

Data Model Canvas für die IT-System-übergreifende Integration von Datenmodellen zur Unterstützung von Datenanalyse-Anwendungen im Produktlebenszyklus

Thomas Eickhoff, Andreas Eiden, Jonas Gries, Jens C. Göbel

Der Data Model Canvas (DMC) unterstützt methodisch und informationstechnisch den Aufbau der für ein durchgängiges und interdisziplinäres Engineering benötigten fachlichen Datengrundlage und deren Abbildung in den betreffenden IT-Systemen. Basierend auf konkreten Analyse-Szenarien erfolgt eine Modellierung der erforderlichen Datenvernetzung, die wiederum die explizit benötigten Datenquellen umfasst. Im Mittelpunkt dieses Ansatzes steht die Entwicklung eines fachlichen Verständnisses über die zur Analyse notwendigen Produktdaten. Unterstützt wird der Ansatz durch ein Softwaretool zur Erstellung der benötigten Datenmodelle.

Keywords: Datenmodelle, System Lifecycle Management, Ontologie, Datenanalyse

Ausgangssituation und Problemstellung

Digitale Produktzwillinge und die mit Ihnen verbundenen Produktnutzungsdaten dienen als Grundlage zur Optimierung neuer Produkte und der dazugehörigen Lebenszyklusprozesse. Viele Datenanalyse-Anwendungen (Qualitätsmanagement, prädiktives Industrial Engineering) im Produktlebenszyklus erfordern darüber hinaus die Berücksichtigung weiterer Informationen aus heterogenen, über Produktlebenszyklusphasen und verschiedene Unternehmen verteilten Datenquellen. Ein zentrales Problem hierbei besteht darin, die Datenverfügbarkeit für die Analysesoftware auch im Live-Betrieb sicherzustellen. Ein beispielhafter Use-Case hierzu ist die Qualitätssicherung und Rekonfiguration eines Druckers. Die benötigten Daten sind oftmals zwar in IT-Systemen, beispielsweise in Product Lifecycle Management (PLM), Enterprise Resource Planning (ERP) oder IoT (Internet of Things)-Systemen verfügbar, die Erkennung, die Erschließung und die Nutzung von Querbeziehungen zwischen verschiedenen Systemen ist jedoch mit hohem manuellem Aufwand verbunden, da das Wissen hierzu oft nur implizit vorliegt. Für die Entwicklung einer neuen Produktgeneration ist bei-

spielsweise die Auswertung von Fehlerdaten relevant, was neben dem Einsatz von Produktstammdaten und Daten des digitalen Produktzwillings (z.B. in einer IoT-Plattform (Göbel & Eickhoff, 2020)) die Einbeziehung von spezialisierten Systemen (z. B. einer Fehlerdatenbank) voraussetzt, die noch nicht in einem gemeinsamen Datenmodell integriert sind.

Aktuell existiert eine Vielzahl an Lösungsansätzen für die systemübergreifende Datenverwaltung, wie z. B. (Lentes, et al., 2012), (Ernst, 2017), (Abramovici, et al., 2016). So werden Daten, die in verschiedenen Systemen abgelegt sind, teilweise mit anderen Systemen synchronisiert, was für die Anwender einen unkomplizierten Zugriff aus den betroffenen Systemen ermöglicht, aber per Definition eine gewisse Redundanz mit sich bringt. Dies verletzt den Ansatz der „single source of truth“ (Bergsjö, et al., 2006) und birgt das Risiko von inkonsistenten Zuständen.

