

# Integration von Feedbackdaten aus der Produktnutzungsphase im Rahmen des PLM-Konzepts

Michael Abramovici<sup>1</sup>, Madjid Fathi<sup>2</sup>, Alexander Holland<sup>2</sup>, Manuel Neubach<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Bochum, Chair of Information Technology in Mechanical Engineering  
(ITM)

Universitätsstraße 150  
44801 Bochum, Germany  
abr@itm.rub.de  
manuel.neubach@itm.rub.de

<sup>2</sup>University of Siegen, Institute of Knowledge Based Systems

Hölderlinstraße 3  
57068 Siegen, Germany  
fathi@informatik.uni-siegen.de  
alex@informatik.uni-siegen.de

**Abstract:** Heutige Product Lifecycle Management (PLM) Systeme fokussieren sich auf die Unterstützung der frühen Phasen des Produktlebenszyklus. Nachgelagerte Phasen wie die Produktnutzungsphase werden derzeit gar nicht oder bestenfalls rudimentär unterstützt. Im vorliegenden Paper wird ein Konzept für die Integration der Produktnutzungsphase in das PLM-Konzept vorgestellt, das eine Erweiterung des konventionellen Produktmodell-PLMs im Hinblick auf die Verwaltung von Produktinstanzdaten, wie sie üblicherweise in der Produktnutzungsphase anfallen, vorsieht. Es besteht hierbei die Möglichkeit, Condition Monitoring (CM) Ergebnisse aus der Produktnutzungsphase in die Entwicklung der Folgegeneration eines Produktes einfließen zu lassen und daraus neue Nutzungsmodelle auf Produktmodell- und -instanzebene abzuleiten.

## 1 Einleitung

Product Lifecycle Management (PLM) Systeme sollten speziell aus Kunden- und Anwendersicht nachgelagerte Phasen des Produktlebenszyklus im Fokus haben. Die Integration der Produktnutzungsphase in das PLM-Konzept stellt eine aus Marktgegebenheiten notwendige Erweiterung des konventionellen Produktmodell-PLMs im Hinblick auf die Verwaltung von Produktinstanzdaten dar.

Zukünftige auf dem hier vorgestellten Integrationskonzept basierende Systeme sollen Hersteller, Kunden und Dienstleister in die Lage versetzen, in einem verteilten Wissensnetz basierend auf Condition Monitoring (CM) Ergebnissen aus der Produktnutzungsphase neue Nutzungsmodelle auf Produktmodell und -instanzebene abzuleiten und daraus skalierbare Geschäftsmodelle zu generieren. Diese Geschäftsmodelle sollen neben innovativen Konzepten zur Wartung, Instandhaltung und Verfügbarkeitseffizienz Feedbackmechanismen etablieren, wobei CM-Ergebnisse der Produktnutzungsphase der letzten Generation eines Produktes zielgerichtet in die Entwicklung der nächsten Generation einfließen und somit im Rahmen eines Feedbackzyklus eine Basis für schnellere Produktverbesserungen liefern. Basierend auf einem Produktinformationsmanagement auf Produktinstanzebene wird ein Beziehungsmanagement zur Identifikation und Vernetzung etabliert, wobei der Anwender durch ein Sichten- und Zugriffskonzept Daten auf mehreren Granularitäts- und Komprimierungsstufen abrufen und weiterverarbeiten kann.

## 2 Product Lifecycle Management

In den letzten Jahren ist Product Lifecycle Management (PLM) zu einem der technologischen sowie organisatorischen Schlüsselansätze geworden, der das effektive Management von Produktentwicklungs- und Produkterstellungsprozessen in der Konstruktionstechnik und im produzierenden Gewerbe ermöglicht. PLM ist ein integrierter Ansatz, der ein konsistentes Set von Methoden, Modellen und IT-Werkzeugen zum Management von Produktinformationen, Konstruktionsprozessen und Anwendungen entlang den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus umfasst [SBM05]. PLM zielt nicht nur auf ein einzelnes Unternehmen ab, sondern auf eine global verteilte, interdisziplinäre Kollaboration zwischen Herstellern, Zulieferern, Partnerunternehmen und Kunden [SI05, Mi03].

