

Ontologiebasierte Generierung, Visualisierung und Analyse von Informationsketten in der Produktent- wicklung

Christoph Westphal und Sandro Wartzack
*Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg*

Motivation

Ausgangsbasis eines zielgerichteten Produktentwicklungsprozesses ist nach SEIFFERT ein klares Eigenschaftsprofil des zu entwickelnden Produktes, welches die Bedürfnisse und Wünsche des Kunden als Produkthanforderungen interpretiert [1]. Anhand dieses Eigenschaftsprofils kann somit bestimmt werden, welche Eigenschaften entwickelt werden sollen und zu welchen Zeitpunkten diese analysiert und bewertet werden müssen. Dadurch kann der Entwicklungsfortschritt und somit die Erfüllung der geforderten Eigenschaften im Sinne eines Produktreifegrades gemessen und nachverfolgt werden. Diese Aufgabe gewinnt beispielsweise in der Automobilindustrie durch die zunehmende Derivatisierung in den letzten Jahren an Bedeutung, da immer mehr Fahrzeuge mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen entwickelt werden und daher im Sinne des Total Quality Managements (TQM) auch regelmäßig deren Entwicklungsreifegrad bewertet werden muss. Da jedoch neben der Sicherstellung der Qualität eines Produktes auch die Reduzierung der Entwicklungszeit sowie der Entwicklungskosten für den unternehmerischen Erfolg wesentliche Faktoren sind, wurden in den letzten Jahrzehnten durch neue Entwicklungsmethodiken, wie etwa Simultaneous Engineering (SE),

Concurrent Engineering (CE) oder auch der Plattform- oder Baukastenstrategie, immer mehr Entwicklungsschritte parallelisiert oder projektübergreifend angesiedelt. Dies führt neben der beträchtlichen Kosten- und Zeitersparnis aber auch dazu, dass es immer schwieriger geworden ist, zu definieren, wann welche Produktinformationen im Unternehmen zur Verfügung stehen bzw. stehen müssen, um eben dieses von SEIFFERT geforderte Eigenschaftsprofil zu bewerten. So können Eigenschaften wie beispielsweise die Langzeitqualität eines Fahrwerkes, das innerhalb einer Plattform entwickelt wird und daher für viele Derivate schon zu Beginn der Produktentwicklung zur Verfügung steht, bereits sehr früh im Entwicklungsprozess analysiert und bewertet werden. Aufgrund der parallelisierten Entwicklung wie etwa von Fahrzeug und Reifen können dagegen Eigenschaften, wie etwa Anfahrverhalten eines Fahrzeuges das beispielsweise extrem von der Bereifung abhängig ist erst sehr spät im Entwicklungsprozess analysiert und bewertet werden.

Daraus ergibt sich die Frage, wann welche Eigenschaften überhaupt sinnvoll und mit welchen Simulationsmethoden abgesichert werden können bzw. welche Produktinformationen bereitgestellt werden müssen, um zu einem geforderten Zeitpunkt bestimmte Eigenschaften bewerten zu können.

In diesem Beitrag soll ein Vorgehen dargestellt werden, wie auf Basis der Analyse der benötigten Eingangsdaten für Simulationen - als virtuelle Analysemethoden - sowie den daraus resultierenden Ausgangsdaten ein semantisches Netzwerk aufgestellt werden kann, welches den Informationsfluss in Abhängigkeit der Zeit vom Bauteilmerkmal bis zur Produkteigenschaft in einem Unternehmen abbildet.

Der Nutzen dieses Netzwerks liegt dabei in zwei wesentlichen Gesichtspunkten:

- Zum einen kann dargestellt werden, wie lang solche Informationsketten sind, d.h. wie viele Analyseschritte notwendig sind, um eine Produkteigenschaft bewerten zu können.
- Zum anderen kann daraus abgeleitet werden, wann eine solche Informationskette starten kann und wann dementsprechend eine Produkteigenschaft analysiert werden kann. Dies ermöglicht es, die Zeitpunkte, an denen Produkteigenschaften analysiert werden können, zu diskreten Meilensteinen zusammenzufassen und so eine stufenförmige Analyse der Produkteigenschaften während des Entwicklungsprozesses vorzugeben.