Dies steht im Kontrast zu einem dezentralen Ansatz, bei dem die Daten in den jeweiligen Quellsystemen verbleiben und bei Bedarf abgefragt werden. Dies führt zu längeren Zugriffszeiten, eliminiert aber Redundanzen, was wiederum den Gesamtspeicherverbrauch und die Potenziale für Inkonsistenzen reduziert (Bergsjö, et al., 2006). Das Mapping – die Verknüpfung von Datenobjekten – kann entweder manuell oder (halb-) automatisch erfolgen. Ein Beispiel für einen automatischen Ansatz wird in (Zeimetz & Schenkel, 2020) beschrieben. Abgesehen von der Abbildung von Daten durch die Erstellung von Verknüpfungen ermöglichen Ontologien semantische Interoperabilität, indem sie gemeinsame Informationsmodelle bereitstellen. Die Erstellung von Ontologien ist ein hochspezialisiertes Gebiet mit verschiedenen Methoden, die jedoch neben Domänenwissen ein entsprechendes Expertenwissen erfordern (Hildebrandt, et al., 2018). Der Bedarf an Spezialwissen steigt mit der Komplexität der Ontologie. Man kann zwischen leichtgewichtigen und schwergewichtigen Ontologien unterscheiden. Erstere sind informelle oder semi-formale Beschreibungen. Software-Engineering-Ansätze wie UML oder Entity-Relationship-Diagramme sind geeignet, um leichtgewichtige Ontologien zu erstellen. Schwergewichtige Ontologien enthalten ebenfalls diese Taxonomien, fügen aber Axiome und Constraints hinzu, um eine tiefere Bedeutung zu erhalten (Gómez-Pérez, et al., 2004).

Unabhängig von der gewählten technischen Umsetzung erfordert der Aufbau eines unternehmensweiten Datenmodells ein Bewusstsein darüber, welche Daten verwaltet werden sollen. Neben system- bzw. herstellerspezifischen Lösungen existieren Ansätze für eine semantische, d.h. auf der Bedeutung der Datenobjekte basierende, Modellierung. Ein solches Modell kann beispielsweise in der Web Ontology Language (OWL), einem offenen Standard, verwaltet werden (W3C, 2012). Die Ontologie bildet

einen gedanklichen Überbau, der in den jeweiligen IT-Systemen realisiert wird. Bestehende Ontologie-basierte Ansätze haben das Potential im Hinblick auf die Erstellung und Verwaltung eines ganzheitlichen Modells im PLM-Kontext gezeigt (Stark & Pfortner, 2015) und können insbesondere auch in früheren Lebenszyklusphasen eingesetzt werden (Kügler, et al., 2018). Die Bearbeitung solcher Modelle hat oft eine starke visuelle Komponente und wurde sogar schon erfolgreich in VR-Umgebungen eingesetzt (Herter & Ovtcharova, 2016). Bestehende Ansätze zeichnen sich durch ein hohes Maß an Flexibilität aus, das sich in der Komplexität der entwickelten Modelle und den dafür verwendeten Werkzeugen widerspiegelt.

Diese Vorarbeiten bieten die Grundlage für den in diesem Beitrag vorgestellten Ansatz und dessen prototypische Implementierung. Die Zielsetzung bestand hierbei in der Entwicklung eines leicht auf die Verhältnisse im betroffenen Unternehmen anpassbaren methodischen Ansatzes sowie einer intuitiv bedienbaren IT-Lösung, die das Einbeziehen von Domänenexperten erleichtert. In den folgenden Abschnitten werden sowohl das entwickelte Konzept, als auch die prototypische Implementierung vorgestellt.

Konzeptioneller Ansatz des Data Model Canvas

Der in diesem Beitrag vorgestellte Ansatz des Data Model Canvas (DMC) unterstützt methodisch und informationstechnisch den Aufbau einer fachlichen Datengrundlage zur Datenanalyse, basierend auf den Datenmodellen der bisher existierenden IT-Systeme. Am Beispiel des Druckerherstellers sind als IT-Systeme unter anderem ein Product Lifecycle Management (PLM) in der Produktentwicklung, ein Enterprise Resource Management-System in der Produktion, eine IoT-Plattform, in der Nutzungsdaten der Drucker zusammenlaufen, eine separate Datenbank für Fehlerberichte, sowie ein Warenwirtschaftssystem für Verbrauchsmaterialien.

