereits hier wird eine Herausforderung erkennbar. Die Problemstellungen innerhalb einer Kundengruppe sind so individuell wie die aktuellen Situationen einzelner Firmen eben sind. Zwischen maschinenherstellenden und maschinennutzenden Unternehmen bestehen zudem strukturelle Unterschiede, die aus ihren jeweiligen Rollen erwachsen.

Richtig konzipiert, kann eine Remote Service Lösung auch stark unterschiedliche Ansprüche erfüllen. Modularität und Skalierbarkeit sind die Eigenschaften, die genau das leisten. Eine Remote Service Lösung muss für unterschiedliche Anforderungen bei den Kunden und beim Maschinenhersteller konfigurierbar sein. Sie muss mit zunehmenden Anforderungen nahtlos wachsen. Sie kann so Unternehmen in unterschiedlichen Entwicklungsstufen und mit unterschiedlichen Ausrichtungen gerecht werden.

Mit Modularität und Skalierbarkeit lässt sich individueller Mehrwert generieren

3 Technologie – Welche können neuen Mehrwert generieren?

Eine Technologie muss nicht unbedingt eine Weltneuheit darstellen, um wertvollen Mehrwert für eine Service-Anwendung zu generieren. Neu daran sollte der Nutzen sein, der daraus bei der Anwendung entsteht. Da sowohl der Nutzen als auch die Kosten und damit der Mehrwert für jede Firma individuell ausfällt, muss eine Mehrwertbetrachtung stets individuell, zumindest aber für einzelne, ausreichend homogene Kundengruppen erfolgen. Bei den Kosten sind neben den Entwicklungs- und Nutzungskosten auch die Kosten für das Schaffen von notwendigen Voraussetzungen (Infrastruktur, Ausbildungskosten etc.) zu berücksichtigen.

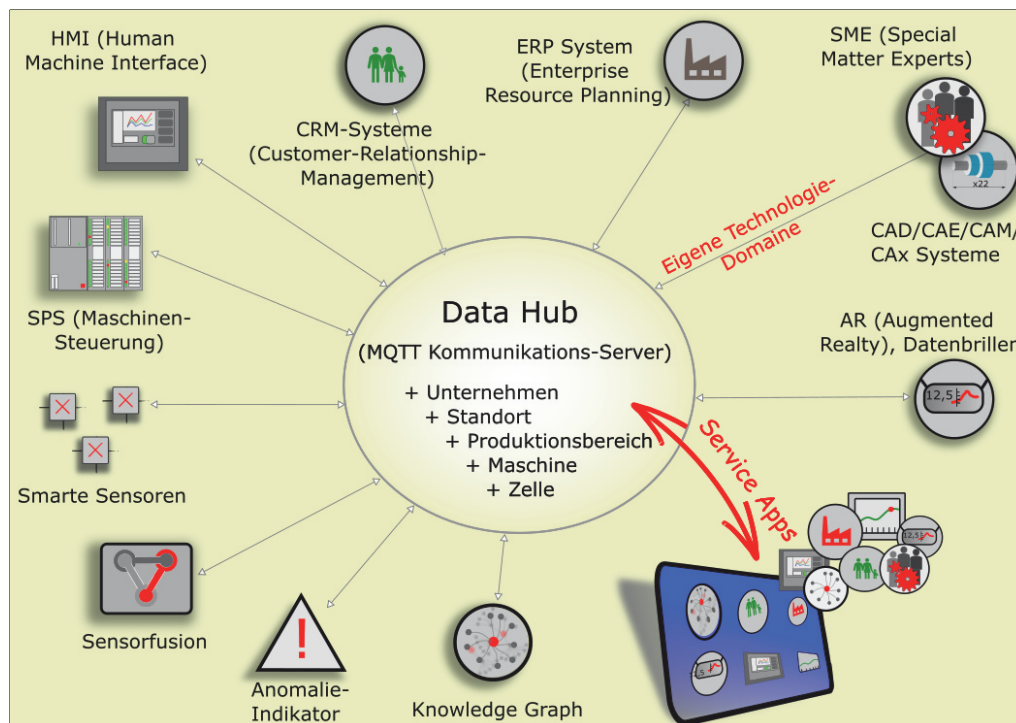


Abb. 2: Horizontale Struktur eines leistungsfähigen Remote Service Konzepts (© innoXsprint 2021)

Anomaly Detection - Die Anomalie-Erkennung dient der automatischen Erkennung, Analyse und Prognose von Störungen in einem Prozess oder an einer Maschine. Sie ist ein Überbegriff für bestimmte Methoden des Maschinellen Lernens (ML), beispielsweise durch neuronale Netze und eine Reihe anderer Methoden. Eine verlässliche Störungs- bzw. Ausfallprognose ist Voraussetzung für die vorausschauende Wartung (predictive maintenance) und stellt einen wirksamen Hebel für die kontinuierliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit einer Produktion dar.

Die einfachste Art einer Anomalie-Erkennung ist die Überwachung einer Prozessgröße mit einem unteren und einem oberen Schwellwert. Allerdings lassen sich damit dynamische Prozesse mit mehreren Prozessvariablen kaum überwachen. Auch lassen sich so keine Fehler klassifizieren und lokalisieren oder gar Störungen verlässlich prognostizieren. Mit den Methoden des Maschinellen Lernens ist dies machbar. Ein solches System kann zudem ähnliche Anomalien aus der Vergangenheit für einen Vergleich zur Verfügung stellen und verschiedene Arten von Abweichungen klassifizieren. Dies trägt zu einem wesentlich besseren Verständnis der aktuellen Störung bei. In Verbindung mit einer Trendanalyse kann ein solcher Anomalie-Indikator auch Prognosen hinsichtlich zukünftiger, sich abzeichnender Störungen liefern.

Anomalie-Erkennung für eine zuverlässige Fehleranalyse und Prognose

Während einer vorgeschalteten Lernphase werden die Algorithmen des Systems optimiert und das Normalverhalten des Prozesses erfasst. Die Dauer der Lernphase richtet sich unter anderem nach der Häufigkeit von bestimmten Prozess-Schwankungen, wie z.B. bei Schichtwechseln, Änderungen der Materialeigenschaften oder durch bestimmte Umwelteinflüsse.

Die Fähigkeit Prozessabweichungen zu erkennen und zukünftige Störungen zu prognostizieren macht die Anomaly Detection zu einem wertvollen Werkzeug für Service-Mitarbeiter/innen sowohl bei maschinenbetreibenden als auch maschinenherstellenden Unternehmen. Prinzipiell lassen sich mit der Anomaly Detection auch Fehlerklassen bilden, um nicht nur Abweichungen zu erkennen, sondern auch das ursächliche Problem zu benennen. Dies ist in der Praxis mit Schwierigkeiten verbunden, wenn die Anzahl an unterschiedlichen Fehlern groß, die Häufigkeit der einzelnen Fehler jedoch klein und damit die zur Verfügung stehenden Daten für ein maschinelles Lernen zu gering sind. Ein Ausweg in dieser Situation besteht in der zusätzlichen Nutzung von Expertenwissen. Eine nicht mehr ganz neue, aber wenig bekannte Technologie aus dem Bereich der KI - [Knowledge Graphs](#) - kann dabei eine wichtige Unterstützung bieten. Wir werden darauf noch näher eingehen. Die von einem Anomalie-Indikator ermittelten Daten sind dafür eine besonders nützliche Informationsbasis. Mehr zur Anomaly Detection findet man auf der Webseite der Firma [Knowtion GmbH](#) aus Karlsruhe.