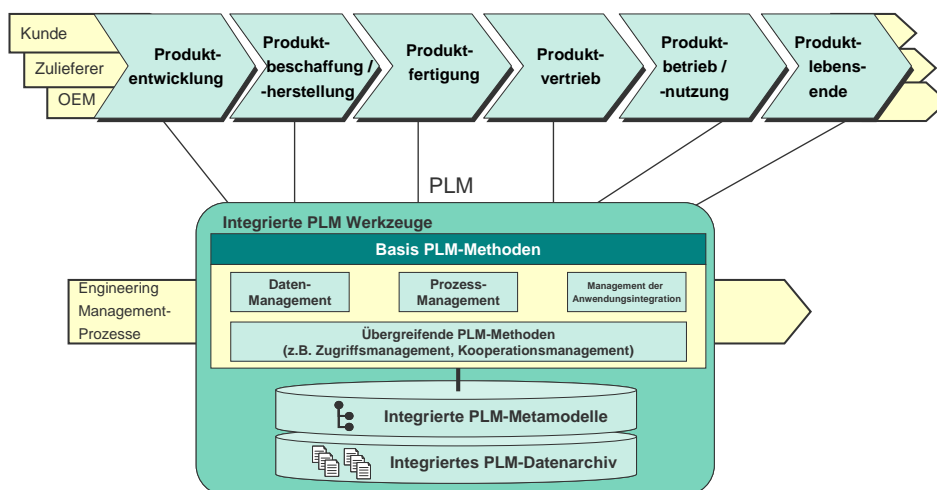


Abbildung 1: Grundlegende Bestandteile des Product Lifecycle Managements

PLM entwickelte sich aus dem Produktdaten Management (PDM) Ansatz der 90er Jahre [Sc99]. Während PDM einen eingeschränkten Fokus auf das Management der Produktdaten in der Produktentwicklungs-Phase hat, ist PLM auf die Einbeziehung sämtlicher Daten, Prozesse und Applikationen der gesamten Lebensspanne eines Produkts fokussiert (vergleiche Abbildung 1) [AS06]. Der Kern des PLM-Ansatzes liegt in einem integrierten Daten- und Prozess-Meta-Modell, das von einem Datenbank Management System verwaltet wird, und einem zentralen Datenarchiv zum Speichern aller proprietären Modelle und Dokumente (z. B. CAD-Modelle und Textdokumente). Verfügbare PLM Methoden und Werkzeuge können in folgende drei Gruppen eingeteilt werden [Ab07]:

- ❑ Informationsmanagement - Methoden für das Identifizieren, Strukturieren, Klassifizieren, Wiederauffinden, Teilen, Verbreiten, Visualisieren und Archivieren von produkt-, prozess- und projektbezogenen Daten.
- ❑ Prozessmanagement - Methoden für das Strukturieren, Planen, Abwickeln und Kontrollieren von formalen und semi-formalen Prozessen wie Konstruktionsfreigabe, Revisions-, Änderungs- und Notifizierungsprozessen. Die enge Verbindung zwischen den verschiedenen Prozessstufen und den resultierenden Produktmodellen wird durch so genannte Konfigurationsmanagement Methoden und Werkzeugen abgedeckt.
- ❑ Anwendungsintegration - Methoden zur Definition und zum Management von Schnittstellen zwischen PLM- und verschiedenen Quellsystemen wie CAD, CAM, CAE und integrierter Unternehmenssoftware wie ERP-, SCM- oder CRM-Systemen.

Zusätzlich zu diesen Basis PLM-Methoden und -Werkzeugen umfasst der PLM-Ansatz ein Set von ergänzenden allgemeinen PLM-Methoden und -Werkzeugen, wie z. B. Konstruktionskollaborationsunterstützung, Benutzerzugriffsmanagement sowie Datenanalyse, -report und -visualisierung. Der beschriebene PLM-Ansatz ist als Framework konzipiert, welches als Referenz für das Erstellen unternehmensspezifischer PLM-Konzepte und Implementierungen benutzt werden kann. Der Anwendungs-Fokus aller verfügbaren PLM-Lösungen liegt momentan auf den Produktentwicklungs-Aktivitäten [AS04]. Gewöhnlich verfügen aktuelle PLM-Lösungen über generische und vorkonfigurierte Templates für Datenmodelle, Prozesse und Funktionen für spezifische Domänen von Anwendungen. Die Stärken der verfügbaren PLM-Lösungen liegen im Management von CAD-Modellen und technischen Dokumenten, der Unterstützung von Konstruktionsfreigaben und Änderungsprozessen sowie der engen Integration mit CAD- und ERP-Systemen. Die Hauptschwächen existierender PLM-Lösungen liegen in der mangelhaften Unterstützung von Produktlebenszyklus-Aktivitäten außerhalb der Produktentwicklungsphase, sowie in der Integration von mechanischen, elektronischen und Softwarekomponenten. Ein weiteres Problem besteht in ihrer hohen Komplexität

und dem notwendigen, sehr hohen Anpassungsaufwand. Trotz intensiver Standardisierungsaktivitäten, gibt es noch keine allgemein anerkannten Industriestandards für PLM-Metadatenmodelle und für PLM-Prozesse. Obwohl der PLM Ansatz nicht neu ist und viele PLM Lösungen bereits auf dem Markt verfügbar sind, haben nur 8 % der Unternehmen eine klare Vision von PLM und implementieren breitgefächerte PDM/PLM Systeme. Ca. 50 % der Unternehmen, die PLM implementieren, befinden sich noch im Anfangsstadium [AS04]. Die existierenden, beschriebenen PLM-Metadatenmodelle, -Methoden und -Werkzeuge bilden eine Kernplattform für weitergehende PLM Verbesserungen, Erweiterungen und Neuentwicklungen. Da PLM ein sehr komplexes, vielschichtiges und interdisziplinäres Thema ist, ist eine Klassifizierung dieses multi-dimensionalen Entwicklungsraumes notwendig. Folgende Entwicklungsrichtungen sind auszumachen:

- genereller Instanzierungsansatz für unterschiedliche Industriezweige oder Anwendungsdomänen
- betrachtete PLM Anwender/Akteure oder Partner
- abgedeckte Phasen des Produktlebenszyklus
- unterstützte Prozessstypen
- abgedeckte Produkttypen