Der DMC und die dazugehörige Methodik bildet somit einen zentralen Schritt, das Erlangen eines adäquaten Datenverständnis, im Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) ab (Angée, et al., 2018). Basierend auf konkreten Analyse-Szenarien erfolgt eine Modellierung der erforderlichen Datenvernetzung, die wiederum die explizit benötigten Datenquellen umfasst. Im beispielhaften Anwendungsszenario möchte der Druckerhersteller die Daten aus dem Einsatz der Geräte beim Kunden miteinander verknüpfen und mit den entsprechenden Produktstammdaten vernetzen um in der Entwicklung der folgenden Produktgeneration besser auf die tatsächlichen Einsatzszenarien eingehen zu können.

Im Mittelpunkt dieses Ansatzes steht die Entwicklung eines fachlichen Verständnisses über die zur Analyse notwendigen Daten, ihren Speicherort und eventuelle Beziehungen zwischen den Datenobjekten. Das zu diesem Zweck entwickelte fachliche Datenmodell wird anschließend auf die technische Ebene heruntergebrochen, bevor eine Vernetzung und Anreicherung der Daten erfolgen kann (Abb. 1).

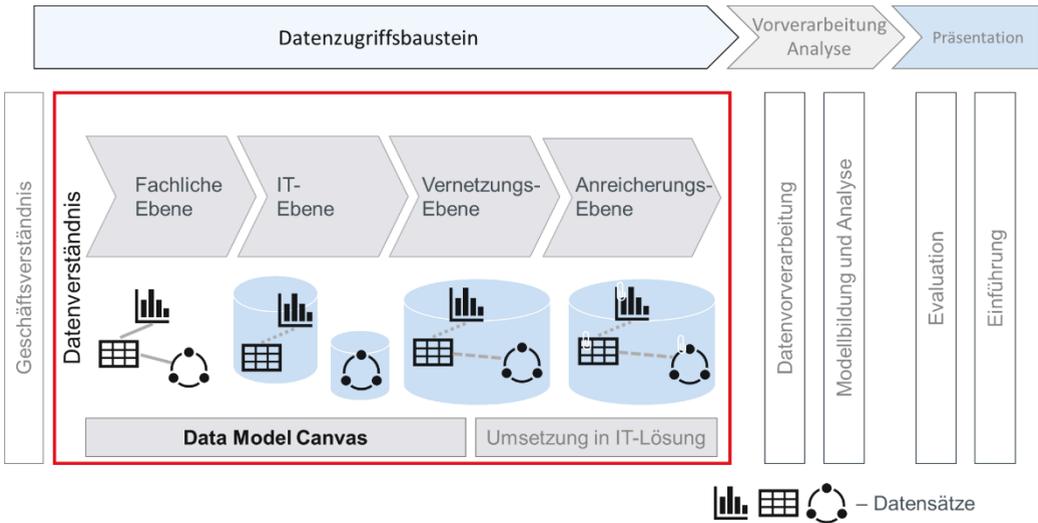


Abbildung 1: Entwicklung eines Datenmodells als Vorstufe für industrielle Datenverarbeitung

Das Erlangen eines adäquaten Datenverständnisses stellt einen zentralen Schritt im Analyseprozess dar. Nachdem im vorhergehenden Schritt des CRISP-DM das Geschäftsverständnis, also das angestrebte betriebliche Ziel der Datenanalyse, geschaffen wurde, gilt es nun die zugrundeliegenden Daten zu verstehen und zu erschließen (IBM, 2012). Dafür müssen zunächst die zur Analyse benötigten Daten sowie deren Speicherorte identifiziert werden. Dieser Schritt wird mithilfe des Data Model Canvas in die zwei Teile „fachliche Ebene“ und „IT-Ebene“ unterteilt (vgl. Abb. 1). Der Aufbau der fachlichen Ebene erfolgt dabei getrieben durch das Wissen der Domänenexperten. Der oben beschriebene Use-Case mit seinen unterschiedlichen IT-Systemen zeigt ein typisches Problem: Innerhalb der verschiedenen Systeme sind ganz ähnliche Daten enthalten. So können Kundendaten sowohl innerhalb des IoT- aber auch im ERP- oder Warenwirtschaftssystem enthalten sein, sich dabei teilweise widersprechen oder in einzelnen Systemen nur unvollständig vorhanden sein.