Augmented Reality (AR) & Datenbrillen – Die AR verknüpft und visualisiert Informationen aus unterschiedlichen Quellen im Gesichtsfeld des Benutzers und ermöglicht damit eine wirkungsvolle Unterstützung unmittelbar vor Ort. So lassen sich beispielsweise wichtige Einstellwerte, Hinweise oder ganze Videoanleitungen über eine Datenbrille an das Personal vor Ort übermitteln. Gleichzeitig kann der Benutzer aufkommende Fragen sofort stellen und sich beantworten lassen.

Augmented Reality ist eine zentrale Technologie für die Kommunikation im Remote Service

Den richtigen Ort an einer Maschine zu finden, kann bereits eine zeitraubende Herausforderung darstellen. Die Lösung der Firma [INS Insider Navigation Systems GmbH](#) in Wien führt das Bedienungs- oder Wartungspersonal statt mit GPS-Daten ausschließlich auf Basis von Kamera-Daten der Maschine bzw. des Gebäudes zentimetergenau an die richtige Stelle und zeigt gleichzeitig den service-relevanten Kontext dazu.

Die AR stellt für den Remote Service eine zentrale Technologie mit großem Potenzial dar. Teilweise bestehende Datenschutz- und Akzeptanzprobleme lassen sich durch Verpixeln von Personen oder Gegenstände, die für die eigentliche Dienstleistung unerheblich sind, vermeiden. Eine entsprechende Lösung findet man beispielsweise bei der Firma [oculavis GmbH](#) aus Aachen. Diese Lösung bietet weitere interessante Merkmale, wie z.B. das automatische Extrahieren von kontextrelevantem Wissen aus Videos und Screenshots, was wiederum den Aufbau eines [Knowledge Graph](#) unterstützen kann.



Abbildung 3: Monokulare Datenbrille RealWear HMT-1 (© Barcotec)

Den Datenbrillen kommt bei der Nutzung von AR in einer industriellen Umgebung eine besondere Bedeutung zu. Übliche mobile Endgeräte sind dafür nur bedingt geeignet. Raue Einsatzbedingungen, Lärm, die persönliche Schutzausrüstung uvm. können die Handhabung erschweren. Oft müssen die Hände des Servicepersonals freibleiben für Werkzeuge, Messgeräte oder die Maschinenbedienung. Die visuellen und sprachlichen Kommunikationsmöglichkeiten von Datenbrillen sind für diese Bedingungen ideal geeignet. Die mediale Darstellung von Datenbrillen zeigt meist futuristisch anmutende, voluminöse Brillen, die eher für den VR-Einsatz (Virtual Reality) vorgesehen sind.

Im industriellen Umfeld haben monokulare Modelle (Abb. 3) klare Vorteile. Bei dieser Art von Datenbrillen werden die visuellen Informationen durch eine kleine Anzeigeeinheit nur auf einem Auge (wahlweise rechts oder links) eingeblendet. So bleibt das eigene Sichtfeld weitgehend erhalten, ein großer Vorteil in einer industriellen Umgebung mit seinen typischen Unfallrisiken. Zudem kann die Displayeinheit bei Nichtgebrauch leicht aus dem Gesichtsfeld geschwenkt werden.

Bei dem Modell RealWear HMT-1 beispielsweise entspricht die Anzeigegröße trotz der kleinen Abmessungen immerhin einem 7 Zoll Bildschirm. Hochauflösende Fotoaufnahmen und Echtzeit-Video-Chat in Full-HD sind für diesen Winzling kein Problem. Dafür ist die HMT-1 mit einer wirksamen Fremdgeräusch-Unterdrückung ausgerüstet. Wichtig ist auch ein geringes Gewicht für längere Einsätze, auch hier überzeugt die HMT-1 mit nur 380 Gramm. Die Firma [Barcotec GmbH](#) in Salzburg ist seit 2017 RealWear „Master Value Added Distributor“.

Data Hub – Seine Technologie ist unverzichtbar, denn er macht inhomogene Daten in Echtzeit zugänglich, unabhängig von den Quellen (z.B. Maschinensteuerungen / HMI, intelligente Sensoren, ERP-Systeme, Anwendungssoftware) und den Formaten (Bilder, Video Streaming, Dokumente etc.).

Eine Remote Service Lösung trifft in jedem Unternehmen auf eine bereits existierende IT-Welt. Eine mehrwert-haltige Lösung ohne Informationen aus den bestehenden Systemen ist schwer vorstellbar. Vor allem die Verknüpfung von technischen und kommerziellen Daten erschließt ein Potenzial mit strategischer Bedeutung. Sie erlaubt bei allen relevanten Entscheidungen auch die kommerzielle Dimension zu berücksichtigen. Ohne einen Data Hub müssten einzelne Anwendungen separat vernetzt werden, ein immenser Aufwand, der in voller Größe nicht immer unmittelbar sichtbar wird. Ein Data Hub bietet in einer einzigartigen Weise alle Voraussetzungen für durchgängige Datenzugänglichkeit, Modularität, Skalierbarkeit der möglichen Anwendungen.

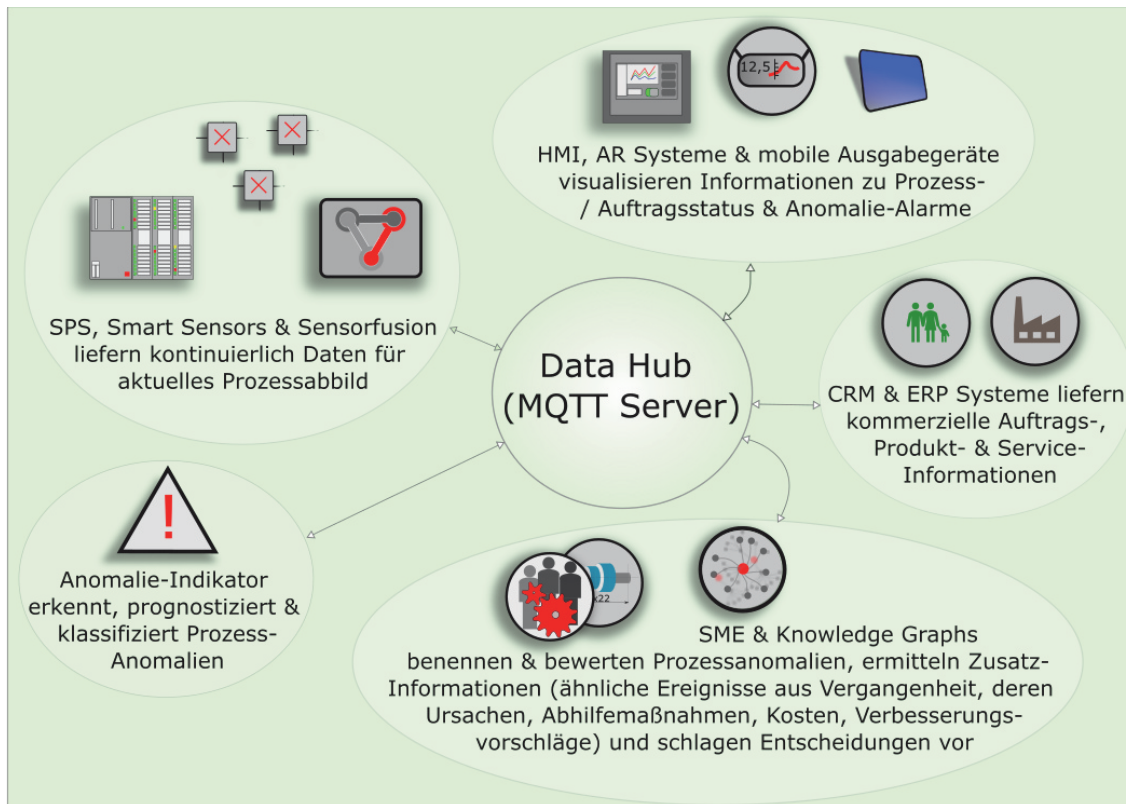


Abbildung 4: Aufgabenverteilung im DataHub (© innoXsprint 2021)