Der vorliegende Beitrag ist der Entwicklungsrichtung „abgedeckte Phasen des Produktlebenszyklus“ zuzuordnen. Existierende PLM-Lösungen beschränken sich auf die Unterstützung der Produktentwicklungsphase, dagegen sollen die hier skizzierten PLM-Modelle, -Methoden und -Werkzeuge das Management nachgelagerter Produktlebenszyklusphasen unterstützen. Insbesondere wird ein Informationsrückfluss von der Produktnutzungsphase in die Produktentwicklungsphase propagiert. Dieser bidirektionale Informationsfluss zwischen den beiden Phasen bildet die Basis für schnellere Produktverbesserungen und effizientere Service-Dienstleistungen (z. B. zuverlässigere Wartungsvorhersagen, effizientere Fehleranalysen und dadurch höhere Verfügbarkeit) durch die zielgerichtete Integration bisher ungenutzter Daten aus der Produktnutzungsphase. Die Rückführung dieser so genannten Felddaten der Produktnutzungsphase in die Produktentwicklung ist aus mehreren Gründen sinnvoll. Zum einen kann das zugrunde liegende Datenmaterial als weitestgehend realistisch betrachtet werden. Zum anderen kommen die aus dem Feld gewonnenen Informationen direkt aus den für die jeweiligen Produkte relevanten Märkten und spiegeln daher die „Stimme des Kunden“ wider. Damit stellt die Nutzung von Felddaten in der Produktentwicklung eine weitere Quelle für Kundenanforderungen dar, die eine höhere Aussagequalität besitzt als beispielsweise Marktforschungen oder kosten- und zeitintensive Kundenbefragungen, da sie auf konkreten Erfahrungen in der Anwendung bereits bestehender Produkte basiert [Ed01].

### 3 Condition Monitoring

Die heute zum Einsatz kommenden Produktionsmaschinen sind sehr kostenintensiv und verursachen hohe Fixkosten, wobei der effiziente Einsatz durch die Parameter *geringe Operationskosten* und *geringe Instandhaltungskosten* bestimmt wird. Durch eine regelmäßige Erfassung der Maschinenparameter im Betrieb als Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) ist es möglich, aussagefähige Maschinengrößen aus Sicherheits-, Effizienz- und Instandhaltungsgründen durch Sensoren zu messen und Zusammenhänge abzuleiten. Sensoren müssen hierbei in der Lage sein, neben scharfen Stellgrößen auch unscharfe, fehlerhafte, fehlende, vage, ungenaue oder unscharfe Daten [Wa06] zu liefern und nachgelagert zu repräsentieren. Monitoring-Verfahren bilden keine Automatismen für Ursache-Wirkungszusammenhänge der Parameter, sie stellen auch keine probabilistischen Modelle dar, die unvorhersagbare oder plötzlich auftretende Ereignisse [Ho06] an der zu betrachteten Maschine vorhersagen.

Als primäre Anwendungsgebiete kommen zur Prävention vor ungeplanten Stillständen und zur Diagnose von Schäden u. a. Pumpen [Be04], Kupplungen oder Getriebe in Betracht. Bei Kupplungen haben bspw. Verschleiß, Schmiermittelmangel, Verschmutzung, Korrosion oder Bedienfehler Auswirkungen wie Temperaturanstiege oder eine erhöhte Reibung. Weitere Anwendungsfelder für den Einsatz von Condition Monitoring stellen die Wafer-Produktion in Halbleiterfabriken, Gießverfahren, Energiemaschinen, Werkzeugmaschinen, Motoren oder Schienenfahrzeuge [Gu05] dar. Die Microsystemtechnik ermöglicht in der Produktionstechnik durch informationstechnische Vernetzung, Informationen in Echtzeit zu erfassen [LCZ07] und für Anwendungsprozesse bereitzustellen [LY05].

Neue Dienste und Serviceleistungen wie Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit, Ferndiagnose, Ersatzteilversorgung, oder zustandsorientierte Instandhaltung ermöglichen neue Geschäftsfelder [SGG07]. Bei der Umsetzung von Condition Monitoring Maßnahmen sind mehrere Schritte notwendig. Es gilt, aussagekräftige Zustandsgrößen der Produktionsmaschine zu ermitteln, Redundanzen zu bestimmen, singuläre Zustände zu messen und zu dokumentieren, Istzustände mit Sollwerten und Grenzwerten abzugleichen und Diagnosemethoden und -verfahren einzusetzen, die Fehlerquellen frühzeitig lokalisieren und Ursachen ermitteln können, um Instandhaltungsprozesse optimal steuern und durchführen [Ma06] zu können.

Als Resultat optimierter Instandhaltungsprozesse basierend auf Maschinenparameter-Analyseverfahren kann eine Reduzierung von Stillstandzeiten und Reduzierung von Folgeauswirkungen auf weitere Zwischen- oder Endprodukte in nachgelagerten Produktionsstufen mit entsprechenden Folgekosten bzgl. der Zuverlässigkeit eines Produktes ermöglicht werden. Bei den Zuverlässigkeitsanalysen lassen sich quantitative Methoden basierend auf der mathematischen Statistik und der Wahrscheinlichkeitstheorie und qualitative Methoden basierend auf einer systematischen, erfahrungsbasierten Suche nach Schwachstellen und ihren Folgewirkungen einsetzen [AFH07]. Beim Condition Monitoring kommen als bekannte Verfahren die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA), die Ereignisbaumanalyse (ETA), die Fehlerbaumanalyse (FTA) und Markov Prozesse sowie als neue Verfahren Computational Intelligence Anwendungen als Gebiet der Künstlichen Intelligenz oder graphbasierte Verfahren zum Einsatz.