Eine graphische Benutzeroberfläche erlaubt die intuitive Modellierung, auch ohne spezifische Programmierkenntnisse. Der User kann sich sämtliche Datentypen anzeigen lassen, welche in einem oder mehreren Systemen verwaltet werden. Mithilfe von Filtern können diese eingegrenzt werden, um gleichartige Daten in unterschiedlichen Systemen zu identifizieren. Beispielsweise alle Datentypen welche im Namen *user* beinhalten und daher höchstwahrscheinlich Kundendaten verwalten. Ein gezielter Blick in die Datentypen, in die enthaltenen Tabellenspalten dient hierbei als Kontrollmöglichkeit für den Anwender.

Sollen bereits existierende technische Datenmodelle miteinbezogen werden, wird das Wissen über selbige entweder aus bestehenden Modellen importiert oder direkt durch die verantwortlichen Mitarbeiter beigesteuert. Die Modellierung durch die Domänenexperten sollte jedoch von einem technisch versierten Moderator geleitet werden. Der Moderator kennt zudem die Ziele der Datenanalyse und kann so ausufernde Datenmodelle verhindern.

Im nächsten Schritt wird das entstandene fachliche Modell um die technischen Aspekte angereichert. Hier müssen zunächst die Datenquellen identifiziert werden, in welchen sich die zuvor in der fachlichen Ebene modellierten Datenstrukturen befinden. Im zuvor beschriebenen Anwendungsfall sind das die PLM, ERP und IoT Lösung des Druckerherstellers. Dazu werden im Data Model Canvas die Informationen hinterlegt in welcher Quelle die Daten verfügbar sind und wie man auf diese zugreift. Dabei können drei grundlegende Fälle unterschieden werden: 1) Alle benötigten Daten liegen in einer einzigen Datenquelle vor. 2) Identische Daten liegen in unterschiedliche Datenquellen vor. 3) Die benötigten unterschiedlichen Daten liegen in unterschiedlichen Datenquellen vor. Im Falle des Druckerherstellers liegt der dritte Fall vor. Somit werden im DMC auch Querbeziehungen zwischen den Datensätzen einzelner Abteilungen oder Systeme abgebildet, welche zuvor in keinem System explizit vorhanden sind.

Sind die benötigten Daten sowie ihre Beziehungen und ihr Speicherort bekannt, kann die eigentliche Vernetzung stattfinden. In diesem Schritt werden die im DMC entwickelten Modelle auf die reale Infrastruktur übertragen, damit die Daten in gebündelter Form für die Analyse zur Verfügung stehen. Dafür kommen verschiedene Lösungen in Frage, wobei der DMC durch seinen Aufbau eine große Flexibilität in der technischen Umsetzung erlaubt. Eine Einschränkung auf konkret zu verwendende Softwaresysteme oder eine feste Struktur des endgültigen Datenmodells wird vermieden. Das entwickelte Datenmodell kann sowohl zentrale als auch dezentrale Integrationsansätze unterstützen, die je nach Rahmenbedingung unterschiedlich geeignet sind (Bergsjö, et al., 2006). Für eine Peer-to-peer-Integration mit einem zentralem Metamodell steht es

als systemübergreifende Steuerinstanz, die im Vergleich zu Ontologie-basierten Ansätzen sehr leichtgewichtig ausfällt (Hildebrandt, et al., 2018), da das generierte Datenmodell nur als Station auf dem Weg zur technischen Umsetzung und nicht als eigenständiges, lebendiges Modell gesehen wird. Ein zusätzliches Ausleiten der Ergebnisse des DMC in Form einer OWL-basierten Ontologie in der Zukunft ist jedoch denkbar.

