

Ein Industrie 4.0-Use Case in der Motorenproduktion

Darko Stanisavljevic¹, Manfred Rosenberger¹, Gernot Lechner¹, Stefan Körner², Roman Kern², Bernd Jeitler³, Alexander Stocker¹

Virtual Vehicle Research Center¹

Know Center²

AVL List³

`vorname.name1@v2c2.at, vorname.name2@know-center.at, vorname.name3@avl.com`

Zusammenfassung

Im Allgemeinen sind Erkenntnisse aus dem Fehlverhalten in der Produktion und dem Betrieb von Produkten die wesentlichen Treiber in deren Weiterentwicklung. Eine proaktive Weiterentwicklung ist so aufgrund unbekannter bzw. nicht untersuchter Wirkketten allerdings nicht möglich. Mit der im Umfeld von Industrie 4.0 diskutierten vollständigen Digitalisierung über den gesamten Produktlebenszyklus, beginnend beim Konzept über die Produktentwicklung, der Produktion und der Nutzung bis hin zum Service, soll phasenübergreifend handlungs- und entscheidungsrelevantes Wissen durch eine gezielte Analyse und Vernetzung der gesammelten Daten ermöglicht werden. Im vorliegenden Beitrag wird anhand eines Industrie 4.0-Use Case aus der Motorenentwicklung und -produktion aufgezeigt, welches Potenzial in diesem Digitalisierungsansatz steckt und wie dieses durch die Anwendung von Methoden aus dem Data Science-Bereich gehoben werden kann.

1 Einleitung und Motivation

Die Unterstützung von Wissensarbeit zur Verbesserung von Produktionsprozessen bzw. deren Subprozessen durch (digitale) Technologien – vielfach mit dem Begriff „Industrie 4.0“ bezeichnet – macht heute vor keiner Branche mehr halt (Hannola et al., 2018). Auch in der Automobilindustrie nimmt die Bedeutung von Industrie 4.0 als Gestaltungsprinzip für Veränderungsprozesse in der Produktion immer mehr zu. Armengaud et al. (2017) erweitern die Sicht von Industrie 4.0 auf die Digitalisierung über den gesamten Produktlebenszyklus (PLZ) und berücksichtigen neben der Produktion noch Entwicklung, Betrieb und Service als drei weitere Phasen des PLZ. Gerade in der Möglichkeit, mit Hilfe von Digitalisierung über den PLZ

hinweg phasenübergreifend Erkenntnisse zu gewinnen und diese beispielsweise aus der Produktion eines Motors (spätere Phase im PLZ) in die Entwicklung eines Motors (frühere Phase im PLZ) zurückzuführen, wird ein riesiges Potenzial vermutet. Um dieses Potenzial zu heben bzw. die vorgeschlagene Vorgehensweise der PLZ-phasenübergreifenden Erkenntnisgewinnung zu bestätigen, müssen jedoch in einem vorgelagerten ersten Schritt geeignete Use Cases identifiziert, umgesetzt und mit den wesentlichen Stakeholdern evaluiert werden.

Dabei kommt der strukturierten Identifikation, Beschreibung und Dokumentation von Use Cases im Kontext Industrie 4.0 eine große Bedeutung zu, stellt aber die meist aus völlig unterschiedlichen Domänen stammenden Projektbeteiligten vor eine große Herausforderung. Vor allem in der frühen Phase eines Projekts soll schnell ein einheitliches und verständliches Bild über das Vorhaben geschaffen werden, welches wenig Spielraum für Interpretation zulässt. Stocker und Rosenberger (2017) liefern hierzu eine Vorlage zur strukturierten Dokumentation von Use Cases in Industrie 4.0-Einführungsprojekten. Demnach gliedert sich eine Use Case-Beschreibung in die Phasen Ist-Situation, Herausforderung, Zielsituation, technischer Lösungsansatz und erwarteter Impact aus der Implementierung des technischen Lösungsansatzes. Im Prozess, diese Use Case-Beschreibung mit den beteiligten Stakeholdern abzustimmen, spielt die Position des Anforderungsmanagers eine zentrale Rolle.

Obwohl technische Lösungsansätze eine entscheidende Rolle in der Prozessveränderung spielen, darf Industrie 4.0 nicht als technikzentriertes Thema verstanden werden. Für die Entwicklung eines nachhaltigen (sozio)-technischen Lösungsansatzes ist – im Sinne von Digital Work Design – auch ein tiefes Verständnis für die Prozesse, Arbeitsweisen und Praktiken der beteiligten Personen notwendig (Richter et al., 2017). Es gilt, technische Lösungsansätze in eine geeignete Organisation einzubetten, um deren nachhaltige Wirksamkeit zu erhöhen.