Stand der Technik

1.1 Semantische Netze und Ontologien

Ontologien dienen zur formalen Modellierung von Begriffen und Beziehungen und gewinnen als eine Gattung der semantischen Netze bei der Abbildung von Produktinformationen zunehmend an Bedeutung. Neben dem Versuch, Informationen domänenübergreifend beschreiben und handhaben zu können [2; 3], werden Ontologien weiterhin genutzt, um Informationen im Produktlebenszyklus einerseits nachzuvollziehen und andererseits auswerten zu können [3; 4]. Ähnlich wie bei konventionellen Datenmodellen dienen Klassen, Relationen und Attribute zur Modellierung der Informationen. Zusätzlich können nun allerdings Produktrepräsentanten wie CAE-Modelle oder auch Berechnungsberichte als Individuen den Klassen zugeordnet werden. Dies ist vergleichbar mit der Modellierung von Baugruppen in CAD-Systemen, bei denen zuerst eine Produktstruktur (Klasse) generiert wird, an die anschließend einzelne Bauteile oder Features gehängt werden (Individuen). Somit ist es möglich, Dokumente und deren Informationen in unterschiedlichsten Strukturen abzubilden und somit im jeweiligen Kontext zu beschreiben.

1.2 Eigenschaften und Merkmale

Um die geforderten Informationsketten aufzubauen, ist es notwendig, einen Blick auf die grundlegenden Aufgaben des Entwicklers während der Produktgestaltung sowie die daraus resultierenden Informationen zu werfen. Auf Basis von Produkthanforderungen legt der Entwickler während der Synthese ein Lösungskonzept fest, das er mittels Merkmalen beschreibt. Anschließend werden aus diesen Merkmalen physische oder virtuelle Modelle aufgebaut und auf ihre Eigenschaften und Funktionen hin analysiert und bewertet. Daraus resultiert ein Regelkreis, dessen Terminierungsbedingung die hinreichend genaue Übereinstimmung der geforderten mit den realisierten Eigenschaften (Δ -Eigenschaft) darstellt [5] (Bild 1).

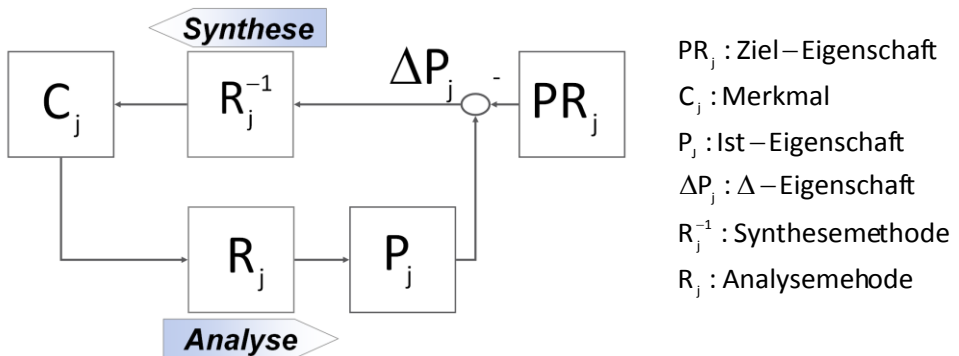


Bild 1: Produktentwicklungsprozess als Regelkreis nach WEBER

1.3 Analyse am Beispiel der CAE-Prozesskette

Da Simulationen eine zunehmend an Bedeutung gewinnende Gruppe der Analysemethoden darstellen und zu Beginn der Produktentwicklung häufig die einzige Möglichkeit sind, Produkteigenschaften zu analysieren, soll der Analyseprozess am Beispiel des Computer Aided Engineering (CAE) genauer betrachtet werden.

Die Simulationstätigkeit kann in drei wesentliche Schritte unterteilt werden: dem Preprocessing, dem Solving und dem Postprocessing [6].