Der letzte Teilschritt aus Abb.1 stellt die „Anreicherungs-Ebene“ dar. Hier werden die im Laufe des Prozesses gesammelten Informationen dokumentiert und nachfolgenden Schritten des CRISP-DM zur Verfügung gestellt. In diesem Stadium sollte eine Betrachtung der Datenqualität und -quantität stattfinden. Dabei sollte zunächst abgeschätzt werden ob die Datenmenge für die angestrebten Analysemethoden ausreichend ist (IBM, 2012). Zudem sollte mit geeigneten Kriterien beurteilt werden, wie die vorliegende Datenqualität ist. Diese Informationen werden dann gebündelt dem nachfolgenden Schritt, der Datenvorverarbeitung, übergeben.

Für den schnellen Betrieb von Analysen ist es notwendig, dass die entsprechenden Daten möglichst schnell in die Analysesoftware geladen werden können und daher möglichst passend gespeichert werden. Hier haben sich Data Lakes und Data Warehouses als Strukturierungs- und Speichermöglichkeit etabliert. Die Architektur des Data Model Canvas als GUI einer Integrationsplattform mit einer Metadaten-Datenbank, ist im Sinne der Datenanalyse kein idealer Datenspeicher, da in ihr nicht die eigentlichen Nutzdaten, sondern nur der Verweis auf diese gespeichert ist. Durch diese Architektur kann allerdings ein pragmatischer Ansatz zum Aufbau eines Data Marts, eines speziellen Datenausschnitts für die Analyse, umgesetzt werden. In diesem Ansatz, welcher stark domänenwissen-zentriert und leichtgewichtig ist, wird ein mehrstufiger Prozess durchlaufen:

1. Das fachliche Datenmodell, in dem sich Attribute befinden, welche für eine spätere Analyse wichtig sind, wird mit Datentypen verbunden, in welchen diese Informationen gespeichert sein könnten.
2. Die Verbindung zwischen fachlichem Attribut und einem Datentyp wird auch datentypeseitig auf die Attributebene heruntergebrochen. Hier können nun einzelne „Tabellenspalten“ ausgewählt werden, welche ihren Input in das Analysemodell liefern sollen.
3. Die für diesen Fall ausgewählten Datenelemente aus einzelnen Systemen (=Tabellenspalten) werden dazu genutzt einen Data Mart aufzubauen und die entsprechenden Nutzdaten aus den ursprünglichen Systemen in diesen Data Mart zu übertragen und dieses für weitere Aktualisierungen zu befähigen.

4. Zur Realisierung werden in einem festgelegten Format die Information über Datenherkunft und Zugriffsmöglichkeit (soweit bekannt) über eine Schnittstelle übertragen.

Zusammenfassend stellt die dem DMC zugrundeliegende Methodik passende Werkzeuge, die sich je nach angestrebten Anwendungsszenarien für die integrierten Daten passende Lösungsansätze. Die Benutzeroberfläche des DMC führt Anwender durch die fachliche und IT-Ebene und erlaubt die konzeptionelle Beschreibung der angedachten Vernetzung. Anschließend werden die Ergebnisse der Modellierung für die technische Umsetzung in der betreffenden IT-Landschaft bereit. Dabei steht für den angedachten Fokus des Wissens der Domänenexperten eine einfache und intuitive Benutzeroberfläche im Vordergrund, deren Ansätze im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

Prototypische Implementierung und Plattform

Der konzeptionelle Ansatz des Data Model Canvas wurde prototypisch als Softwaredemonstrator implementiert, welcher von Domänenexperten und Data Scientists zur Datenmodellierung genutzt werden kann (Abb. 2).

