

Die Materialflusssimulation im Kontext eines Produktlebenszyklusmanagements

Material Flow Simulation in the Context of Product Lifecycle Management

Torben Meyer, Carsten Pöge, Volkswagen AG, Wolfsburg (Germany),
torben.meyer@volkswagen.de, carsten.poege@volkswagen.de

Abstract: Product Data Management (PDM) and the associated Product Lifecycle Management (PLM) form the data and process basis for the product development process. Thus, PDM also takes place in production planning, especially in the area of the digital factory, where material flow simulation also has its focus. This paper addresses the problem of how to design links between material flow simulation on the one hand and PDM/PLM on the other. The benefit is a better integration of the material flow simulation into the further operational value creation processes, especially with regard to input data availability, change processes and further use of the simulation results.

1 Einführung

Die Rahmenbedingungen für die Materialflusssimulation in der Automobilindustrie haben sich in den letzten Jahren stark verändert. Eine steigende Anzahl an neuen Fahrzeugmodellen, kürzere Modellzyklen und die Einführung neuer Technologien, für die in der Planung noch wenig Erfahrungswerte vorliegen (frei navigierende FTF, Batteriezellfertigung, etc.), führen zu einer steigenden Anzahl von Simulationsprojekten und der in den einzelnen Projekten zu untersuchenden Planungsvarianten. Gleichzeitig steigt mit der Komplexität der Planungsgegenstände auch die Komplexität der Simulationsmodelle. Um die Arbeitslast für die Simulationsexperten weiterhin beherrschbar zu halten, muss die Projektdurchführung effizienter werden. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, ist der konsequente Einsatz eines Produktdatenmanagements auch im Bereich der Materialflusssimulation, was neben dem Aspekt einer effizienteren Projektdurchführung auch Potentiale im Bereich der Informationssicherheit und bei der Zusammenarbeit in größeren Projektteams bietet.

In diesem Abschnitt erfolgt eine Einführung in das Thema und es wird eine Einordnung in den aktuellen Forschungsstand vorgenommen. Danach werden aus der VDI-Richtlinie 3633 (1993) die Simulationsdaten dem PDM gegenübergestellt. Im

Anschluss werden die zwölf Kernfunktionen von PDM-Systemen nach Eigner und Stelzer (2009) auf die Materialflusssimulation angewendet. Schließlich erfolgt eine Diskussion von industriellen Anwendungsfällen der Materialflusssimulation vor dem Hintergrund des PDM.

Von Fischer et al. (2017, S. 136) wurden Prozess- und Ressourcendaten aus dem PDM-System Teamcenter zum Simulator Plant Simulation zum Zweck der automatischen Modellgenerierung übertragen. Bei Morshedzadeh et al. (2018) wurden im PDM-System Teamcenter Produkt-, Prozess- als auch Ressourcenstrukturen modelliert, die bspw. 3D-Geometrien mit Verfügbarkeitsdaten und Arbeitszeiten beinhalten. Diese Daten wurden ebenfalls zum Simulator Plant Simulation übertragen und importiert. Nach Abschluss der Simulation wurde ein „HTML Report“ als Ergebnisdokument dem PDM-System zur Verfügung gestellt. Von Kühn (2006, S. 1900) wird qualitativ der strategische Nutzen von PLM im Rahmen der Digitalen Fabrik untersucht. Die technische Realisierung einer Schnittstelle zwischen einem PDM-System und einem Simulator beschreibt Bauknecht (2019).

2 Einordnung der Simulationsdaten in das Produktdatenmanagement

Unumstritten sind die Eingangsdaten ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Materialflusssimulation. Die „Daten für die Simulation“ werden in der VDI-Richtlinie 3633 (1993, S. 9) strukturiert aufgelistet und sind in Tabelle 1 dargestellt. Gegenübergestellt sind die relevanten Strukturen aus dem PDM. Dabei handelt es sich zuallererst um die Produktstückliste, genauer gesagt um die Produktionssicht auf die Produktstückliste. Die prozessunabhängige Infrastruktur der Fabrik, also die Fabrikstrukturdaten wie z. B. das Layout, werden im PLM-Kontext als PlantBOR organisiert. Alle weiteren Informationen, die insbesondere die zeitliche Dynamik des Simulationsmodells tangieren (z. B. Ablauforganisation), werden als Prozessdaten abgelegt. Eine Stärke von PDM-Systemen ist ausdrücklich die Verwaltung der verschiedenen Strukturen bzw. Stücklisten mit Dokumenten, die im Rahmen der Erstellung eines Unternehmensmodells definiert werden (Arnold et al. 2011, S. 167).