Vor diesem Hintergrund besteht das Ziel dieses Beitrags darin, einen aus der Sicht von Industrie 4.0 relevanten Use Case aus der Automobilindustrie vorzustellen und in einem zweiten Schritt zu zeigen, wie ein phasenübergreifender Informations- und Wissensaustausch über den PLZ erfolgen kann. Nachfolgend wird in Sektion 2 ein Use Case in den Phasen Ist-Situation, Herausforderung, Zielsituation, angestrebter Lösungsansatz und erwarteter Impact aus der Implementierung beschrieben und in Sektion 3 ein Konzept für die Umsetzung des Use Case unter Berücksichtigung des Wissensgewinns für die einzelnen Phasen des PLZ vorgestellt. Sektion 4 schließt mit einer Zusammenfassung, einer Diskussion und einem Ausblick.

2 Beschreibung des Use Case: Motorentwicklung und -produktion

Der hier vorgestellte Use Case aus der Motorenentwicklung und -produktion ist nach der Vorlage von Rosenberger und Stocker (2017) in Ist-Situation, Herausforderung, technischer Lösungsansatz, Zielsituation und erwarteter Impact aus der Implementierung des technischen Lösungsansatzes (siehe Abbildung 1) gegliedert und wurde in einem moderierten Prozess definiert.



Abbildung 1: Relevante Phasen für die Umsetzung eines Use Case (Rosenberger und Stocker, 2017)

2.1 Ist-Situation

Verbrennungsmotoren werden vorwiegend für den Betrieb in Kraftfahrzeugen, darüber hinaus aber auch stationär und beispielsweise im vorliegenden Fall für die Umwandlung von fossilen/biogenen Brennstoffen in elektrische und thermische Energie in Blockheizkraftwerken eingesetzt. Bei der Entwicklung eines Verbrennungsmotors werden definierte Entwicklungsziele angestrebt, wie etwa Leistungs- und Abgascharakteristika. In dieser Phase werden die mechanischen und elektronischen Komponenten sowie die zugehörige Software entwickelt, prototypisch hergestellt, als Einzelteil und Baugruppe erprobt und das Gesamtsystem getestet. In der Serienproduktion wird die Einhaltung der Qualitätsvorgaben für die produzierten Motoren auf einem End of Line (EoL)-Prüfstand überprüft und somit jeder Prüfling hinsichtlich spezifizierter Qualitätskriterien beurteilt. Das dafür erforderliche Prüfverfahren wird auf Basis von Erfahrungswerten erstellt und außerdem mit Methoden des Qualitätsmanagements optimiert. Dabei wird versucht, die Durchlaufzeiten am EoL-Prüfstand möglichst kurz zu halten; die gemessenen Daten werden zur Bewertung des Verbrennungsmotors als „in Ordnung“ oder als „nicht in Ordnung“ herangezogen. Je nach Prüfergebnis wird ein Motor nachgearbeitet oder gänzlich aus dem Produktionsprozess eliminiert. Alle Motoren, welche die Qualitätskriterien nicht erfüllen, werden durch eine Task Force, bestehend aus Motorenentwicklungsexperten, vertieft untersucht. Eine Aussage über die Verhaltenscharakteristik des Verbrennungsmotors ist aber mit den derzeitigen Prüfverfahren nicht möglich. Darüber hinaus bleiben einzelne Motoren unter der vorgesehenen Leistung oder erreichen bereits weit früher als erwartet das Ende ihrer Lebensdauer. Dies ist aufgrund der eng gesetzten Fertigungstoleranzen auf den ersten Blick nicht nachvollziehbar. Andererseits gibt es trotz dieser engen Fertigungstoleranzen immer auch eine gewisse Streuung in den Messergebnissen am EoL-Prüfstand.