Der Demonstrator erlaubt eine graphbasierte Zusammenführung und Erweiterung von Datenmodellen, in welcher das fachliche Datenmodell aus dem Analyse-Anwendungsfall, sowie das technische Datenmodell, welches die existierenden Daten beschreibt, in Beziehung gesetzt werden können.

Hierbei können Domänenexperten in einer kollaborativen Weboberfläche in Echtzeit mit den Analysespezialisten an dem gemeinsamen Modell arbeiten. Die grafische Benutzeroberfläche ist bewusst einfach gestaltet, um die Einstiegshürde für Domänenexperten gering zu halten. Neue Datenobjekte können per Mausklick angelegt und verbunden werden. Die Bedienung durch den Nutzer erfolgt insbesondere durch das Ziehen visueller Verbindungen innerhalb der graphbasierten Oberfläche, indem zuerst der "Start" und das "Ende" nacheinander angeklickt werden. Die so erstellte Verbindung wird direkt im Browserfenster visualisiert und anschließend auch in der DOT-Language gespeichert, um auch dauerhaft gespeichert oder exportiert zu werden. Durch verschiedene Farben, die Möglichkeit zu individuellen Beschriftungen und zusätzlichen Neben der Arbeitsfläche kann der Nutzer die angebotenen Quellsysteme auswählen und den Graphen erweitern.

Die Graphdarstellung ist mit Hilfe der Open-Source-Bibliothek vis.js (vis.js, 2021) realisiert, das entwickelte Datenmodell wird zunächst zentral auf dem Django-basierten

Server (Holovaty & Kaplan-Moss, 2009) verwaltet und durch die Änderung der einzelnen Webclients angereichert. Bestehende Datenmodelle können per Import eines UML-Modells integriert werden und durch neue Verbindungen mit den bestehenden Objekten verbunden werden. Im Anschluss kann das Modell in der textuellen Repräsentation DOT (Gansner, et al., 2015) exportiert werden oder im Rahmen einer Integrationsplattform direkt weiterverwendet werden.