In die Strukturen der Tabelle 1 kann das ganze Simulationsmodell als Dokument abgelegt werden. Unter Dokument verstehen wir dabei datentechnisch „eine Informationseinheit, bestehend aus Datei und Metadaten“ (Schöttner 2017, S. 103). Die Metadaten des Simulationsmodells (Name, Änderungsdatum, Version, etc.) sind dabei im PDM-System indexiert und (entsprechende Berechtigungen vorausgesetzt) lesbar. Für das eigentliche Öffnen der Datei des Simulationsmodells ist jedoch der Simulator notwendig. Dieses Vorgehen ist einzuordnen in das dokumentenbasierte Arbeiten.

In Hinblick auf das modellbasierte Arbeiten kann bei einer tieferen Integrationsstufe das Simulationsmodell auch als Struktur verstanden werden, das heißt, es wird nicht ausschließlich als Ganzes verwaltet (Versionierung, Zugangsberechtigung, etc.), sondern das Simulationsmodell bildet ebenfalls eine Struktur über ableitbare bzw. aussteuerbare Dokumente. Bei bausteinorientierten Simulatoren könnten bspw. Bausteine als einzelne Dokumente modelliert werden. Eine derartige Umsetzung ist die Voraussetzung für die Verbindung einzelner Bestandteile des Simulationsmodells

mit anderen Dokumenten aus dem PDM-System (z. B. Layoutelementen). Die Anwendungsmöglichkeiten werden im folgenden Abschnitt geschildert.

Table 1: Zusammenhang zwischen Simulationsdaten und PDM-Strukturen

Daten für die Simulation (VDI-Richtlinie 3633, 1993)	Relevante Strukturen im PDM
Produktdaten	Manufacturing Bill of Material (MBOM) Produktionssicht auf das Produkt
Fabrikstrukturdaten	Plant Bill of Resource (PlantBOR) Prozessunabhängige Infrastruktur
Auftragseinlastung	
Arbeitszeitorganisation	
Ressourcenzuordnung	
Ablauforganisation	Plant Bill of Process (PlantBOP) Fabriksicht der Fertigungsprozesse
Fertigungsdaten	
Materialflussdaten	
Stördaten	

3 Anwendung der Kernfunktionen eines PDM-Systems auf die Materialflusssimulation

Von Eigner und Stelzer (2009) wurden zwölf Kernfunktionen beschrieben, die in der Mehrzahl der PDM-Systeme implementiert sind. Zu den Kernfunktionen werden ebenda gezählt: Stamm- und Strukturverwaltung, Dokumentenmanagement, Gruppentechnik, Projektmanagement, Workflow-Management, Freigabe- und Änderungsmanagement, Viewing/Redlining/DMU, I/O-Management, Publisher, Archiv und Backup, Datenreplikation sowie Integrationen.

In Mayer et al. (2020) wurden viele Anwendungsgebiete der Materialflusssimulation am Beispiel der Automobilindustrie vorgestellt. In diesem Abschnitt sollen die zwölf Kernfunktionen von PDM-Systemen auf das Anwendungsgebiet der Planung von Karosseriebauanlagen angewendet und der entsprechende Mehrwert dargestellt werden.

Die Funktion **Stamm und Struktur** der Karosseriebauanlagen wird im Rahmen der Produktionsplanung dem PDM-System zur Verfügung gestellt. Unter Struktur versteht man in diesem Zusammenhang die hierarchische Anordnung (PlantBOR) von dem Werk über das Gebäude, die Linie, die Station usw. bis hin zu einzelnen Komponenten, deren CAD-Konstruktion ebenfalls im PDM-System abgelegt wird. Der Stamm (respektive die Stückliste) bildet dabei die Liste über einen definierten (Fabrik-)Bereich. Die Materialflusssimulation wählt entsprechend der simulativen Systemgrenzen ihren Bereich aus. Zu beachten ist dabei, dass die Verknüpfung zwischen Informationsobjekt im PDM-System und Informationsobjekt in der Materialflusssimulation (z. B. einem Simulationsbaustein) modelliert wird und erhalten bleibt (Datendurchgängigkeit), um einen durchgängigen