Im Preprocessing werden alle, für die Simulation benötigten, Eingangsdaten gesammelt und zu einem Simulationsmodell (Inputdeck) zusammengebaut, das sowohl das Produkt als auch den Lastfall und den Nutzer – z.B. als Crashtest-Dummy – und die Testumgebung modelliert. Bei den Eingangsdaten kann es sich dabei um unterschiedlichste Informationen handeln: Während in klassischen Computer Fluid Dynamics (CFD) Simulationen vorwiegend die Geometrie als Eingangsdatensatz benötigt wird, kommen in Festigkeitsuntersuchungen Materialdaten und Wandstärken hinzu. Zusätzlich werden oftmals Lastannahmen benötigt. In Mehrkörpersimulationen werden demgegenüber weniger Geometrie als vielmehr kinematische und physikalische Merkmale wie Schwerpunkte, Massenträgheiten oder Kennlinien benötigt.

Im Solving werden aus dem Simulationsmodell bestimmte Ausgangsdaten (Outputdeck) errechnet und damit die eigentliche Berechnungsaufgabe durchgeführt [7].

Im Postprocessing werden anschließend die Ausgangsdaten zu interpretierbaren und darstellbaren Ergebnissen weiterverarbeitet. Dabei werden die physikalischen Messgrößen beispielsweise um systematische Fehler bereinigt, graphisch aufbereitet oder zu Bewertungskriterien, welche die Produkteigenschaften repräsentieren, umgerechnet (z.B. Ermittlungen des HIC-Werts aus Beschleunigungsgrößen). Bei der darauf folgenden Bewertung werden die Ist-Werte der Bewertungskriterien – die Ist-Eigenschaften - mit die Ziel-Eigenschaften verglichen und als Status in Berechnungsberichten dokumentiert [8].

Synthese und Optimierung

Aus informationstechnischer Sicht werden für die Durchführung einer Analyse (Simulation) sowohl die für das Simulationsmodell benötigten Eingangsdaten als auch die zu bewertenden Zielwerte der Produkteigenschaften benötigt. Dabei entstehen, neben den Simulationsmodellen, sowohl die Ist-Werte der Produkteigenschaften als auch die Abweichung zwischen den geforderten und den aktuell erreichten Produkteigenschaften (ΔP). Ausgehend von dieser Abweichung oder den Produkthanforderungen werden nun in der Synthese Änderungsvorschläge erstellt. Da meist mehrere Eigenschaften eines Produktes analysiert werden, müssen diese Änderungsvorschläge zusammengefasst bzw. eine Auswahl getroffen werden. Dadurch wird das Lösungskonzept eines Produktes, einer Baugruppe oder eines Bauteils festgelegt. Dieses umfasst ausgehend von der Funktionsstruktur das Wirkprinzip, die physikalischen Merkmale einer Baugruppe – wie beispielsweise die Geometrie oder den Werkstoff – sowie die Baustruktur [9]. In Ausnahmefällen kann auch die Modifikation der geforderten Eigenschaften notwendig werden, wenn sich herausstellt, dass Zielwerte mit den vorhandenen Ressourcen nicht erreicht werden können. Daraus resultiert ein iteratives Vorgehen, das schematisch in Bild 2 dargestellt ist (Bild 2).