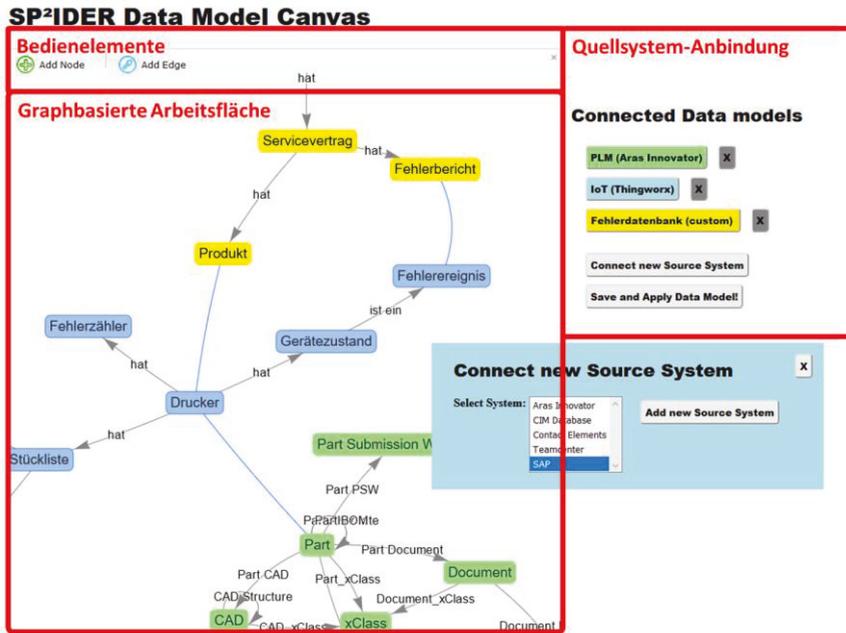


Abbildung 2: Früher Prototyp der DMC-Benutzeroberfläche

Der DMC und eine zugehörige Backend-Lösung, welche die Schritte Vernetzung, sowie Anreicherung (Abb. 1) unterstützt, sind Bestandteil der semantischen Integrationsplattform SP²IDER (Eickhoff, et al., 2020), die das entwickelte Datenmodell als Basis für den Aufbau eines semantischen Metadaten-Modells verwendet. Die eigentlichen Daten verbleiben in den bestehenden Systemen, verwaltet wird lediglich die Information, welche Datenobjekte in welchen Systemen verfügbar sind, und welche Beziehungen zwischen Datenobjekten innerhalb eines IT-Systems existieren. Zusätzlich können Querbeziehungen zwischen den Systemen hinzugefügt und dargestellt werden. Der Anwender der Integrationsplattform kann diese nutzen, um sich einen Überblick über

den Kontext eines Datenobjektes (z. B. das betroffene Bauteil eines technischen Änderungsprozesses) verschaffen und die verfügbaren Daten aus den jeweiligen Quellsystemen per Live-Abfrage abrufen. Der Zugriff auf die angebotenen Systeme erfolgt hierbei über eine schlanke und einheitliche Schnittstelle auf Basis von RESTful Webservices, die auf Seite des jeweiligen Quellsystems durch einen systemspezifischen Konnektor bereitgestellt werden.

Ziel der Integrationsplattform ist die Bereitstellung eines systemübergreifenden Zugriffs auf alle Daten, um ein durchgängiges Engineering zu ermöglichen. Dabei bleibt die im Unternehmen existierende IT-Infrastruktur weitgehend unberührt. Eine Datendopplung wird größtenteils vermieden, da lediglich Metadaten in der Integrationsplattform gespeichert werden und über die Konnektoren mit den jeweiligen Quellsystemen abgeglichen werden.

Die Konzepte der Integrationsplattform finden aktuell im Forschungsprojekt AKKORD Anwendung, dessen Ziel die vernetzte und integrierte Anwendung von industrieller Datenanalyse für die wertschaffende, kompetenzorientierte Kollaboration in dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken ist. Als elementares Teilziel sollen Methoden, Prozesse und IT-Tools zur Schaffung einer übergreifenden und vernetzten Datenbasis für diese Analysen geschaffen werden. Hier soll der Data Model Canvas als Teil des Daten-Backend-Systems einer kollaborativen Integrationsplattform stehen, die Unternehmen die Möglichkeit gibt, die erforderlichen Kompetenzen für ein ganzheitliches Datenmanagement in dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken aufzubauen, Einführungsstrategien für die benötigten technischen Lösungen zu entwickeln und Umsetzungen anzustoßen. Im Rahmen des Projektes werden die entwickelten Forschungsansätze prototypisch in industriellen Anwendungsszenarien entwickelt und validiert, z.B. zur Reduzierung von manuellen Analysetätigkeiten im Industrial Engineering oder zur Nutzung im ganzheitlichen Qualitätsmanagement.

Fazit und Ausblick

Der Data Model Canvas bietet die Möglichkeit, das in den Köpfen der Domänenexperten vorhandene Wissen zu nutzen, um fachliche Datenmodelle für die Integration verschiedener Datenquellen zu erstellen. Diese Modelle können als Basis für eine spätere technische Implementierung dienen. Der Data Model Canvas ist als Werkzeug nicht auf eine spezifische Integrationslösung festgelegt, jedoch wird durch den Einsatz im Rahmen der SP²IDER-Plattform auch ein konkretes Gesamtscenario verfolgt und entwickelt. Konkrete Anwendungsfälle werden im Kontext von Forschungsprojekten, wie beispielsweise AKKORD, erarbeitet. Somit wird der Data Model Canvas als Tool für die

digitale Vernetzung von Datenmodellen Teil eines Gesamtkonzeptes für die Digitalisierung von Unternehmen.