Informationsaustausch zwischen der Materialflusssimulation als Expertensystem auf der einen Seite und dem PDM-System als zentraler Datendrehscheibe auf der anderen Seite konsistent zu ermöglichen. Auszutauschende Informationen können dabei z. B. die Verfügbarkeiten von einzelnen Anlagen sein, die der Anlagenplaner ermittelt und neben dem Layout im PDM-System abgelegt hat und die vom Simulationsexperten als Eingangsinformationen genutzt werden. Darüber hinaus sollen nach Abschluss der Simulationsstudie relevante Informationen (z. B. die tatsächliche Auslastung einer Anlage) an das entsprechende Informationsobjekt im PDM-System zurückgespielt werden.

Mit der Kernfunktion **Dokumentenmanagement** können für die Prozesskette relevante Dokumente im PDM-System an einem zentralen Ort und im Kontext der Fabrikstruktur (PlantBOR) abgelegt werden. Nach Abschluss der Materialflusssimulation bei Karosseriebauanlagen wird ein Abschlussbericht bzw. eine -präsentation erstellt, der bzw. die im PDM-System verfügbar gemacht werden muss und so späteren Prozessschritten (sowie Umbauten und Brown Field Planung) die Ergebnisse der Simulation zugänglich und die Suche nach Ansprechpartnern einfacher macht.

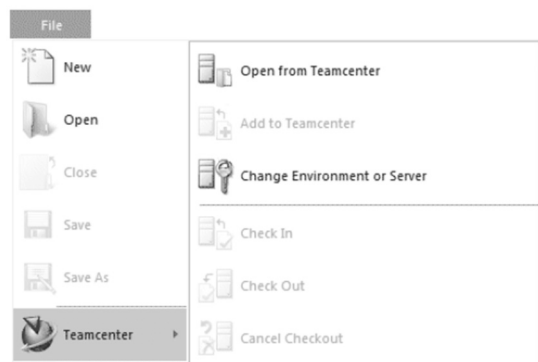


Abbildung 1: PDM-Integration auf Dokumentenebene in Plant Simulation zu Teamcenter

Unter **Integration** versteht man im PLM-Kontext das Zusammenwirken und den Datenaustausch verschiedener Expertensysteme (z. B. Materialflusssimulator) und der betrieblichen Datenbackbones (PLM und ERP). Zuerst geht es hierbei um die Bereitstellung von Dateioperationen (Öffnen, Speichern, etc.) in der Materialflusssimulation (Abbildung 1), damit die Anwender des Expertensystems sich auf ihre Applikationen konzentrieren können und die Komplexität des PDM-Systems im Tagesgeschäft des Simulationsexperten ausgeblendet werden kann. Auf Basis einer vorhandenen Integration können Abhängigkeiten zu Eingangsdaten (Tabellen mit Verfügbarkeitsdaten, Layouts mit Materialflüssen, etc.) sowie genutzte Simulationsbibliotheken, die im Rahmen eines PLM-Managementansatzes im PDM-System verwaltet werden, modelliert und dem Simulator zugänglich gemacht werden. Im Sinne eines Lebenszyklus sollen dann die Ergebnisdaten (ggf. mit Unterstützung der Kernfunktion Publisher) zugänglich gemacht werden.

Bei Wick et al. (2020, S.30) wird erwähnt, dass sowohl „die Eingangsdaten, als auch die Ergebnisdaten (...) im Simulationsmodell gespeichert werden (müssen). Dafür bietet sich eine zentrale Struktur an, um die Übersichtlichkeit zu erhöhen“. Aus Sicht des einzelnen Prozessschritts „Materialflusssimulation“ ist diese Aussage mit Sicherheit richtig. Aus der Sichtweise eines durchgängigen Prozesslebenszyklusmanagements, insbesondere der Kernfunktion **Freigabe- und Änderungsmanagement**, stellt diese lokale Datenhaltung jedoch eine Gefahr da. Im Falle einer Änderung der Karosseriebauanlage ist bei einer getrennten, lokalen Datenhaltung nicht sichergestellt, dass diese Änderung auch Eingang in die Simulation findet. Daher sollte die geforderte zentrale Datenhaltung im PDM-System stattfinden, auf das alle Beteiligten Zugriff haben. Von der Materialflusssimulation sollte nur eine Referenzierung erfolgen. Ein weiterer Vorteil in diesem Zusammenhang ist, dass Daten in PDM-Systemen einem kontrollierten Änderungsprozess (engl. Engineering Change Management, ECM) unterliegen, in dem alle Beteiligten abgefragt und über Änderungen informiert werden. Dies erleichtert auch die Pflege und Aktualisierung der Daten durch Kollegen ohne Simulations-Know-How und ermöglicht eine Versionierung der Daten, respektive Modelle, sowie die regelkonforme Archivierung. Grundlage für einen automatisierten ECM-Prozess ist natürlich die informationstechnische Vernetzung der beteiligten Parteien.