Der Data Hub besteht aus einem MQTT-Kommunikationsserver, der als Open Source (Eclipse Mosquitto) oder als kommerzielle Variante verfügbar ist. In einem MQTT-Kommunikationsnetzwerk enthält jede Nachricht eines Datenlieferanten (Publisher) einen Inhalt (Payload) und ein Thema (Topic). Dieses ähnelt den Ordnern in einem Filesystem, z.B. „standort_xy/getriebefertigung/verzahnung/lager10/schwingungssensor“. Der Data Hub leitet sämtliche Nachrichten an Abonnenten (Subscriber) weiter, die das Topic abonniert haben und außerdem genehmigte Anmeldeinformationen vorweisen können. Endbenutzer (Clients) können Menschen (mit einem Smartphone / Laptop), Maschinen, Sensoren oder auch Cloud-Speicher sein. Sie können gleichzeitig als Subscriber als auch als Publisher auftreten. Ein MQTT-Server ist in der Lage, mehrere Tausend gleichzeitig verbundene Clients zu verwalten. Ein neuer Client wird automatisch erkannt und bei Vorliegen genehmigter Anmeldeinformationen integriert. Gleichzeitig erhält er eine unternehmensweit eindeutige ID-Bezeichnung.

Der MQTT Server ermöglicht die einfache und schnelle Integration unterschiedlichster Datenquellen

Viele Maschinenhersteller propagieren [OPC UA](#) als Kommunikationsstandard für ihre Maschinen. OPC UA ist zwar ein leistungsfähiger Standard für die Maschine-Maschine-Kommunikation, aber aus mehreren Gründen kein besonders geeigneter Standard für eine zukunftsgerichtete IIoT-Infrastruktur und Remote Service Lösung.

Zum einen ist OPC UA kein wirklich offener Standard, denn man muss zunächst zahlendes Mitglied der OPC UA Foundation werden. Im Vergleich zu MQTT ist OPC UA enorm ressourcenaufwendig. Bis heute gibt es deshalb praktisch keine Sensoren, die diesen Standard nutzen. Wenn es darum geht, heterogene Anwendungen und Hardware zu vernetzen, wird die Implementierung von OPC UA auf Grund seiner komplexen Spezifikation zu einer aufwändigen, potenziell kostspieligen Herausforderung. Das Sicherheitsniveau von MQTT wird zu OPC UA als gleichwertig angesehen.

Als Infrastruktur-Basis für eine mehrwert-haltige Remote Service Lösung ist OPC UA nach dem heutigen Stand nicht die optimale Lösung. Eine bestehende OPC UA Umgebung kann jedoch problemlos in eine MQTT-Infrastruktur integriert werden. Ein Spezialist für MQTT, OPC UA und generell für das Thema "Connectivity" ist die Firma [Rock5 GmbH](#) aus Karlsruhe.

Knowledge Graph (KG) - Jedes Unternehmen hat in seiner Organisation ein umfangreiches Wissen über den Betrieb und die Wartung des eigenen Maschinenparks oder dem der Kunden-Unternehmen, insbesondere im Fall von Problemen oder Störungen. Dieses Wissen liegt zum Teil explizit in Form von Dokumentationen, Beschreibungen, Bildern oder anderen Daten vor. Ein erheblicher Teil ist jedoch nur implizit verfügbar, das heißt in den Köpfen von Spezialisten/-innen, die bei Bedarf die Mitarbeiter/-innen an den Maschinen unterstützen. Beide Wissensformen sind selten einfach und schnell verfügbar. Das gilt speziell für die besonders wertvolle Form des Expertenwissens, das stets eine knappe Unternehmensressource darstellt.

Knowledge Graphs machen Wissen im Unternehmen auffindbar und automatisiert verwertbar

Wissensgraphen (Knowledge Graphs) im Service sollen dieses Wissen bei Bedarf schnell und einfach vor Ort zugänglich machen, ohne dass ein Experte/-in dabei direkt eingebunden werden

muss. Eine besonders populäre Knowledge Graph Anwendung ist die Google Suchmaschine, die im Jahr 2013 damit ausgestattet wurde. Bereits kurz nach der Einführung wurden über 90% aller Suchanfragen damit bearbeitet. Während sich die Google Suchmaschine auf kein besonderes Thema beschränkt, soll ein Service-Wissensgraph spezielle Fragen beantworten, wie beispielsweise: „Ist in der Vergangenheit bereits ein ähnliches Problem aufgetreten? Was war damals die eigentliche Ursache? Wie konnte das Problem gelöst werden? Gibt es kostengünstigere Alternativen? Mit welchen Voraussetzungen und Konsequenzen?“ Im Idealfall wird das aktuelle Problem und seine Entstehungsgeschichte von der Maschinensteuerung und zusätzlichen Sensoren erfasst und sogleich von einem Anomalie-Indikator klassifiziert, so dass der Service-Wissensgraph darauf zugreifen kann. Dies wird ihm anhand des gespeicherten Expertenwissens eine Klartext-Antwort auf die gestellten Fragen ermöglichen.