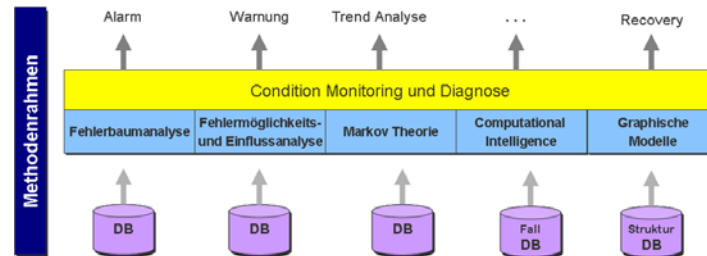


Abbildung 2: Condition Monitoring Verfahren zur Zuverlässigkeitsanalyse

Bei FMEA wird der Ausfall jeder einzelnen Komponente betrachtet und dessen Wirkung auf das Gesamtsystem (Bottom-Up) untersucht. Mit FMEA können Schwachstellen in der Planung und Entwicklung systematisch identifiziert werden [TL06], wobei verkettete Fehlerquellen wie Ausfallkombinationen verborgen bleiben. ETA stellt ein induktives Verfahren dar, wobei ausgehend von einem auslösenden Ereignis wie dem Ausfall einer Komponente alle möglichen Konsequenzen untersucht werden [AD00].

ETA erlaubt die Identifikation von Risikokombinationen, indem verschiedene Pfade durchlaufen werden können, um eine Störungssequenz zu identifizieren. Bei FTA geht man von einer Konsequenz aus und führt diese auf mögliche auslösende Ereignisse als Risiken zurück. Es lassen sich relevante Risiken betrachten, wobei die Identifikation mehrerer Ursachen für ein und dasselbe störende Ereignis ermöglicht wird [ST07].

Mit Hilfe der Markov Theorie lassen sich stochastische Modelle durch Zufallsprozesse beschreiben. Als Werkzeug zur Modellierung und Analyse dynamischer Systeme kommen Markovketten zum Einsatz, mit denen Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten zukünftiger Ereignisse angegeben werden können. Verborgene Zustände [LHQ06] können durch beobachtbare Ausgangssymbole basierend auf einer zustandsabhängigen Wahrscheinlichkeitsverteilung ermittelt werden. Computational Intelligence (CI) stellt als Gebiet der künstlichen Intelligenz Methoden und Techniken zur Analyse, Konstruktion und Entwicklung intelligenter Systeme bereit [RN03], deren Ansatz die biologisch motivierte menschliche Informationsverarbeitung darstellt. CI repräsentiert Methoden und Techniken der Fuzzy Logik, Neuronaler Netze und Evolutionärer Algorithmen, die u. a. zur Implementierung intelligenter Produktions- und Fertigungssysteme eingesetzt werden. In CM Anwendungen können bspw. regelbasierte Expertensysteme eingesetzt werden, wobei auch unpräzises und vage beschreibbares Wissen eines menschlichen Experten repräsentiert und weiterverarbeitet werden kann. Neuronale Netze eignen sich im CM Kontext durch ihre Fähigkeit, komplexe nicht-lineare Funktionen zu erlernen, schwer extrahierbare dynamische Prozesse zu identifizieren und somit das Verhalten auch komplexer Produktionssysteme zu modellieren [Mo05]. Graphbasierte Methoden wie probabilistische Modelle [BK02] spielen eine wichtige Rolle zur Repräsentation und Verarbeitung bei Anwendungen unter Unsicherheit [KN04] zur Charakterisierung bedingter (Un-)abhängigkeiten [OC07]. Es können Maschinenparameter-Daten modelliert [CdC07], graphische Strukturen erlernt [Ne04] und probabilistische Inferenzverfahren angewendet werden. Besonders eignen sich Bayes Netze und Influenz Diagramme [Je01], die auch in der medizinischen Diagnose zum Einsatz kommen (für Details vergleiche [AFH07]).

## 4 Integrationskonzept zur Erfassung und Verarbeitung von Feedbackdaten auf dem Produktinstanz-Level

In der traditionellen Interpretation des PLM-Begriffs, wird hierunter das Management von Design- und Herstellungsdaten verschiedener Produktmodelle, ihrer Versionen und Varianten verstanden. Vor dem Hintergrund dieser Produktmodell-PLM-Interpretation, besteht der Produktlebenszyklus aus den Phasen Design/Entwicklung, Herstellung und Vertrieb/Marketing. In diesem Fall ist PLM durch das Management von Produktinformationen, die sich auf *Produktmodelle* beziehen, gekennzeichnet.

Der vorliegende Beitrag zielt jedoch auf die Integration der Produktnutzungsphase ab. In dieser Phase beziehen sich die anfallenden Informationen nicht mehr auf Produktmodelle, sondern auf konkrete *Instanzen* der zuvor erstellten Produktmodelle. Das konventionelle PLM-Konzept greift hier nicht mehr, daher muss das PLM-Konzept im Hinblick auf das Management von Produktinformationen auf dem Instanz-Level erweitert werden.

Im traditionellen Produktmodell-PLM werden Produktinformationen vom Hersteller verwaltet, da dieser den Großteil der Informationen generiert. Beim Produktinformationsmanagement auf dem Instanz-Level wird ein großer Teil der Informationen während der Produktnutzungsphase, außerhalb der Organisationen, die das Produkt entwickelt und hergestellt haben, generiert. Daher wird die Erfassung und Nutzung dieser Produktinformationen zu einer Herausforderung im Produktinstanz-PLM.