Im Bereich des Wissensmanagements mit PDM kann die **Gruppentechnik** angewendet werden. Hierbei werden abgelegte Simulationsmodelle oder -ergebnisse mit Schlagworten versehen oder klassifiziert, damit sie z. B. durch eine gezielte Suche schneller gefunden werden können. Das PDM-System dient dabei als Wissensdatenbank. Typische Schlagworte oder Klassifizierungen in der Automobilbranche sind das simulierte Gewerk (z. B. Schlagwort „Inbound Logistik“), das produzierende Werk (Klassifizierungsmerkmal Werk ist gleich „Wolfsburg“), etc. Für alle abgelegten Simulationsmodelle bzw. -ergebnisdokumente kann die Klassifizierung systemseitig als verbindlich konfiguriert werden, so dass ein fester Satz von Klassifizierungsmerkmalen (Werk, Gewerk, Stückzahl pro Stunde, Methodik, usw.) definiert werden muss, um eine spätere Suche zu erleichtern.

Die Materialflusssimulation ist im fachlichen Ablauf vieler Produktionsplanungen fest verankert und findet eine entsprechende Repräsentation im betrieblichen **Projektmanagement** als ein oder mehrere Projektvorgänge, die Vorgänger- und Nachfolgerbeziehungen zu anderen Vorgängen aufweisen. Durch die Implementierung von Projektmanagementmodulen in vielen PDM-Systemen kann eine direkte Verknüpfung zwischen Projektvorgang und den dazugehörigen Dokumenten bzw. fachspezifischen Workflows erfolgen. Dies ist ein klarer Vorteil ggü. dedizierter Projektmanagementsoftware, bei der zumeist eine Trennung zwischen den Inhalten des Projektmanagements (im Sinne von Zeit, Qualität und Kosten) sowie den fachlichen Inhalten der Projektvorgänge (hier das Simulationsmodell bzw. -ergebnisdokument), die häufig auf Netzwerklaufwerken, Dokumentenmanagementsystemen oder lokal gespeichert werden, erfolgt. Durch die Integrationsplattform des PDM-Systems sind das Projektmanagement und die fachlichen Inhalte direkt verbunden und werden nicht getrennt verwaltet.

Ein **Workflow** ist ein verbindlicher und systemgestützter Arbeitsablauf von meist mehreren Prozessbeteiligten auf operativer Ebene. Häufig wird ein Workflow einem Projektvorgang unisono zugeordnet. Mit Beginn des Projektvorgangs

„Materialflusssimulation (Anlage) erstellen“ wird zum Beispiel der gleichnamige Workflow (Abbildung 2) ausgeführt und die zugehörigen Aufgaben werden den Bearbeitern zugewiesen. Im Rahmen von Workflows werden häufig dokumentierte Reviews (z. B. Abstimmung der Eingangsdaten) oder Reifegrade mit Status (Simulation abgeschlossen) durchgeführt.