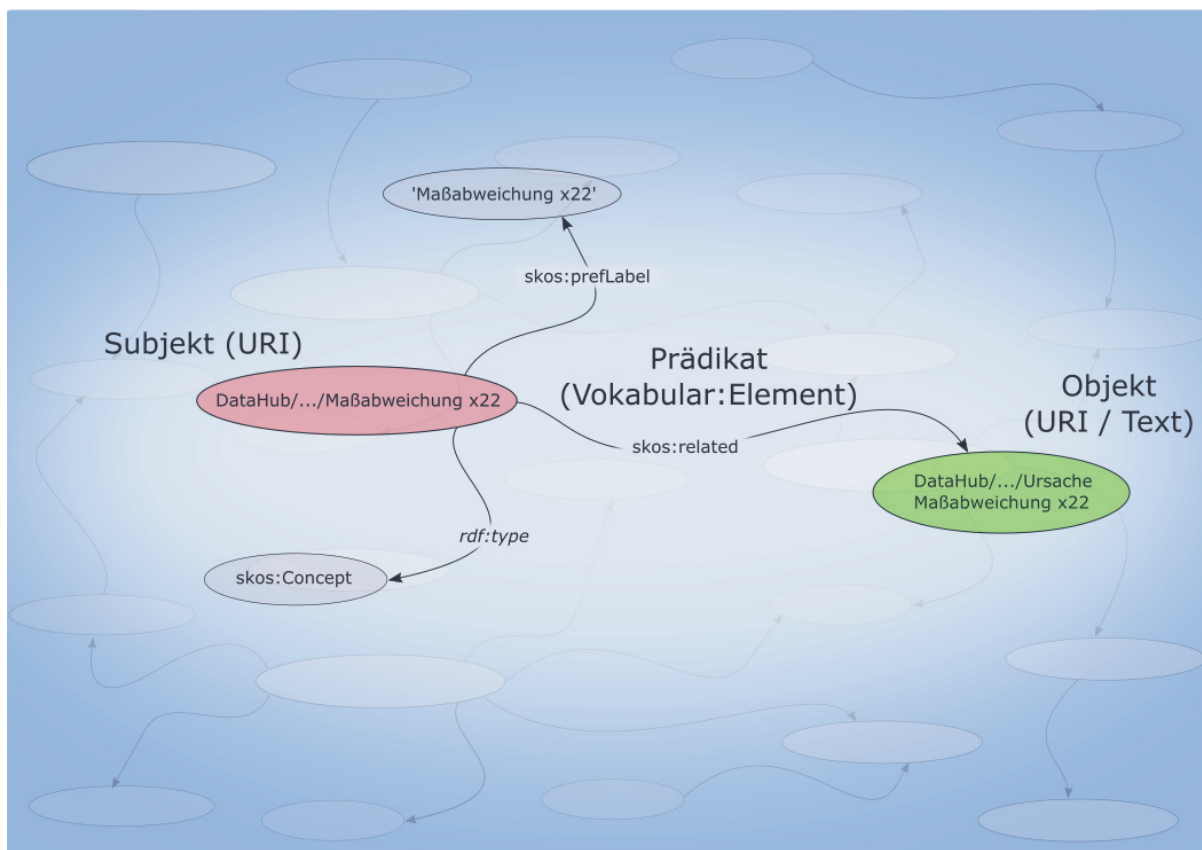


Abbildung 5: Das Triple und die Grundelemente eines Wissensgraphen (© innoXsprint 2021)

Wissensgraphen basieren auf einer hochentwickelten Technik, die sich in einer Vielzahl an Anwendungen bewährt hat. Die kleinste Einheit jedes Wissensgraphen ist das Triple (Abb. 5). Es bezeichnet eine Aussage bestehend aus Subjekt, Prädikat und Objekt. Das Subjekt ist in unserem Fall ein Service-relevantes Informationselement, das durch seinen URI (Unified Resource Identifier) eindeutig ge-

kennzeichnet ist. In Verbindung mit einem Data Hub wird dieser URI auf eine Adresse im Data Hub hinweisen. Das Objekt ist ein zweites Informationselement, das ebenfalls aus einem URI oder aber einem Text besteht. Subjekt und Objekt stehen in einer Beziehung, die durch das Prädikat definiert wird. Das Prädikat (in Abb. 5 „related“) besteht aus einem Element eines kontrollierten Vokabulars (in Abb.5 „SKOS“). Vokabular und das angesprochene Element daraus sind durch einen Doppelpunkt getrennt. Der Aufbau des Triples sorgt dafür, dass er eindeutig definiert und maschinenlesbar ist. SKOS (Simple Knowledge Organisation System) ist ein weitverbreitetes Vokabular, das 2009 vom W3C (World Wide Web Consortium) als Empfehlung veröffentlicht wurde.

In Abb. 5 ist das zentrale Triple mit zwei anderen verknüpft. Das eine benennt – in der SKOS-Sprache „prefLabel“ – das erste Subjekt als „Maßabweichung x22“. Das andere kennzeichnet es als einen SKOS Begriff (Concept). Ein Knowledge Graph kann aus beliebig vielen Triples bestehen. Nur auf den ersten Blick hat er Ähnlichkeit mit einer Mindmap. Im Gegensatz zu dieser hat ein Knowledge Graph vielfältige Möglichkeiten, durch Taxonomien und Ontologien Beziehungen zwischen Begriffen auszudrücken. Er kann daher auch komplexe Wissensrepräsentationen darstellen.

Unstrukturierte Daten wie Emails, Beschreibungen oder Spezifikationen lassen sich nicht von Beginn an vollautomatisiert in Wissensgraphen verarbeiten. Es bedarf zunächst der Erstellung von grundlegenden Begriffshierarchien und Beziehungen. Dies erfordert erhebliche Vorarbeit der Beteiligten und Unterstützung von Data / Knowledge Engineers. Dann jedoch können mit Methoden des Maschinellen Lernens und des Text Minings Erweiterungen automatisch erstellt werden. Ein Wissensgraph wird dann seine Wissensbasis ständig ausbauen und verbessern. Er repräsentiert daher stets den aktuellen Stand des Wissens im Unternehmen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, die jeweilige Quelle des Wissens stets transparent und nachvollziehbar zu machen. Dies erleichtert die Akzeptanz bei der Einführung und Pflege des Systems. Auf der Produktseite der Firma [Semantic Web Company \(SWC\)](#) in Wien finden sich vielfältige Informationen zu diesen Themen und sogar die Möglichkeit, selbst mit Wissensgraphen zu experimentieren.

Sensorfusion – Als Sensorfusion bezeichnet man eine Kombination von Messdaten mehrerer Sensoren zu einem stimmigen Gesamtbild (virtueller Sensor), mit dessen Hilfe sich nicht oder nur schwer messbare Daten berechnen lassen (z.B. Verschleiß, nutzungsbedingtes Ausfallrisiko). Mit

Sensorfusion lassen sich auch höhere Sensorgenauigkeiten realisieren, ohne dass dafür eine höherwertige Sensorhardware nötig wäre.

Sensorfusion macht alles, was wir nicht oder schlecht messen können, quantifizierbar

Bei der Sensorfusion werden meist modellbasierte Algorithmen gewählt. Diese nutzen physikalisches Hintergrundwissen in Form einer mathematischen Beschreibung. Dabei werden die Sensordaten mit dieser Information kombiniert, um dadurch ein genaueres Ergebnis der gewünschten Information zu bekommen. Die Wahl des Algorithmus hängt sehr stark von der jeweiligen Anwendung ab.

Das physikalische Hintergrundwissen kann auch aus einer FEM Simulation stammen. Dies ist dann sinnvoll, wenn eine explizite mathematische Beschreibung des Prozesses nicht oder nicht genau genug möglich ist, weil zu starke Vereinfachungen vorgenommen werden müssten. Mehr zum Thema Sensorfusion findet man auf der Webseite der Firma [Knowtion GmbH](#) aus Karlsruhe.

Smart Sensors - Klassische Sensoren im Industriebereich sind meist fest installierte und verdrahtete Messfühler. Sie verfügen über robuste Gehäuse und standardisierte mechanische Schnittstellen. Die unerwünschten Begleiteffekte sind zusätzliches Gewicht und erhöhte Abmessungen. Zudem macht die Verkabelung solche Sensoren bisweilen anfällig für Beschädigungen und Störungen. Sie benötigen eine externe Spannungsversorgung und separate Messverstärker oder andere Hardware.

Trotz ihrer hohen Industrietauglichkeit ist der Einsatz solcher Sensoren bei vielen Messaufgaben mit erheblichen Einschränkungen verbunden. Smarte Sensoren bieten hier einen Ausweg. Sie verfügen über eine eigene Auswertelektronik und die erforderliche Embedded Software. Ihre Messergebnisse können sie drahtlos und übertragungssicher über weite Strecken, auch weltweit übermitteln.