Folgende Problemfelder im Bereich Produktinstanz-PLM sind auszumachen:

- ❑ Da typischerweise nicht sämtliche Produktinformationen innerhalb eines Produktes selbst gespeichert werden können, sind datenhaltende Backendsysteme unvermeidbar. Um die Beziehung zwischen einer konkreten Produktinstanz und deren Produktdaten im Backendsystem herzustellen, ist es nötig, jede Produktinstanz global eindeutig identifizieren zu können [FHB06].
- ❑ Produktinstanzen erzeugen in der Produktnutzungsphase Informationen, die letztendlich an ein Backendsystem weitergegeben werden müssen. Da sich je nach Produkt der Ort des selbigen auch häufig wechseln kann, werden Konzepte für die Synchronisierung von Produktinformationen auf dem Instanz-Level benötigt [FR06].
- ❑ Integrationskonzept für Produktmodell- und Produktinstanz-PLM. Um die Informationen, welche in der Produktnutzungsphase erfasst werden, für die Entwicklung neuer Produktgenerationen nutzbar zu machen, ist es nötig, mit Hilfe von Aggregations- und Fusionsmethoden die multiplen Produktinstanz-Informationen aus der Produktnutzung, die auf Basis eines erweiterten Metadatenmodells im PLM-System zu verwalten sind, adäquat zu vereinigen.

Aus der oben beschriebenen Integration der Produktnutzungsphase in das PLM-Konzept ergibt sich zunächst die zwingende Notwendigkeit der Entwicklung eines erweiterten PLM-Metadatenmodells, das die Grundlage für die Speicherung, Verwaltung und Verknüpfung aller produkt- und prozessbezogenen Daten im Produktlebenszyklus bildet. Das vorgeschlagene Modell wurde auf Basis der objektorientierten Notation der UML (Unified Modelling Language) entwickelt. Die klassischen Objekte der Produktmeta-

daten für das Produktinformationsmanagement auf dem Modell-Level werden durch die Klassen *Product\_Type*, *Virtual\_Part*, *Document* (inkl. assoziiertem *File*) sowie *Virtual\_Structure* beschrieben. Für die Verwaltung von Feedbackinformationen der Produktnutzungsphase ist es notwendig, die zusätzlichen Klassen *Product\_Item*, *Real\_Structure*, *History\_Entry*, *Diagnosis\_Model* und *Condition\_Monitoring\_Data* einzuführen (vergleiche Abbildung 3; Hier sind die konventionellen Klassen zur Verwaltung von Produktmodell-Wissen auf der linken Seite angeordnet, während neu hinzugekommene Klassen zur Verwaltung von Produktinstanz-Wissen auf der rechten Seite zu finden sind.).

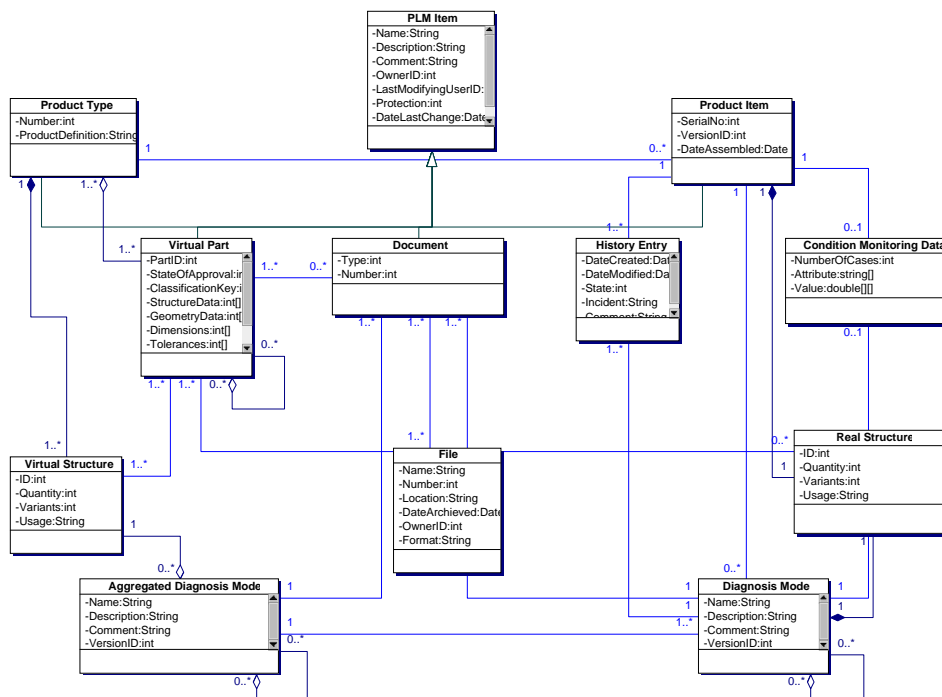


Abbildung 3: Grundlegendes UML-Klassendiagramm eines erweiterten Metadatenmodells für die integrierte Verwaltung von Produktmodell- und -instanzdaten in PLM-Systemen

Sowohl *Product\_Type* als *Product\_Item* erben von der Oberklasse *PLM\_Item*, die grundlegende Attribute eines jeden Elementes im PLM-System bündelt und den Subklassen zur Verfügung stellt. Die für das Produktinformationsmanagement auf dem Instanzlevel zentrale Klasse *Product\_Item* repräsentiert die realen Zustände eines physikalisch vorhandenen Produktes. Eine Zuordnung zu dem physikalisch vorhandenen Produkt erfolgt über die Seriennummer. Eine Instanz der Klasse *Product\_Type* kann mit mehreren Instanzen der Klasse *Product\_Item* assoziiert werden, während eine konkrete Produktinstanz immer einem bestimmten Produktmodell zugeordnet werden muss. *History\_Entries* bieten die Möglichkeit, spezielle Wartungsereignisse an die entsprechende Produktinstanz zu binden, während die Klasse *Condition\_Monitoring\_Data* konkrete Sensordaten der assoziierten Produktinstanz