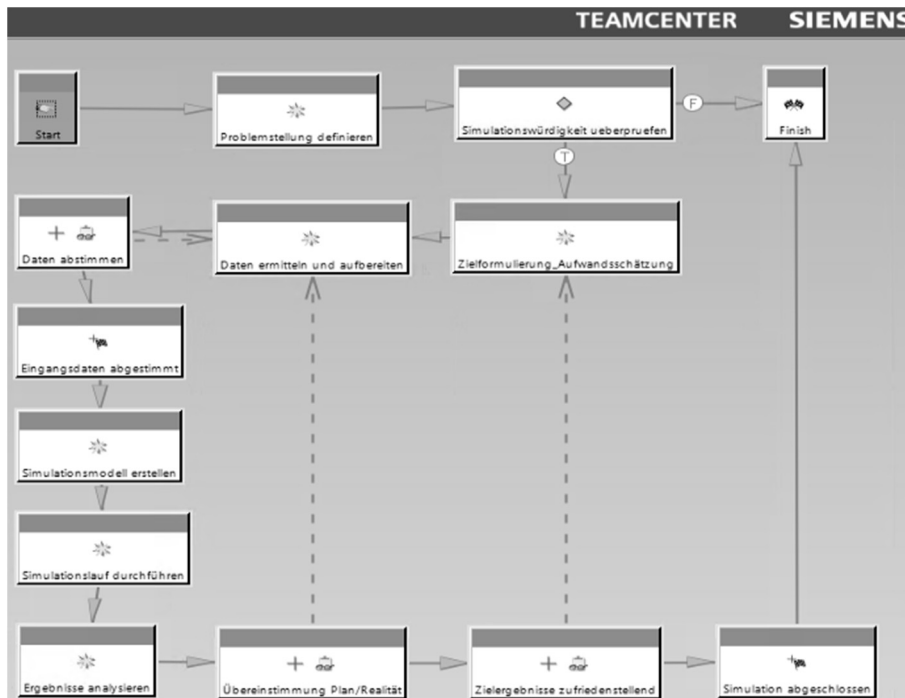


Abbildung 2: Workflow für Materialflusssimulation in Anlehnung an VDI-Richtlinie 3633 (1993) im PDM-System

Eine wichtige Eigenschaft des PLM-Managementansatzes ist das Bereitstellen von Informationen für die gesamte Prozesskette, wovon die Materialflusssimulation nur einen Prozessschritt bildet. Die eigentliche Simulationsanwendung nutzt dabei zumeist ein proprietäres Dateiformat zur Speicherung des Simulationsmodells und der -ergebnisse, so dass weite Teile der Prozesskette diese Dateien nicht öffnen respektive verwenden können (**Viewing**). Die Lösung dafür bilden Autorensystem-unabhängige Neutralformate, zum Beispiel Simulation Data Exchange (SDX, Sly 2001) oder Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) mit allen Vor- und Nachteilen, die diese Neutralformate bieten (Bergmann et. al 2011). Dazu zählt auch, dass die Übertragung der simulatorspezifischen Programmiersprachen in Neutralformat in der praktischen Anwendung nicht gelöst ist.

Neben einer Übertragung des Simulationsmodells in Neutralformate ist auch eine Übertragung der 2D- oder 3D-Repräsentation des Simulationsmodells in Neutralformate (JT, VRML, etc.) zum Zweck des Viewings möglich. Um die Simulationsergebnisse für die Prozesskette zu visualisieren, könnten grafische Diagramme oder Kennzahlen direkt im 3D-Raum neben den Anlagen dargestellt werden. Unter Einsatz der PDM-Kernfunktion **Redlining**, womit ursprünglich auf

technischen Zeichnungen mit einem roten Stift Kommentierungen vorgenommen wurden, werden Kommentare in den 3D-Repräsentationen im Neutralformat durch Prozesskettenteilnehmer hinterlassen. Dadurch können Anmerkungen und Kommentare an der Simulation vorgenommen werden. Viewing und Redlining sowie Digital Mock-Up (DMU) sind einige Beispiele für das **Input/Output-Management**. I/O-Methoden, wie das Drucken, sind – insbesondere im Kontext der Materialflusssimulation – zunehmend seltener anzutreffen.

Unter der Kernfunktion **Publishing** versteht man im engeren Sinne das Ableiten von Dokumenten aus Produktmodellen. Beispielweise kann es sich hierbei um die (ggf. automatische) Erstellung einer Bedienungsanleitung für Fahrzeuge handeln. Angesichts von Dokumentationspflichten sowie varianten- und revisionsgenauer Ausleitung et cetera ist diese Aufgabe keinesfalls als trivial anzusehen.