Die [Telekom-Tochter 1NCE](#) offeriert für solche Anwendungen für 2G, 3G, 4G/LTE-M, NB-IoT (5G vor-

bereitet) sogar eine besonders günstige Flatrate (einmalig 10 Euro für 10 Jahre). Auf gleichem Weg können solche Sensoren Software Updates erhalten und bleiben so stets auf dem neuesten Stand. Sie überwachen die eigene Funktion, senden Alarmsignale beim Überschreiten von definierten Grenzwerten. Ihre miniaturisierte Bauweise erlaubt den Einbau unmittelbar dort, wo die Messgröße gemessen werden soll. Ausgerüstet mit einer internen (Akku oder Harvester) oder drahtlosen externen Stromversorgung durch Induktion leisten sie ihren Dienst völlig autark. In großen weitläufigen Industrieanlagen und bei wechselnden Standorten sind sie die ideale Lösung, da aufwändige Verdrahtungen entfallen. Aber auch bei temporären Einsätzen z.B. während der Montage und Inbetriebnahme von Maschinen und Anlagen ist ihre einfache Installation ein wichtiger Vorteil.

Nirgendwo können smarte Sensoren aber ihre Vorteile mehr ausspielen, als bei der dynamischen Kraft- und Drehmomentmessung an beweglichen oder rotierenden Teilen. Genau für solche Anwendungen hat die Firma [core sensing](#) aus Darmstadt eine hochinteressante Lösung zu bieten (Abb. 6). Ihr miniaturisierter Sensor wird direkt in dem Bauteil (z.B. Antriebswelle, Achse, Gelenkwelle etc.) platziert, an dem die Messwerte aufgenommen werden sollen. Dies minimiert die Fliehkräfte auf den Sensor und ermöglicht besonders hohe Arbeitsdrehzahlen. Das Bauteil übernimmt dabei den mechanischen Schutz des Sensors und wird selbst zu einem voll industrietauglichen Messinstrument auch bei besonders rauen Umgebungsbedingungen. Der Sensor kann jedoch nicht nur die Beanspruchungen des jeweiligen Bauteils erfassen. Mit geeigneten, modellbasierten Analysemethoden ist er in der Lage den gesamten Antriebstrang bis hinein in den angetriebenen Prozess zu überwachen - eine Fähigkeit von hoher Bedeutung für den Remote Service.

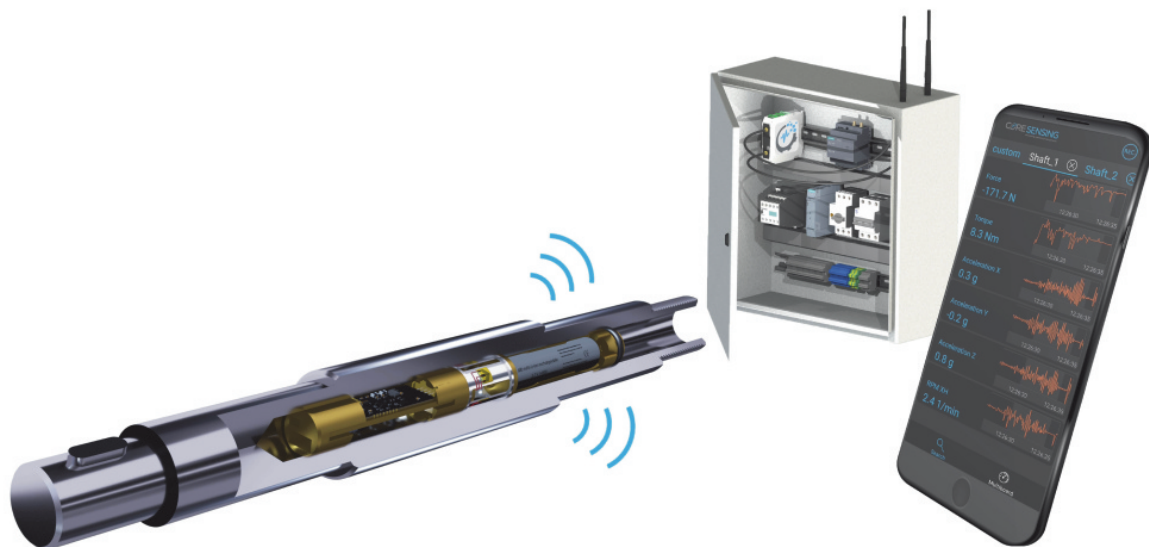


Abbildung 6: Smart Sensor für Kraft/Drehmomentmessung in rotierenden Bauteilen (© core sensing 2021)

Eigene Technologie-Domäne - Die eigenen Technologien spielen eine herausragende Rolle bei der Entwicklung einer Service-App. Naturgemäß verfügt man im eigenen Umfeld über die höchste Entwicklungskompetenz. In erster Linie repräsentieren die eigenen Fachleute dieses Wissen, hier Special Matter Experts (SME) genannt. Sie arbeiten in allen möglichen Bereichen des Unternehmens. Ihre Kompetenz wird dokumentiert und ergänzt durch aufbereitete, verdichtete Prozess-Daten, Regeln, Produkt- und Prozess-Beschreibungen, CAD/CAE-Daten oder Simulationswissen (z.B. auf Basis von FEM Simulationen). Dieses Wissen kann Eingang in die Entwicklung eigener, proprietärer Applikationssoftware finden. Ein solches Wissen wird andere Technologien wie die [Anomaly Detection](#), [Sensorfusion](#) oder [Knowledge Graphs](#) in besonders wertvoller und einzigartiger Weise unterstützen.

4 Use Case - Was wird sich an der heutigen Realität verändern?

Stellen Sie sich folgende Situation vor: Die Qualitätsmanagerin entdeckt an einer Produktionslinie eine sich abzeichnende Qualitätsabweichung. Sie fordert den Linienverantwortlichen auf, die Linie sofort zu stoppen, um den Fehler zu analysieren und zu beheben. Nach ihrer Meinung wäre sonst eine Produktion von Ausschussteilen sehr bald unvermeidlich. Der Linienverantwortliche ist anderer Meinung und möchte lieber bei laufender Anlage die Ursachen analysieren und beheben, um seine Produktionsziele nicht zu gefährden. Die herbeigerufenen Anlagenspezialisten und Spezialistinnen halten diesen Vorschlag für illusorisch. Nach ihrer Erfahrung wird die Fehlersuche und Behebung mit Sicherheit einige Stunden in Anspruch nehmen. Die Diskussion zieht sehr bald größere Kreise. Schließlich weist die Geschäftsführerin auf die Bedeutung des laufenden Auftrags hin. Nach ihrer Meinung basiert die prognostizierte Abweichung eher auf einer Vermutung als auf konkreten Tatsachen. Sie schlägt vor, das Risiko einer gewissen Menge an Ausschussteilen zu akzeptieren und eine eventuell fehlende Menge durch Mehrarbeit zu kompensieren.

Mit geeigneten Technologien basieren Entscheidungen auf einer verlässlichen Basis.

Solche und ähnliche Diskussionen finden täglich in vielen produzierenden Unternehmen statt. Vordergrundig geht es um technische Sachverhalte. Am Ende haben solche Entscheidungen jedoch stets kommerzielle Auswirkungen. In unserem Beispiel wurde immerhin die Expertise verschiedener Fachleute hinzugezogen. Oft wird auch darauf verzichtet, weil diese Mitarbeiter/innen gerade nicht verfügbar sind. Viele Entscheidungen werden daher auf einer wenig verlässlichen Datenbasis getroffen.