aufnimmt. Weiterhin können zu Produktinstanzen Diagnose-Modelle assoziiert werden, die z. B. für die effiziente Fehlersuche oder für die Prognose von anstehenden Wartungsarbeiten genutzt werden können. Diese Modelle können entweder manuell konstruiert oder automatisch auf der Basis von geeigneten Lernalgorithmen anhand der in der Produktnutzungsphase gewonnenen CM-Daten generiert werden [Ne04, LC06, CAB06]. Sie sind rekursiv aufgebaut, so dass komplexe Modelle aus einzelnen hierarchisch angeordneten Partialmodellen (etwa bestimmten generischen Baugruppen (wie z. B. Lager eines bestimmten Typs)) zusammengesetzt werden können. Mit Hilfe von Aggregationsmethoden [CSK04, RLN06] ist es möglich, unterschiedliche Diagnose-Modelle die zwar verschiedenen Produktinstanzen, jedoch dem gleichen Produktmodell (bzw. der gleichen Baugruppe), zugeordnet sind, zur Steigerung der Modellgenauigkeit zu vereinen. Diese aggregierten Modelle (vergleiche Klasse *Aggregated\_Diagnosis\_Model*) sind besonders für die Produktentwicklung interessant und können als Basis zur Ableitung zukünftiger Produktverbesserungen eingesetzt werden. Der Fokus liegt hierbei auf komplexen, mit Sensoren ausgestatteten mechatronischen Produkten bzw. Produktionsmaschinen.

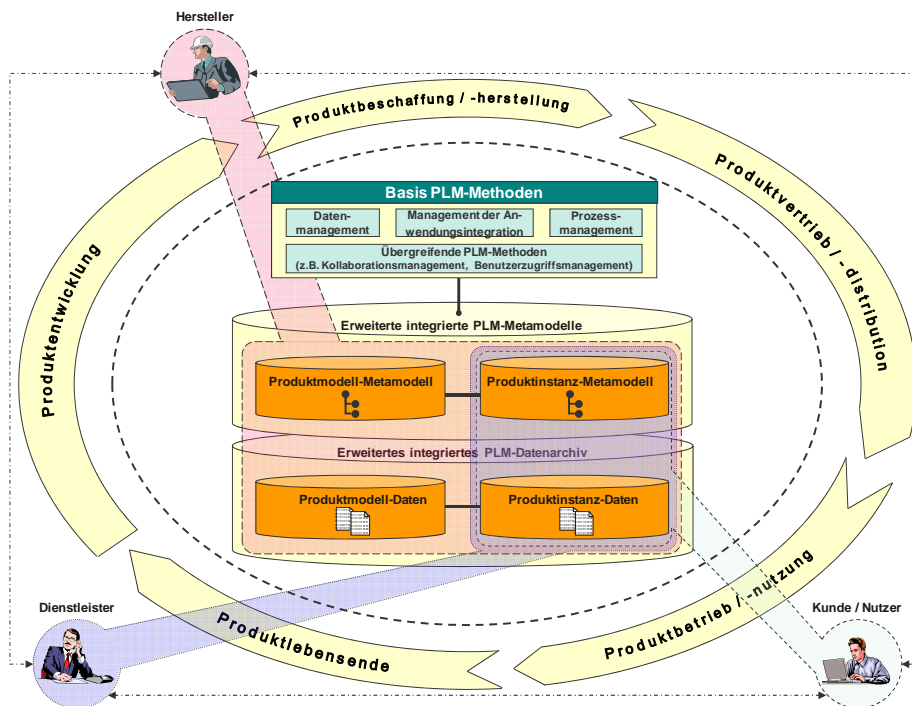


Abbildung 4: Integrationskonzept als Grundlage für neue Produkt-Serviceleistungen

Aus dem vorgestellten Integrationskonzept lassen sich neue Produktserviceleistungen generieren, die den Wissensfluss zwischen Kunden, Herstellern und Dienstleistern optimieren und somit eine Basis für ein ganzheitliches Produktlebenszyklus-Konzept darstellen. Während in den frühen Phasen des Produktlebenszyklus (Produktentwicklung, -herstellung und -distribution) PLM durch das Management von

Produktinformationen, die sich auf Produktmodelle beziehen, gekennzeichnet ist, fallen in der Produktnutzungsphase Informationen an, die sich nicht auf Produktmodelle, sondern konkreten Instanzen der in den früheren Phasen entwickelten Produktmodelle beziehen. Das PLM-Konzept wurde in der Art erweitert, dass ein Metadatenmodell als Basis für die integrierte Verwaltung von Produktmodell- und -instanzdaten entwickelt wurde. Die drei Hauptakteure Hersteller, Nutzer und Dienstleister greifen auf den Datenbestand mit verschiedenen Sichten und Rechten zu (siehe Abbildung 4). Für den Hersteller, der bisher hauptsächlich Produktmodell-Wissen generiert und verwaltet hat, eröffnen sich durch das neu erschlossene Produktinstanz-Wissen neue Geschäftsfelder im Service bzw. in der Kollaboration mit externen Dienstleistern. Weiterhin kann er das aggregierte Produktinstanz-Wissen im Rahmen eines Feedbackzyklus (vergleiche hierzu Abbildung 5) in die Entwicklung der Folgegeneration des betreffenden Produktes einfließen lassen.