Die Vorgehensweise des Publishings lässt sich auch auf die Materialflusssimulation im Kontext des PLM übertragen. Den Abschluss einer Simulationsstudie bildet klassischerweise ein Abschlussdokument bzw. eine Abschlusspräsentation. Im Vordergrund stehen dabei sicherlich managementgerechte, kompakte Aussagen und Handlungsempfehlungen (so genanntes Executive Summary). Darüber hinaus bestehen die Abschlussdokumente im Beispiel der Karosseriebauern zum großen Teil aber aus Diagrammen und Tabellen, deren manuelle Aktualisierung und Anpassung fehleranfällig wäre. An dieser Stelle können mit Hilfe des Publishings Dokumente aus Simulationsdaten generiert und damit die Nachverfolgbarkeit zwischen Dokument und Modell sichergestellt werden. Eine Umsetzung mit der Bezeichnung „TeamcenterReport (HTML)“ wurde von Bauknecht (2019) für Plant Simulation vorgestellt.

Die Kernfunktionen **Archiv und Backup** sowie **Datenreplikation** sind in zeitgemäßen PDM-Installationen als gegeben anzusehen. Die Archivierung und das Backup beugen Datenverlust vor und sorgen für eine Langzeitverfügbarkeit der Daten, um ggf. gesetzliche Anforderungen zu erfüllen. Die automatische Datenreplikation sorgt für die standortübergreifende und latenzarme Verfügbarkeit von Daten. Besondere Anforderungen der Simulationsdaten, die über die Anforderungen der klassischen Produktdaten hinausgehen, sind nicht zu erkennen. Beide Kernfunktionen sind im Kontext eines professionellen Produktdatenmanagements (auch bei Simulationsdaten) als selbstverständlich anzusehen.

4 Integrationstiefe

Die Erfahrungen aus vielen IT-Projekten haben gezeigt, dass das Wasserfallmodell mit der detaillierten Definition von Anforderungen bis zur vollständigen Realisierung eines komplexen Vorhabens in der Regel nicht vollständig umgesetzt wird, unter anderem weil sich Anforderungen im Projektverlauf ändern. Daher ergibt die Definition von kleineren, in sich abgeschlossenen Umfängen Sinn. In diesem Sinne soll die Einbindung der Materialflusssimulation in ein PDM in diesem Abschnitt in fünf Teilumfänge gegliedert werden (Abbildung 3), deren Integrationstiefe ansteigt. Die Realisierung der einzelnen, aufeinander aufbauenden, Schritte ergibt jeweils einen Mehrwert. Die passende Integrationstiefe muss firmen- und projektabhängig definiert werden.