Die Qualitätsmanagerin kann die tatsächlichen Konsequenzen der prognostizierten Qualitätsabweichung nicht ausreichend präzisieren: Wieviel Zeit bleibt bis zum Auftreten der Abweichung? Welche Produktmerkmale werden wie stark betroffen sein? Gibt es Erfahrungen mit ähnlichen Ereignissen in der Vergangenheit? Wieviel Zeit beanspruchte die Fehlerbeseitigung damals? Welche Maßnahmen erwiesen sich als besonders wirksam?

Auch der Linienverantwortliche kann seine Aussage nicht belegen, da im Moment keine präzise Fehlerbeschreibung und erst recht keine erfolgsversprechenden Abhilfemaßnahmen diskutiert werden können. Das gleiche gilt, wenn auch in eingeschränktem Maße, für den Anlagenspezialisten und seine Kolleginnen. Sie haben eine große Expertise bei der Beseitigung von Störungen. Solange aber keine präzise Fehlerbeschreibung vorliegt, können auch sie über mögliche Fehlerursachen, ihre Beseitigung und den Aufwand dafür höchstens spekulieren.

Die Geschäftsführerin wird sich vermutlich mit ihrer Meinung durchsetzen. Aber ganz wohl ist ihr bei ihrer Entscheidung nicht. In ihrer Rechnung sind schlicht zu viele Unbekannte. Zu diesen Unbekannten gehören insbesondere die Kosten der verschiedenen diskutierten Szenarien. Um sie zu ermitteln, fehlt in der Situation einfach die Zeit.

Mit der hier vorgestellten Technik (Abb. 7) hätte diese Geschichte völlig anders verlaufen können: Die Maschinensteuerung mit ihren Sensoren und zusätzliche smarte Sensoren in kritischen Prozessbereichen liefern ein umfassendes und aktuelles Prozessabbild. Zusätzliche Schärfe gewinnt dieses Abbild mit der Sensorfusion. Mit ihrer Hilfe lassen sich nicht oder nur schwer messbare Daten berechnen. In unserem Fall könnte das beispielsweise ein Produktmerkmal sein, das nur mit hohem Aufwand messbar wäre, sodass Korrekturmaßnahmen kaum oder nicht mit vernünftigem Zeitaufwand auf ihre Wirksamkeit geprüft werden können.

Der Anomalie Indikator hatte im Produktionsbetrieb mit Methoden des Maschinellen Lernens die für den Normalbetrieb typischen Prozessschwankungen erfasst. Obwohl alle Produktparameter noch in Toleranz waren, zeigten sich in den Prozessdaten plötzlich auffällige Abweichungen. Die Trendanalyse des Indikators erlaubte ihm die Bestimmung des Eintrittstermins der sich entwickelnden Abweichung. Die Warnmeldungen erreichten in Echtzeit den zuständigen Personenkreis. Je nachdem welches Ein-/Ausgabegerät, ob HMI, AR oder ein mobiles Gerät, sie gerade nutzten, wurde die Warnmeldung dorthin übermittelt. Gleichzeitig registrierte das Gerät, wer die Bearbeitung des aktuellen

Falls übernommen hat. Schon vor dem Eintreffen der Anlagenspezialisten/innen am Ort des Geschehens konnten sie sich ein umfassendes Bild über die aktuelle Situation machen. Die Diskussion mit den Beteiligten war kurz und die Entscheidung klar. Der Maschinenführer erhielt über seine AR-Datenbrille konkrete Anweisungen für die Kalibrierung einer falsch anzeigenden Messeinrichtung beim nächsten regulären Anlagenstopp. Die Anlagenspezialisten konnten seine Arbeiten an ihren Bildschirmen verfolgen. Bereits nach wenigen Minuten zeigte der Anomalie-Indikator eine deutliche Trendwende. Vorerst war das Problem gelöst. Die Anlagenspezialisten/innen terminierten jedoch zur Sicherheit eine gründlichere Revision während des nächsten geplanten Stillstands.

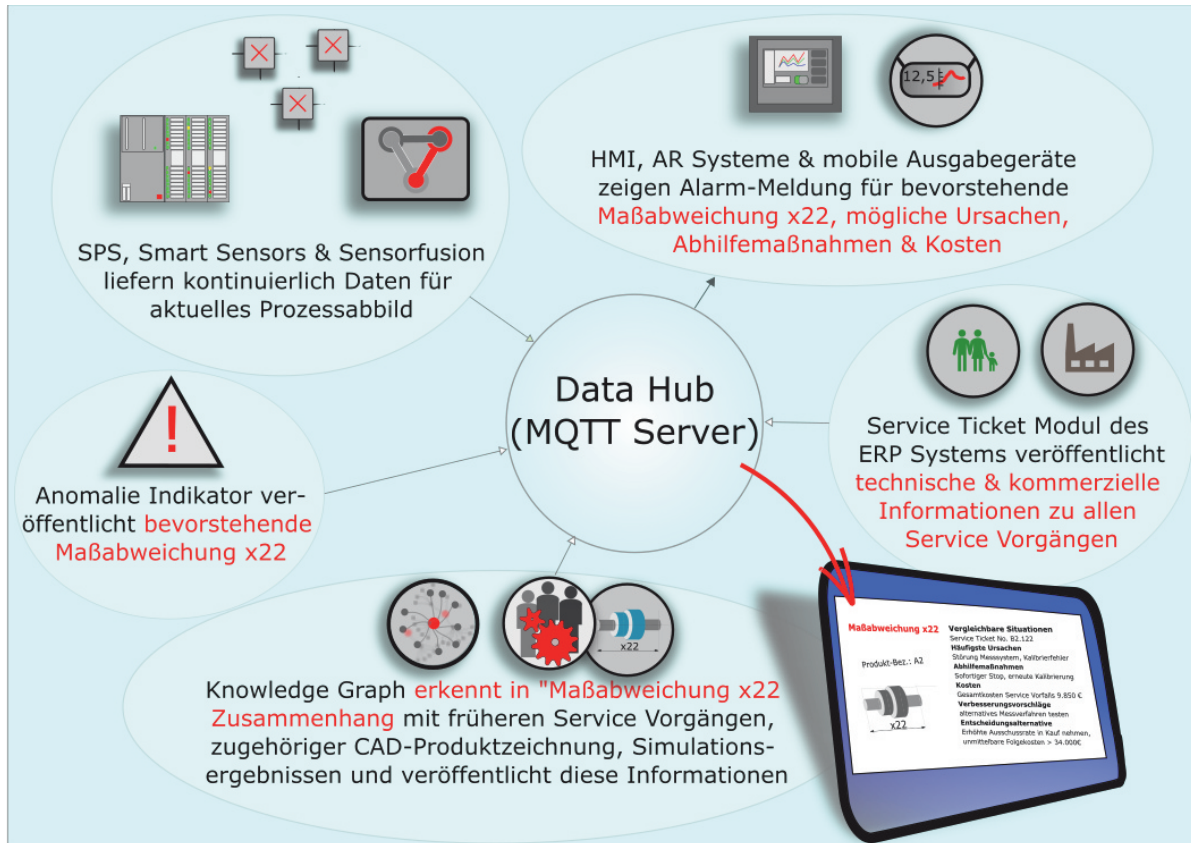


Abbildung 7: Anwendungsbeispiel Remote Service (© innoXsprint 2021)

Im Hintergrund hatte der Service-Wissensgraph unmittelbar nach Eingang der Warnmeldung „Maßabweichung x22“ ähnliche Vorfälle aus der Vergangenheit ermittelt. Abb. 8 zeigt, wie ein einfacher Wissensgraph auf Basis von Taxonomien diese Zusammenhänge maschinenlesbar darstellen kann. Durch den Einsatz von Ontologien würde man eine weitere Dimension erhalten. Damit könnten beispielweise verschiedene Arten von Prozessabweichungen, ihre Tragweite oder aber auch Maschinentypen klassifiziert werden. Die relevanteste Information, ein Service-Ticket mit der Nummer B2.122, fand der Wissensgraph auf dem Ticket Management Modul des ERP-Systems. Als Ursache für die Maßabweichung nannte dieses Ticket einen Kalibrierfehler des Messsystems. Praktisch in Echtzeit stellte er weitere relevante Informationen zu den Vorfällen zusammen. Alle vergleichbaren Störungen waren als „gering, mit beherrschbarem Risiko korrigierbar“ klassifiziert. Die Entscheidung des Teams war deshalb klar. Beim nächsten geplanten Stopp würden sie das Messeinrichtung neu kalibrieren und als weitergehende Maßnahme einen Austausch prüfen.