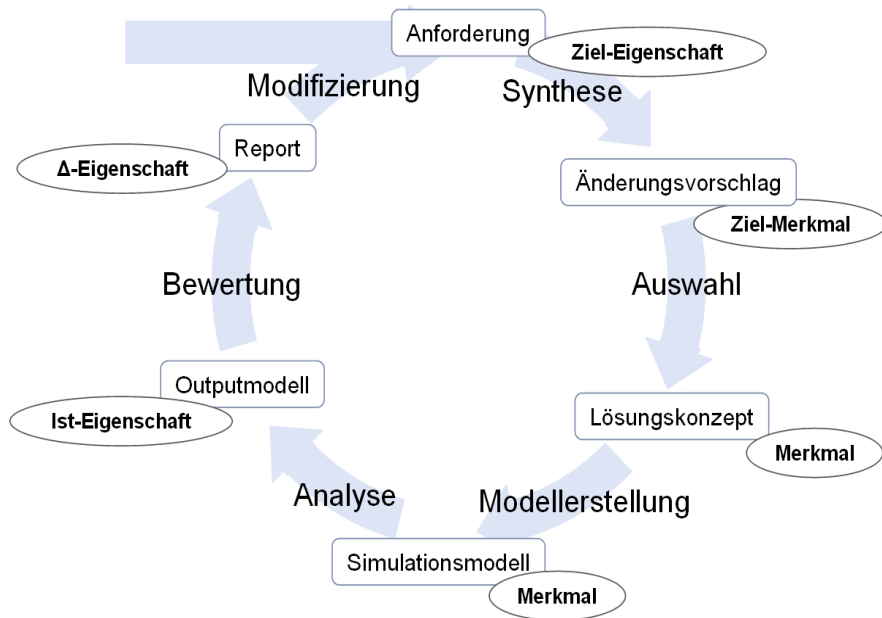


Bild 2: Produktentwicklung als erweiterter Regelkreis

Durch diesen Zyklus werden somit auf einer Ebene der Produkthierarchie Anforderungen als Ziel-Eigenschaften definiert und Lösungskonzepte als Merkmale bestimmt. Eine Verknüpfung zwischen den Ebenen der Produkthierarchie (Produkt, Baugruppe, Komponente) erfolgt nach HERFELD, indem die Anforderungen und die Auslegung der jeweils übergeordneten Produkthierarchie die Anforderungen der darunterliegenden beeinflussen [8]. Eine Konkretisierung und Übertragung dieser Systematik auf den oben beschriebenen Regelkreis führt zu dem Dualismus, dass die Merkmale einer übergeordneten Produkthierarchie die Ziel-Eigenschaften der darunterliegenden beschreiben. Wird beispielsweise der Schwingungskomfort eines Fahrzeuges analysiert und festgestellt, dass dieser nur mit einer bestimmten Dämpferkennlinie realisiert werden kann, so dient diese wiederum als Ziel-Eigenschaft für die Baugruppe Stoßdämpfer. Somit werden Produkteigenschaften als Anforderungen über Synthese- und Analyseschritte auf Baugruppeneigenschaften und schließlich auf Bauteilmerkmale herunter gebrochen (Bild 3).

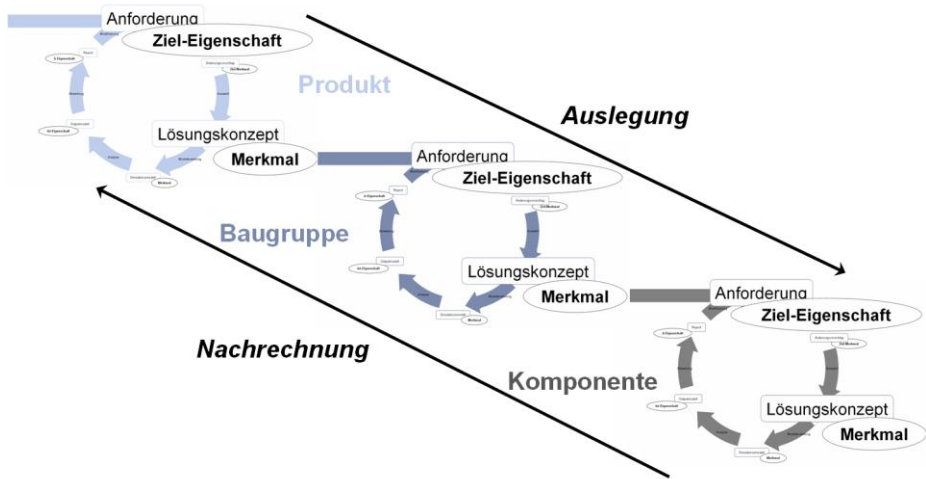


Bild 3: Produktentwicklungsprozess als erweiterter Regelkreis über die Produktstruktur