Der aktuelle Forschungsfokus liegt im Bereich der Anbindung und Bereitstellung der technischen Datenmodelle bestehender IT-Systeme sowie die Erweiterung des Data Model Canvas für die detaillierte Betrachtung von redundanten Datenattributen sowie die Implementierung von Konsistenzkriterien und Möglichkeiten der Konfliktbehandlung. An dieser Stelle ist insbesondere die Einbindung des DMC innerhalb eines Prozesses mit allen vorgelagerten Schritten der Datenaufbereitung, sowie der anschließenden Verwendung zur Steuerung eines Data Marts.

Danksagung

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt AKKORD wird/ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Industrie 4.0 - Kollaborationen in dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken (InKoWe)“ (Förderkennzeichen 02P17D210) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Quellen

- Angée, S. et al., 2018. Towards an Improved ASUM-DM Process Methodology for Cross-Disciplinary Multi-organization Big Data & Analytics Projects. In: Knowledge Management in Organizations. Cham: Springer International Publishing, pp. 613-624.
- Bergsjö, D., Malmqvist, J. & Ström, M., 2006. Architectures for mechatronic product data integration in PLM systems. Proceedings DESIGN 2006, the 9th International Design Conference.
- Eickhoff, T., Eiden, A., Göbel, J. C. & Eigner, M., 2020. A Metadata Repository for Semantic Product Lifecycle Management. Procedia CIRP 91, pp. 249-254.
- Gansner, E., Koutsofios, E. & North, S., 2015. Drawing graphs with dot. [Online] Available at: <http://www.graphviz.org/pdf/dotguide.pdf> [Zugriff am 01. 03. 2021].
- Göbel, J. C. & Eickhoff, T., 2020. Konzeption von Digitalen Zwillingen smarterer Produkte. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 115, pp. 74-77.
- Gómez-Pérez, A., Fernandez-Lopez, M. & Corcho, O., 2004. Ontological Engineering. s.l.:Springer Verlag London.
- Herter, J. & Ovtcharova, J., 2016. A Model based Visualization Framework for Cross Discipline Collaboration in Industry 4.0 Scenarios. Procedia CIRP 57, pp. 398-403.
- Hildebrandt, C., Törsleff, S., Caesar, B. & Fay, A., 2018. Ontology Building for Cyber-Physical Systems: A domain expert-centric approach. IEEE 14th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), pp. 1079-1086.
- Holovaty, A. & Kaplan-Moss, J., 2009. The Definitive Guide to Django: Web Development Done Right. Berkeley, CA: Apress.

IBM, 2012. IBM SPSS Modeler CRISP-DM-Handbuch. [Online] Available at: <ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/modeler/15.0/de/CRISP-DM.pdf> [Zugriff am 01. 03. 2021].

Kügler, P., Schleich, B. & Wartzack, S., 2018. Consistent digitalization of engineering design—an ontology-based approach. DS 91: Proceedings of NordDesign 2018.

Stark, R. & Pförtner, A., 2015. Integrating ontology into PLM-tools to improve sustainable product development. CIRP Annals 64, pp. 157-160.

vis.js, 2021. vis.js community edition. [Online] Available at: <https://visjs.org/> [Zugriff am 01. 03. 2021].

W3C, 2012. OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition). [Online] Available at: <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/> [Zugriff am 01. 03. 2021].

Zeimetz, T. & Schenkel, R., 2020. Sample Driven Data Mapping for Linked Data and Web APIs. Proceedings of the 29th ACM International Conference on Information & Knowledge Management, pp. 3481-3484.

Kontakt

Thomas Eickhoff, M. Sc.
Dipl.-Ing. Andreas Eiden
Dipl.-Ing. Jonas Gries
Prof. Dr.-Ing. Jens C. Göbel
TU Kaiserslautern
Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung
Gottlieb-Daimler-Str. 44
67663 Kaiserslautern