Der Wissensgraph nutzt bei seiner Suche nach relevanten Informationen nicht einfach nur Suchbegriffe, sondern erfasst den gesamten Kontext (die Metadaten) solcher relevanten Informationen. Dies ermöglicht ihm, nicht nur einen Hinweis auf eine vergleichbare Störung in der Vergangenheit zu liefern, sondern sämtliche Daten und Informationen, die mit diesem Vorfall in Verbindung stehen. Damit ein Wissensgraph dies leisten kann, müssen alle relevanten Störungen zusammen mit allen zugehörigen Daten und Informationen dokumentiert werden (z.B. in einem Ticket Management Modul des ERP-System). Eine strukturierte Erfassung dieser Informationen erleichtert den Aufbau des Wissensgraphen und verbessert seine Trennschärfe bei der Suche nach relevanten Informationen. Sehr gut

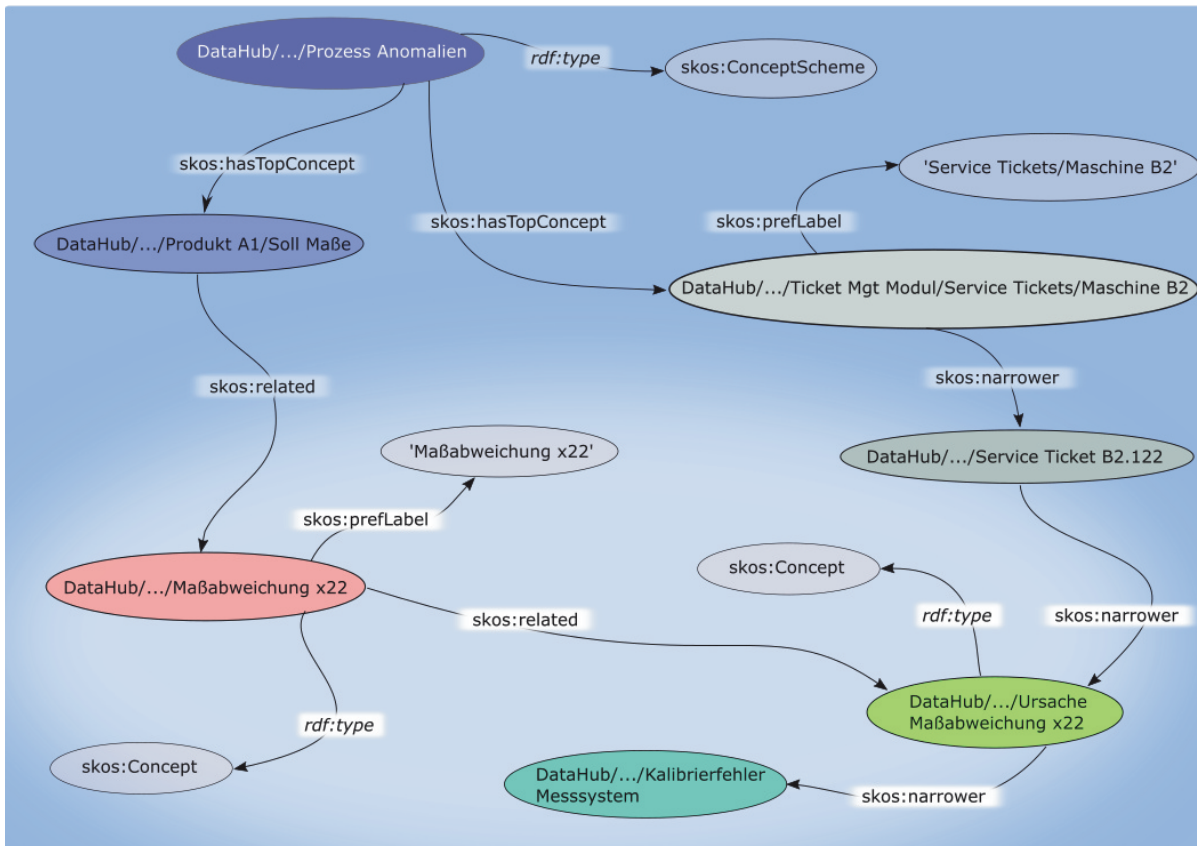


Abb. 8: Knowledge Graph (Ausschnitt) auf Basis von Taxonomien (© innoXsprint 2021)

ist dies beim Google Wissensgraph zu beobachten, der mit strukturierten Webseiten eindeutigere Ergebnisse liefert. Nicht umsonst „belohnt“ Google strukturierte Webseiten mit besseren Platzierungen.

Bei Wissensgraphen, wie auch bei der [Sensorfusion](#) und dem [Anomalie-Indikator](#) handelt es sich um Technologien, die man nicht einfach einsatzfertig kaufen kann. Die zugrunde liegenden Technologien sind zwar seit vielen Jahren in vielen Anwendungen erprobt. Die spezielle Anwendungsentwicklung erfordert jedoch eine intensive Zusammenarbeit von spezialisierten Data Scientists und den Anwendungsspezialisten/innen (Special Matter Experts) im eigenen Haus. Der herausragende strategische Nutzen einer solchen Entwicklung liegt in der universellen Verfügbarkeit des Wissens einzelner Knowhow-Träger/innen und der gewinnbringenden Nutzung dieses Wissens im Interesse des ganzen Unternehmens. Die Ausgestaltung dieses Wissens ist dabei so individuell, wie die Kompetenzen eines Unternehmens und deshalb schwer zu kopieren.

Bei der Beurteilung eines neuen Use Cases geht es um die Frage, was sich gegenüber der heutigen Situation verändern würde. Hier wird der messbare Mehrwert eine herausragende Rolle spielen. Ein eher langfristiger strategischer Nutzen wäre schwerer zu beurteilen. In der Regel wird er alleine nicht ausschlaggebend sein. Die konsequente Mehrwertbetrachtung zwingt zu einer scharfen Nutzenbewertung und hilft so von Anfang an Fehlentwicklungen zu vermeiden.