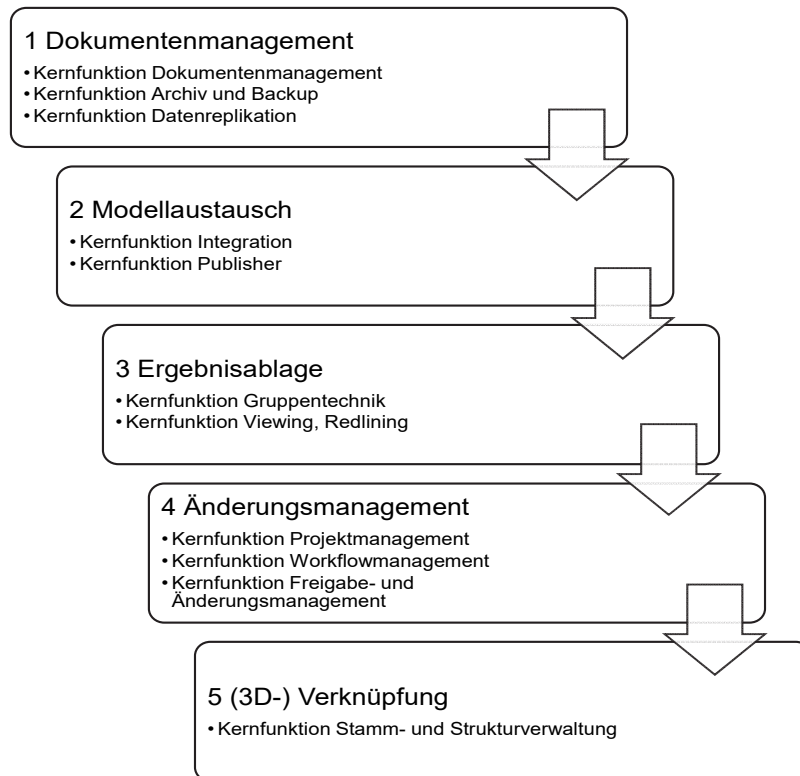


Abbildung 3: Integrationschritte

Der erste und einfachste Schritt, um die Simulationsmodelle und Ergebnisdokumente im PDM-System verfügbar zu machen, ist das manuelle Datenmanagement. Nachdem das Datenmodell des PDM-Systems um die spezifischen Dateitypen des Materialflusssimulators und die ggf. notwendige Erweiterung um einen dedizierten Objekttyp für diese Simulationsausprägung ergänzt wurde, können die Daten manuell hochgeladen werden. Der Vorteil dieses ersten Schrittes ist, dass die Simulationsdaten zentral verfügbar und revisionierbar sind. Standardfunktionen wie Archivierung, Backup und Datenreplikationen finden automatisch Anwendung.

Als Kritik am ersten Schritt könnte vorgebracht werden, dass sich die Simulationsexperten nun mit einem weiteren System zur reinen Datenablage beschäftigen müssen. Als Konsequenz bietet es sich in einem zweiten Schritt an, aus dem Materialflusssimulator unmittelbar ins PDM-System zu speichern (Kernfunktion Integration). Darüber hinaus ist in diesem Zuge auch die automatische Ablage der erzeugten Ergebnisdokumente (Publisher) sinnvoll. Im Sinne des PLM-Gedankens treffen diese Ergebnisdokumente auf größeres Verständnis und Interesse in der Prozesskette als das Simulationsmodell.

Nachdem die Simulationsergebnisse erfasst wurden, kann im dritten Schritt die Verwendung im PDM erfolgen. Auf der einen Seite können für das Wissensmanagement die abgeschlossenen Simulationsprojekte klassifiziert werden (Gruppentechnik), so dass die Suche nach vergleichbaren Simulationsprojekten

schnell und zielgerichtet erfolgen kann. Auf der anderen Seite kann während der Durchführung des Simulationsprojekts aus der Prozesskette heraus mittels Kommentierung des Simulationsergebnisses (Viewing und Redlining) Feedback erfasst und direkt an den Simulationsdaten gespeichert werden.

Die verstärkte Einbindung in die Prozesse ist ein weiterer Integrationsschritt um die betriebliche Wirklichkeit auch in den IT-Systemen abzubilden. Änderungsprozesse, die z. B. Layoutanpassungen, Veränderungen der Verfügbarkeiten, etc. betreffen, werden durch Vorgaben- und Ergebnisrelationen mit der Materialflusssimulation auf Revisionsebene im PDM verknüpft. Auf diesem Wege ist eindeutig nachvollziehbar, welcher Datenstand im Simulationsmodell berücksichtigt wurde. Für die standardisierte Durchführung von Simulationsstudien unter Anwendung von Änderungsprozessen kann auch die Workflow-Funktion des PDM-Systems eingesetzt werden. Auch die Einbettung der Materialflusssimulation in das zentrale Projektmanagement, sofern es die Gesamtorganisation bereits im PDM-Kontext nutzt, ergibt in diesem Schritt Sinn, da Workflow- und Projektmanagementfunktionen eng vernetzt sind.

Der fünfte Schritt beschreibt eine intensive Verknüpfung der 3D-Projektdateien (Layout) mit den Simulationsdaten. Wenn diese Verknüpfung nicht automatisiert im Sinne einer automatischen Modellgenerierung erzeugt wird, ist sie manuell aufwendig und fehleranfällig. Die Vorteile einer durchgängigen Verknüpfung der Stamm- und Strukturdaten zwischen PDM und Simulationsmodell ist, dass z. B. Layoutänderungen übernommen werden können. Darüber hinaus kann die Ableitung der im Projekt verwendeten Betriebsmittel zurückverfolgt werden, so dass z. B. die Verfügbarkeiten der angezogenen Standardbetriebsmittel (Bibliothekselemente) in der Simulation automatisch verwendet werden. Simulationsergebnisse können nicht nur als Ergebnisdokument, sondern mittels Redlining direkt am 3D-Layout annotiert werden. Die Zusammenarbeit zwischen Produktionsplaner und Simulationsexperte erfolgt so ohne die Verwendung von temporären Arbeitsdokumenten und -modellen und steigert so die Effizienz.