2.2 Herausforderung

Mit den bisher angewendeten Optimierungsverfahren kann die Durchlaufzeit bei EoL-Prüfungen nicht mehr verkürzt werden. Auf Basis der am Prüfstand erhobenen Messdaten soll nicht nur eine binäre Beurteilung erfolgen, sondern auch eine qualitative Aussage über die Verhaltenscharakteristik des Motors getroffen und basierend darauf Verbesserungsmaßnahmen oder geeignete Einsatzgebiete vorgeschlagen werden. Zudem wird vermutet, dass spezifische Fertigungstoleranzen und vor allem deren Kombinationen in der Paarung einzelner Bauteile eine Auswirkung auf die Streuung der Messergebnisse am EoL-Prüfstand haben und weiterführend

auch für Lebensdauer- und Leistungsunterschiede in der Produktnutzungsphase verantwortlich sind. Sofern es diese Ursachen gibt, sollen diese herausgefunden werden.

2.3 Zielsituation

Mit Hilfe eines optimierten Prüfverfahrens sollen die Durchlaufzeit am EoL-Prüfstand verkürzt werden. Durch Kombination der Messdaten mit Daten aus der Vor- und Serienentwicklung soll ein zukünftiges Einsatzgebiet für den Motor vorgeschlagen werden. Zusätzlich sollen auch geeignete Verbesserungsmaßnahmen für getestete Motoren, die außerhalb des festgelegten Zielkorridors liegen, identifiziert werden. Auf Basis der entdeckten Zusammenhänge zwischen Fertigungstoleranzen und EoL-Messdaten sollen die derzeit definierten Fertigungstoleranzen optimiert werden, um damit Fertigungskosten einzusparen.

2.4 Technischer Lösungsansatz

In den Daten aus einem Motorentwicklungsprojekt sollen mit Hilfe fortgeschrittener Datenanalysemethoden relevante Zusammenhänge gefunden werden, welche die angestrebte Charakteristik des Motors bestmöglich beschreiben. Zusätzlich soll mit den in der Entwicklungsphase gesammelten Informationen ein optimierter, modularer Prüfprozess entwickelt werden, der auch die Bewertung der tatsächlich gemessenen Charakteristika ermöglicht. Mit der Zusammenführung von Messdaten und Fertigungstoleranzen einzelner Bauteile mit Messdaten am EoL-Prüfstand und einer Auswertung dieser Daten unter Verwendung von fortgeschrittenen Data Science-Methoden sollen Zusammenhänge zwischen Fertigungstoleranzen und Produktqualität/-funktionen gefunden werden. MotorentwicklungsexpertInnen der Task Force validieren die Resultate und Erkenntnisse aus dem Data Science-orientierten Ansatz.

2.5 Erwarteter Impact aus der Implementierung

Erwartet wird, dass sich aus den differenzierten Aussagen zur Charakteristik eines Motors mögliche Ursachen für Abweichungen vom Qualitätsziel und entsprechende Gegenmaßnahmen ableiten lassen, womit die Nachbearbeitung beschleunigt werden kann. Auf derselben Basis können aber auch passende Einsatzmöglichkeiten vorgeschlagen werden und damit teure Nacharbeiten gänzlich entfallen, womit sich letztendlich auch die Produktionseffizienz erhöht. Mit den aus den Daten gewonnenen Erkenntnissen werden die Weiterentwicklung und Verbesserung des Produkts und eine einfachere und kostengünstigere Herstellung des Produkts unterstützt. Langfristig könnte mit der zusätzlichen Verfügbarkeit von Messdaten aus dem Betrieb im Feld ein Prognosemodell für Leistung und Lebensdauer entwickelt werden.

3 Der Use Case aus der Perspektive von Industrie 4.0

Wesentlich für den Use Case ist die langfristige Gewinnung bzw. Rückgewinnung von Informationen über den PLZ, wie dies in Abbildung 2 skizziert ist. In dieser abstrahierten Darstellung werden Daten von sämtlichen PLZ-Phasen (nach Armengaud et al., 2017) gesammelt und

von einem Data Science-Team nach dem Prozess einer „Big Data Value Chain“ (Curry, 2016) in Wissen umgewandelt. Dieses Wissen wird dann in die jeweils relevante PLZ-Phase eingebracht, wobei der Wissenstransfer in beide Richtungen entlang des PLZ stattfinden kann. Die „Big Data Value Chain“ ist einer hohen Dynamik ausgesetzt, da beispielsweise verbesserte/neuentwickelte Sensoren zur Datensammlung oder neue Erkenntnisse zu Zusammenhängen zwischen den PLZ-Phasen die dahinterliegenden Modelle und die spezifische Infrastruktur stark verändern können.