Durchgehende Transparenz ermöglicht attraktive, erfolgsabhängige Geschäftsmodelle als Alternative zu Kauf- oder Mietmodellen

Nicht immer wird ausschließlich die eingesetzte Technik die entscheidende Rolle spielen. In unserem Beispiel erlaubt die durchgängige Transparenz von technischen und kommerziellen Daten eine eindeutige und faire Kosten- und Nutzenbeurteilung. Eine erfolgsabhängige

Rechnungsstellung statt bisheriger Kauf- oder Mietmodelle würde manchem Anwender die Entscheidung leichter machen. Bei geeigneter Ausgestaltung könnte sich aus einer erfolgsabhängigen Rechnungsstellung ein für Kunden- und Lieferunternehmen attraktives Geschäftsmodell entwickeln.

5 Testen - Machbarkeit und Marktresonanz frühzeitig absichern

Maschinenbau-Unternehmen bewegen sich bei der Entwicklung einer Service-App auf unsicherem Boden in einem doppelten Sinn. Zum einen entwickeln sie eine Technologie, die vermutlich teilweise außerhalb ihrer eigentlichen Kernkompetenz liegt. Zum anderen werden die echten Marktanforderungen erst beim Markteintritt in vollem Umfang klar. Dann ist es aber für massive Korrekturen zu spät, zumindest werden sie teuer. Für professionelle App-Entwickler/innen ist dies keine neue Situation, ihre Antwort darauf ist die agile Software-Entwicklung. Sie starten mit Annahmen und Hypothesen, die immer wieder durch geeignete Tests von Machbarkeit und Marktresonanz verifiziert werden. Entsprechend den Testergebnissen wird die Entwicklung angepasst. Das Risiko von teuren Fehlentwicklungen wird so minimiert.

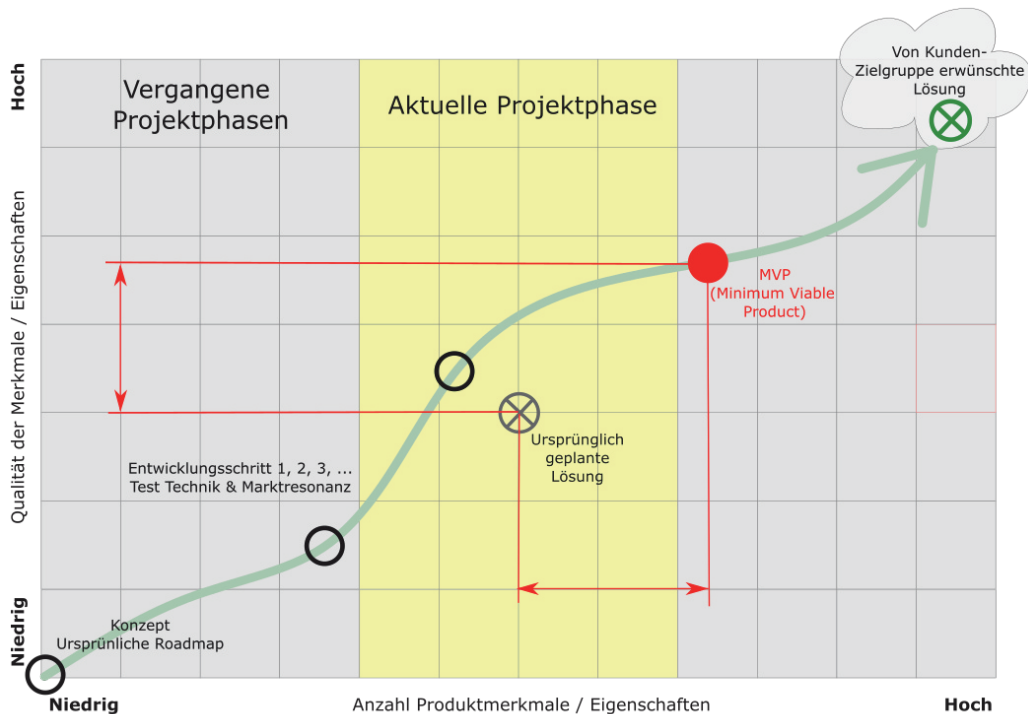


Abbildung 9: Prinzip der agilen Produktentwicklung (© innoXsprint 2021)

Ein Entwicklungsdienstleister/-in wird sich in der Regel auf den Nachweis der Machbarkeit, den „Proof of Concept (PoC)“ beschränken. Den Nachweis der Marktresonanz wird sie oder er sicherlich Ihnen überlassen. Allerdings sollten Sie zumindest zum Ende jedes Entwicklungsschritts einen der Entwicklungsstufe angepassten Prototypen erhalten. Zu Beginn der Entwicklung wird das nur ein „Low Fidelity“ (Lofi) Prototyp sein, der der Visualisierung bestimmter Grundfunktionen dient. Im Verlauf der Entwicklung werden weitere Prototypen generiert, die einzelne Anwendungen der App mit ihren tatsächlichen Funktionen zeigen. Damit können Kunden/-innen bereits Teilaspekte der neuen App mit realen Daten testen und eventuell erforderliche Änderungen vorschlagen.

Der wichtigste Entwicklungsabschnitt vor der finalen Markteinführung ist die Entwicklung eines „Minimum Viable Products MVP“. Das MVP ist eine Teilmenge des finalen Gesamtkonzeptes, das ausreichend ist, sogenannte Beta-Kunden/-innen dazu zu bewegen, das zukünftige Produkt unter realen Betriebsbedingungen zu testen. Der Vorteil für sie besteht darin, als Erste eine neue Technologie zu erproben und ihre Entwicklung beeinflussen zu können. Ihre Kaufentscheidungen sind die überzeugendste Form eines Marktresonanztests. Sie bestätigen mit ihrer Entscheidung, dass Sie ihre wichtigsten Anforderungen richtig verstanden haben und die richtige Lösung dafür bieten.

In den seltensten Fällen wird ein erfolgreiches Produkt gänzlich der ursprünglich geplanten Lösung entsprechen. In unserem Beispiel (Abb. 9) waren am Ende mehr Produktmerkmale erforderlich, um die unterschiedlichen Bedürfnisse innerhalb der Kundenzielgruppe abzudecken. Gleichzeitig waren die Kundenerwartungen an die Qualität und Ausprägung der Produkteigenschaften anspruchsvoller.

Der Aufbau eines zukunftsorientierten Remote Service gelingt mit einer klaren Perspektive und einer Realisierung in überschaubaren Schritten

So ist es nicht verwunderlich, dass das MVP sich von der ursprünglich geplanten Lösung unterscheidet. Was auf den ersten Blick wie ein Nachteil aussieht, ist in Wirklichkeit ein entscheidender Vorteil. Nur durch die bewußte Abweichung von der ursprünglichen Planung konnte eine Fehlentwicklung mit unzureichender Marktresonanz vermieden werden.

Die zu Beginn des Projekts erstellte Roadmap ist während des gesamten Projektverlaufs nicht mehr als eine grobe Richtschnur für die Entwicklungsplanung, die ständig den Testergebnissen entsprechend angepasst wird. Idealerweise begleitet sie das Produkt während seines gesamten Produkt-Lebenszykluses bis zum Start des Produktnachfolgers.

Heinrich Weber
innoXsprint
79379 Müllheim
www.innoxsprint.com

Anmerkung: Der Beitrag stellt ausschließlich die Meinung des Autors dar und nicht die der erwähnten Firmen. Die Produkte der genannten Firmen sollen lediglich beispielhaft das Konzept des Autors erläutern. Die Verlinkung dieser Firmen oder ihrer Produkte soll die Informationsbeschaffung für den Leser vereinfachen. Nach aktueller Rechtsprechung gilt dies bereits als Werbung, deshalb soll hier ausdrücklich darauf hingewiesen werden.