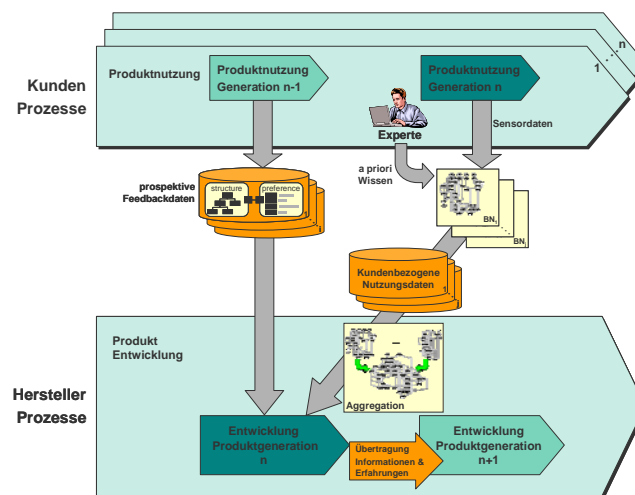


Abbildung 5: Informationsrückfluss von der Produktnutzungsphase in die Produktentwicklungsphase der Folgegeneration

Bei der Integration verteilter Datenmodelle gilt es, basierend auf unterschiedlichen Sichten und Zugriffsrechten Daten auf mehreren Granularitätsstufen verdichtet durch Aggregations- und Fusionsmethoden [CSK04, RLN06] repräsentieren und verarbeiten zu können. Die Aggregation der in der Produktnutzungsphase bei unterschiedlichen Kunden ermittelten CM-Daten ermöglicht in diesem Zusammenhang die Ableitung vollständigerer und genauerer Wissensrepräsentationsmodelle, die neben der Nutzung in der Produktentwicklung der Folgegeneration gleichsam in der Serviceabteilung des Herstellers oder von externen Dienstleistern eingesetzt werden können.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Der erste Teil des Beitrages gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik und der Forschung im Bereich PLM und CM. Heutige PLM-Systeme fokussieren die Unterstützung der frühen Phasen des Produktlebenszyklus. Nachgelagerte Phasen wer-

den derzeit bestenfalls rudimentär unterstützt. Der vorliegende Beitrag betont die Möglichkeit, CM-Ergebnisse aus der Produktnutzungsphase in die Entwicklung der Folgegeneration eines Produktes einfließen zu lassen und propagiert eine Erweiterung des konventionellen Produktmodell-PLMs im Hinblick auf die Verwaltung von Produktinstanzdaten. In diesem Zusammenhang wurde ein erweitertes Metadatenmodell für die integrierte Verwaltung von Produktmodell- und -instanzdaten in PLM-Systemen vorgestellt und daraus resultierende Nutzenpotentiale dargestellt. Die starke Integration der Produktnutzungsphase kann als wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer neuen Generation von PLM-Systemen, die Daten aus allen Produktlebenszyklusphasen in einem ganzheitlichen Ansatz integrieren, angesehen werden und eröffnet neue Geschäftsmodelle für Hersteller und Dienstleister. Zukünftige Herausforderungen umfassen die global eindeutige Identifizierbarkeit von Produktinstanzen [FHB06], die Identifizierung und Nutzung geeigneter Wissensrepräsentationsmodelle für die Abbildung von CM-Wissen, sowie die Entwicklung geeigneter Aggregations- und Fusionsmethoden, um in der Produktnutzung gewonnene CM-Daten und -Ergebnisse im Rahmen eines Feedbackzyklus für die Produktentwicklung nutzbar zu machen.

## Literaturverzeichnis

- [Ab07] Abramovici, M.: Future Trends in Product Lifecycle Management (PLM). In: Proceedings of the 17th CIRP Design Conference, Springer, Berlin, Germany, 2007.
- [AD00] Andrews, J.D.; Dunnett, S.J.: Event-Tree Analysis Using Binary Decision Diagrams. In: Journal IEEE Transactions on Reliability, Vol. 49, No. 2, 2000, S. 230-238.
- [AFH07] Abramovici, M.; Fathi, M.; Holland, A.; Neubach, M.: Advanced Condition Monitoring Services in Product Lifecycle Management. In: W. Chang and J. Joshi, editors, Proc. of the 2007 IEEE Int. Conf. on Information Reuse and Integration, Las Vegas, USA, 08/07.
- [AS04] Abramovici, M.; Schulte, S.; et al.: Study "Benefits of PLM – The Potential Benefits of Product Lifecycle Management in the Automotive Industry. ITM, Ruhr University Bochum, IBM BCS, Bochum, Frankfurt, 2004.
- [AS06] Abramovici, M.; Schulte, S.: PLM – State of the Art and Trends. In: Schützer, K. (Hrsg.): Inovacoes Tecnologicas no Desenvolvimento do Produto, 11. Seminario Internacional de Alta Tecnologia, 05.10.2006, Piracicaba, Brazil, 2006.
- [Be04] Beebe, R.S.: Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring. Elsevier Advanced Technology, Kidlington, Oxford, United Kingdom, 2004.
- [BK02] Borgelt, C.; Kruse, R.: Graphical Models. Methods for Data Analysis and Mining. John Wiley & Sons, West Sussex, United Kingdom, 2002.
- [CAB06] Cruz-Ramirez, N.; Acosta-Mesa, H.-G.; Barrientos-Martinez, R.-E.; Nava-Fernandez, L.-A.: How Good Are the Bayesian Information Creation and Minimum Description Length Principle for Model Selection? A Bayesian Network Analysis. In: Lecture Notes in Artificial Intelligence 4293, MICAI 2006, Springer-Verlag Berlin, S. 494-504.
- [CdC07] Colosimo, B.M.; del Castillo, E.: Bayesian Process Monitoring, Control and Optimization. Chapman & Hall, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 2007.
- [CSK04] Chen, R.; Sivakumar, K.; Kargupta, H.: Collective Mining of Bayesian Networks from Distributed Heterogeneous Data. In: Knowledge and Information Systems, 2004 (6), Springer-Verlag London, S. 164-187.
- [Ed01] Edler, A.: Nutzung von Felddaten in der qualitätsgetriebenen Produktentwicklung und im Service. Dissertation Technische Universität Berlin, 2001.
- [FHB06] Främling K, Harrison M, Brusey J. Globally Unique Product Identifiers - Requirements and Solutions to Product Lifecycle Management. In: Dolgui, A, Morel, G., Pereira, C.E. (eds.), Proceedings of 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in