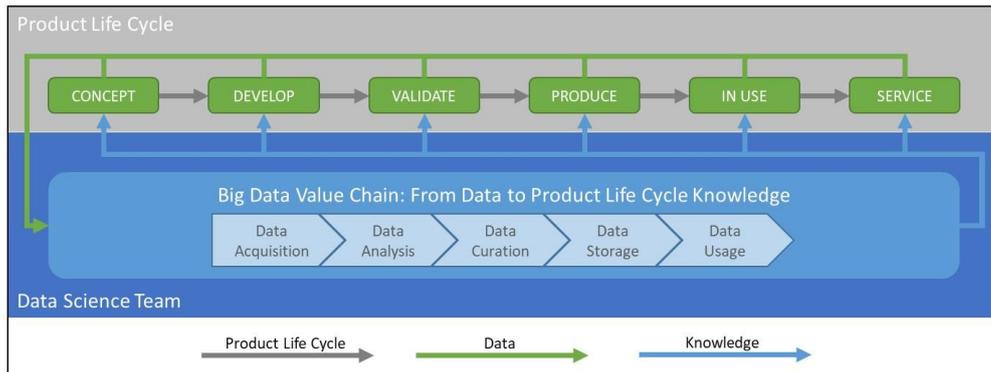


Abbildung 3: Wissensaustausch zwischen PLZ-Phasen mit Big Data Value Chain (eigene Darstellung)

Im Kontext des hier vorgestellten Use Case ist auch die Erweiterung auf unternehmensübergreifende Datenakquisition zu berücksichtigen: Die in der Nutzungs- bzw. Servicephase gesammelten Daten fließen als Wissen in andere PLZ-Phasen ein und erlauben so eine Verbesserung des Produkts, was sich potentiell in einer zeitnah verbesserten Nutzung bzw. optimierten Services niederschlägt und damit Kundennutzen schafft.

4 Implementierung des Industrie 4.0-Use Case

In diesem Use Case stehen Messprotokolle aus der Motorentwicklung und -kalibration, Messreihen von Komponenten (Kurbelwelle, Zylinder) sowie Messprotokolle vom Zusammenbau der Motoren zur Verfügung. Von den Messprotokollen am EoL-Prüfstand sind die Leistung, die Rußzahl und die Abgastemperatur als Kenngrößen verfügbar. Der Abbildung 4 folgend wird die technische Umsetzung des Use Case in mehreren PLZ-phasenübergreifenden Schritten durchgeführt. Basierend auf den verfügbaren Datensätzen wurden zwei Schritte definiert.

Im ersten Schritt wurde ein Szenario bestehend aus Entwicklung und Kalibration eines Motors samt Qualitätssicherung am Prüfstand herangezogen. Hier wurde erfolgreich nachgewiesen, dass sich unterschiedliche Motorkonfigurationen aus den Messwerten am Prüfstand mit Hilfe von Methoden aus der Data Science identifizieren lassen. Damit wurde der Nachweis erbracht, dass Zusammenhänge zwischen Entwicklungs- und Prüfparametern und den am EoL-Prüfstand gemessenen Werten identifiziert werden können. Auf diese Weise fließen zu Wissen

verarbeitete Daten (vgl. Abbildung 2) aus der PLZ-Phase „VALIDATE“ in die Phase „DEVELOP“ ein.

In einem aktuellen, weiterführenden Schritt wird ein Szenario bestehend aus Produktion, EoL-Prüfstand und Entwicklung analysiert. Hier soll identifiziert werden, ob sich Unterschiede in den gemessenen Qualitätsdaten der verwendeten Komponenten (z.B. Abmessungen einer Kurbelwelle) bzw. in den Produktionsprozessdaten (z.B. Drehmomente beim Zusammenbau eines Motors) in den Varianzen der Leistungsdaten am EoL-Prüfstand widerspiegeln. Daraus soll auf die korrekte Kombination der Einzelteile mit ihren Fertigungstoleranzen, die in der Entwicklungsphase festgelegt wurden, geschlossen werden. Somit findet ein Wissensaustausch aus der PLZ-Phase „PRODUCE“ hin zur PLZ-Phase „DEVELOP“ statt.