5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die Zusammengehörigkeit der Materialflusssimulation und des Produktdatenmanagements auf der Datenebene (Tabelle 1) und der Funktionsebene gezeigt. Darüber hinaus wurde eine schrittweise Einführung (Abbildung 3) mit steigender Integrationstiefe vorgestellt.

Schon durch das aufwandsarme Dokumentenmanagement der Simulationsmodelle und -ergebnisse kann für die Prozesskette ein Mehrwert im Sinne einer besseren Informationsverfügbarkeit geschaffen werden. Die Einbindung in die Änderungsprozesse (vergleichbar zum Produkt) birgt darüber hinaus ebenfalls Potentiale insbesondere für die Darstellung der Abhängigkeiten zu den Simulationseingangsinformationen. Die detaillierte, revisionsgenaue Verknüpfung einzelner Objekte zwischen Produktionsplanung und Materialflusssimulation (fünfte Integrationsstufe) sollte jedoch in Abhängigkeit von den betriebsindividuellen Aufwänden kritisch dem erwarteten Nutzen gegenübergestellt werden.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Einbindung der Materialflusssimulation in das durchgängige Produktlebenszyklusmanagement und die zentrale Datenhaltung in

PDM-Systemen Vorteile für die gesamte Prozesskette im Hinblick auf Informationsverfügbarkeit bietet. Die Simulations- und Projektergebnisse können besser an die Prozesspartner kommuniziert werden, den Simulationsexperten erwarten akzeptable Aufwände bei der Bereitstellung der Simulationsmodelle sowie Vereinfachungen bei der Beschaffung der Simulationseingangsdaten. Eine Einbettung in das Unternehmensdatenmodell ist erstrebenswert.

Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Publikation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen Aktiengesellschaft.

Literaturverzeichnis

- Arnold, V.; Dettmering, H.; Engel, T.; Karcher, A.: *Product Lifecycle Management beherrschen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2011.
- Bauknecht, R., 2019: *Teamcenter Wizard*. Tecnomatix Plant Simulation Worldwide User Conference, 2019.
- Bergmann, S.; Stelzer, S.; Strassburger, S.: Initialization of simulation models using CMSD. In: Jain, S.; Creasey, R.R.; Himmelspach, J.; White, K.P.; Fu, M. (Hrsg.): *2011 Winter Simulation Conference*, 2011, S. 2223–2234.
- Eigner, M.; Stelzer, R.: *Product Lifecycle Management: Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2009.
- Fischer, J.; Willers, R.; Sinnwell, C.: *Materialflusssimulation für die CTPS Entwicklung*. In: Eigner, M.; Koch, W.; Muggeo, C. (Hrsg.): *Modellbasierter Entwicklungsprozess cybertronischer Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2017, S. 131–138.
- Kühn, W.: *Digital Factory - Simulation enhancing the product and production engineering process*. In: Perrone, L.F.; Wieland, F.P.; Liu, J.; Lawson, B.G.; Nicol, D.M.; Fujimoto, R.M. (Hrsg.): *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, 2006, S. 1899–1906.
- Mayer, G.; Pöge, C.; Spieckermann, S.; Wenzel, S. (Hrsg.): *Ablaufsimulation in der Automobilindustrie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2020.
- Morshedzadeh, I.; Oscarsson, J.; Ng, A.; Aslam, T.; Frantzén, M.: *Multi-level management of discrete event simulation models in a product lifecycle management framework*. *Procedia Manufacturing* 25 (2018) 7–8, S. 74–81.
- Schöttner, J.: *Umsatz gut, Rendite mangelhaft - das Kostenproblem der Fertigungsindustrie: Warum IT, Digitalisierung, PLM & Co. allein nichts ändern - Ursachen und Lösungen*. München: Hanser 2017.
- Sly, D.; Moorthy, S.: *Simulation data exchange (SDX) implementation and use*. In: Peters, B.A.; Smith, J.S.; Medeiros, D.J.; Rohrer, M.W. (Hrsg.): *2001 Winter Simulation Conference*, 2001, S. 1473–1477.
- VDI: *Richtlinie 3633 Blatt 1 - Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen*.
- Wick, C.; Lüdemann, M.; Mayer, G.: *Ablaufsimulation von Karosseriebauteilen*. In: Mayer, G.; Pöge, C.; Spieckermann, S.; Wenzel, S. (Hrsg.): *Ablaufsimulation in der Automobilindustrie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2020, S. 21–33.