- Manufacturing (INCOM), 17-19 May 2006, Saint-Etienne, France. S. 855-860.
- [FR06] Främling K, Rabe L. Enriching product information during the product lifecycle. In: Dolgui, A, Morel, G., Pereira, C.E. (eds.), Proc. of 12th IFAC Symp. on Information Control Problems in Manufacturing, 17-19 May 2006, Saint-Etienne, France. S. 861-866.
- [Gu05] Guo, Y.: Algorithmen zur On-Bord Diagnose von Fahrwerksschäden an Schienenfahrzeugen. Dissertation, Technische Universität Berlin, 2005.
- [Ho06] Holmberg, K.: Prognostics for Industrial Machinery Availability. Project Dynamic Decisions in Maintenance. In: EC Sixth Framework Programme, VTT Technical Research Centre of Finland, September 2006.
- [Je01] Jensen, F.V.: Bayesian Networks and Decision Graphs. Statistics for Engineering and Information Science, Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg, 2001.
- [KN04] Korb, K.B.; Nicholson, A.E.: Bayesian Artificial Intelligence. Chapman & Hall, Series in Computer Science and Data Analysis, London, United Kingdom, 2004.
- [LC06] Lim, S.; Cho, S.-B.: Online Learning of Bayesian Network Parameters with Incomplete Data. In: Lecture Notes in Artificial Intelligence 4114, ICIC 2006, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 309-314.
- [LCZ07] Li, H.; Chen, X.; Zeng, H.; Li, X.: Embedded Tool Condition Monitoring for Intelligent Machining. In: Journal of Computer Appl. in Technology, Vol. 28, No. 1, S. 74-81.
- [LHQ06] Liao, T.; Hua, G.; Qu, J.; Blau, P.J.: Grinding Wheel Condition Monitoring with Hidden Markov Model-based Clustering Methods. In: Machining Science and Technology, Vol. 10, No. 4, 2006, S. 511-538.
- [LY05] Labib, A.W.; Yuniarto, M.N.: Intelligent Real Time Control of Disturbances in Manufacturing Systems. In: Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 16, No. 8, S. 864-889.
- [Ma06] Maillart, L.: Maintenance Policies for Systems with Condition Monitoring and Obvious Failures. In: IIE Transactions, Vol. 38, No. 6, 2006, S. 463-475.
- [Mi03] Miller, E.: State of the PLM Industry. In: Proceedings of the CIMdata PLM-Conference 2003, Dearborn, USA, 2003.
- [Mo05] Moravej, Z.: Evolving Neural Nets for Protection and Condition Monitoring of Power Transformer. In: Elect. Power Comp. and Systems, Vol. 33, No. 11, 2005, S. 1229-1236.
- [Ne04] Neapolitan, R.E.: Learning Bayesian Networks. Prentice Hall, New Jersey, USA, 2004.
- [OC07] Oaksford, M.; Chater, N.: Bayesian Rationality: The Probabilistic Approach to Human Reasoning. Oxford University Press, 2007.
- [RLN06] Raheja, D.; Llinas, J.; Nagi, R.; Romanowski, C.: Data Fusion / Data Mining-based Architecture For Condition-based Maintenance. In: Int. Journal of Production Research, Vol. 44, No. 15, 2006, S. 2869-2887.
- [RN03] Russel, S.; Norvig, P.: Artificial Intelligence. A Modern Approach. Prentice Hall, New Jersey, 2nd Edition, 2003.
- [SBM05] Scheer, A.-M.; Boczanski, M.; Muth, M.; Schmitz, W.-G.; Segelbacher, U.: Prozessorientiertes Product Lifecycle Management. Springer, 2005.
- [Sc99] Schöttner, J.: Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie - Prinzip, Konzepte, Strategien. Fackler, 1999.
- [SGG07] Shi, J.Z.; Gu, F.; Goulding, P.; Ball, A.: Integration of Multiple Platforms for Real-time Remote Model-based Condition Monitoring. In: Journal Computers in Industry, Vol. 58, No. 6, 2007, S. 531-538.
- [SI05] Saaksvuori, A.; Immonen, A.: Product Lifecycle Management. Springer, 2005.
- [ST07] Shalev, D.M.; Tiran, J.: Condition-based Fault Tree Analysis (CBFTA): A New Method for Improved Fault Tree analysis (FTA), Reliability and Safety Calculations. In: Journal Reliability Engineering & System Safety, Vol. 52, No. 9, 2007, S. 1231-1241.
- [TL06] Tay, K.M.; Lim, C.P.: Fuzzy FMEA with a Guided Rules Reduction System for Prioritization of Failures. In: Int. Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 23, No. 8, 2006, S. 1047-1066.