5 Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Relevante neue Zusammenhänge können in den Datensätzen nur dann gefunden werden, wenn diese auch in den Daten enthalten sind. Aus der speziellen Ausprägung des Use Case Motorenentwicklung und -produktion hat sich gezeigt, dass gerade die Verfügbarkeit dieser Daten eine große organisatorische Herausforderung darstellt. Dennoch gilt: Betrachtet man Industrie 4.0 auch als Digitalisierung über den gesamten Produktlebenszyklus (Armengaud et al., 2017), so wird mit der Implementierung von Industrie 4.0 ein phasenübergreifender Austausch von Wissen durch eine gezielte Analyse und Vernetzung der in den einzelnen Produktlebenszyklusphasen gesammelten Daten möglich. Dieses Potenzial konnte anhand des hier beschriebenen Industrie 4.0-Use Case dargestellt werden. Für Unternehmen kann ein zusätzlicher Kundennutzen generiert werden, indem Methoden und Kompetenzen aus dem Data Science-Bereich mit dem Wissen von AkteurInnen und den Daten aus dem PLZ kombiniert werden.

Aus dem hier vorliegenden Use Case „Motorenentwicklung und -produktion“ lassen sich zudem zusätzlich relevante Fragestellungen für weitere PLZ-Phasen ableiten. Auch für diese Fragestellungen können, durch Anwendung von Methoden aus der Data Science, phasenübergreifend Antworten bzw. Erklärungen gefunden werden:

- Was kann aus der Produktion für die Motorenentwicklung gelernt werden?
 - Wie können Varianzen bei Prüfergebnissen, die bei am EoL-Prüfstand geprüften und sich innerhalb der Toleranz befindliche Motoren festgestellt wurden, zur Entwicklung beitragen?
 - Welche Erklärungen für die Zusammenhänge zwischen Fertigungstoleranzen und EoL-Prüfergebnissen können datengestützt gewonnen werden?
 - Unter welchen Bedingungen liefert eine Task Force – bestehend aus ExpertInnen aus einzelnen Entwicklungsdomänen – andere Resultate als eine datengestützte Analyse?
- Was kann aus der Betriebsphase für die Motorenentwicklung gelernt werden?
 - Welche Zusammenhänge existieren zwischen Messergebnissen im Feld und EoL-Prüfstandsdaten bzw. Fertigungstoleranzen?

- Kann ein datengestützter Zusammenhang zwischen Fertigungstoleranzen/EoL-Daten und der Lebensdauer hergestellt werden? Wenn ja, wie? Haben beispielsweise bestimmte am EoL-Prüfstand identifizierte Varianzen in Leistungsparametern einen Einfluss auf die Lebensdauer?
- Unter welchen Bedingungen können aus Prototypen gewonnene Erkenntnisse direkt in im Feld betriebene Motoren übertragen werden?

Es gilt nun, diese Fragestellungen in künftigen Forschungsarbeiten weiter zu bearbeiten.

Danksagung

The work has been performed in the project Power Semiconductor and Electronics Manufacturing 4.0 (SemI40), under grant agreement No 692466. The project is co-funded by grants from Austria, Germany, Italy, France, Portugal and - Electronic Component Systems for European Leadership Joint Undertaking (ECSEL JU).

Literaturverzeichnis

- Armengaud E., Sams C., von Falck G., List G. Kreiner C. und Riel A. (2017). *Industry 4.0 as Digitalization over the Entire Product Lifecycle: Opportunities in the Automotive Domain*. In: Stolfa J., Stolfa S., O'Connor R., Messnarz R. (eds) *Systems, Software and Services Process Improvement. EuroSPI 2017. Communications in Computer and Information Science*, vol 748. Springer, Cham
- Curry E. (2016). *The Big Data Value Chain: Definitions, Concepts, and Theoretical Approaches*, in: Cavanillas, J.M., Curry, E., Wahlster, W. (Eds.), *New Horizons for a Data-Driven Economy*. Springer International Publishing, pp. 29-37. doi:10.1007/978-3-319-21569-3_3.
- Hannola L., Richter A., Richter S., Stocker A. (2018). *Empowering production workers with digitally facilitated knowledge processes – a conceptual framework*, *International Journal of Production Research*, <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2018.1445877>.
- Richter A., Heinrich P., Stocker A., Schwabe G. (2018). *Digital Work Design. The Interplay of Human and Computer in Future Work Practices as an Interdisciplinary (Grand) Challenge*, *Bus Inf Syst Eng* (2018) 60: 259. <https://doi.org/10.1007/s12599-018-0534-4>
- Rosenberger M., Stocker A., (2017). *Eine Vorgehensweise zur Unterstützung der Einführung von Industrie-4.0-Technologien*. In: Burghardt, M., Wimmer, R., Wolff, C. & Womser-Hacker, C. (Hrsg.), *Mensch und Computer 2017 - Workshopband*. Regensburg: Gesellschaft für Informatik e.V..