Somit lässt sich der Produktentwicklungsprozess idealisiert als zirkulierender Informationsfluss darstellen, bei dem durch Synthese- und Analyseschritte Ziel-Eigenschaften in Merkmale übersetzt werden und gegen die Ist-Eigenschaften bewertet werden. Zusätzlich können die Ziel-Eigenschaften der tiefer liegenden Produkthierarchien aus den Merkmalen der darüber liegenden abgeleitet werden bzw. die Ist-Eigenschaften aus den Merkmalen errechnet werden. So wird die Produkthierarchie in der Auslegung Top-down und in der Nachrechnung Bottom-up durchlaufen. Zusätzlich sollen noch zwei wichtige Fakten erwähnt werden. Zum einen gibt es nach WEBER Anforderungen, die eine spezielle Lösung einfordern und somit direkt auf die Merkmale referenziert werden können. Zum anderen können geforderte Eigenschaften, welche aus dem Produktlebenszyklus resultieren und unter dem Begriff Design for X subsumiert werden, nach STÖBER ET AL. lösungsabhängig und somit nicht aus den Merkmalen der übergeordneten Produkthierarchie ableitbar sein [10]. Durch die Berücksichtigung der Tiefe der Eigenschaftsstruktur sowie der Produktstruktur (mehrere Eigenschaften werden durch mehrere Bauteile realisiert (vgl. House of Quality)) entsteht daraus ein semantisches Netzwerk, anhand dessen die geforderten Informationsketten ausgeleitet und analysiert werden können.

Generierung und Visualisierung des semantischen Netzwerkes

Um Informationsketten gemäß der in Kapitel 1 beschriebenen Zielsetzung aufstellen zu können, müssen nun den beschriebenen Synthese- und Analyse-schritten Methoden zugeordnet und hinsichtlich der Informationen untersucht werden, welche die Methode benötigt, generiert und charakterisiert. Dazu werden die Methoden, wie beispielweise eine bestimmte Festigkeitsunter-suchung, als Bausteine einer Informationskette nach definierten Kriterien auf-genommen und anschließend in das semantische Netzwerk eingebunden. In einem ersten Schritt werden die Analyse-Methoden aufgenommen, da diese alle Merkmals- und Eigenschaftsinformationen des Zyklus (Merkmale, Ist-Eigenschaften, Ziel-Eigenschaften, Δ -Eigenschaft, in machen Fällen auch die Ziel-Merkmale) benötigen bzw. erzeugen, die für die Generierung des Netz-werkes notwendig sind. Dafür werden vier Hauptgruppen definiert, zum einen die Eingangs- und die Ausgangsdaten, die den eigentlichen Informationsfluss auf Basis der Merkmale und Eigenschaften widerspiegeln, zum anderen die Analyse-methode sowie die Prüfbedingungen. Während die Prüfbedingungen für die Spezifizierung und Definition der Eigenschaften notwendig sind, dienen die Charakteristika der Analyse-methode als deren Randbedingung und ermög-lichen so eine spätere Unterstützung der Methodenauswahl sowie die Analyse der Informationskette.

Tabelle 1: Benötigte Informationen eines Analyse-Methodenbausteins

<i>Hauptgruppe</i>	<i>Kriterium</i>	<i>Beschreibung</i>
Eingangsdaten	Eingangsdaten (Merkmal)	Definiert die für den Modellaufbau benötigten Daten
	Zeitpunkte im PEP (Randbedingung)	Definiert den Zeitpunkt, an dem die Eingangsdaten benötigt werden
	Datenqualität (Randbedingung)	Definiert die Qualität der Daten nach Herkunft
Ausgangsdaten	Ist-Eigenschaften	Definiert die ermittelten Ist-Eigenschaften anhand der Bewertungskriterien

	Status (Δ -Eigenschaft)	Definiert den Grad der Eigenschaftserfüllung
	Änderungsgrößen (Ziel-Merkmal)	Definiert Zielwerte für Merkmale, welche für die Eigenschaftserfüllung notwendig sind
Simulationsmethode	Kosten (Randbedingung)	Definiert die Kosten pro ermittelter Ist-Eigenschaft
	Zeitaufwand (Randbedingung)	Definiert den Zeitaufwand pro ermittelter Ist-Eigenschaft
	Reifegrad (Randbedingung)	Definiert die Übereinstimmung der Methode mit einem kalibrierten physischen Versuch
Prüfbedingungen	Lastfall (Prüfbeschreibung)	Definiert das Erprobungsszenario (Umfeld, Manöver, Prüfling, Nutzer)
	Messbedingungen (Prüfbeschreibung)	Definiert die Bedingungen und Vorschriften unter denen die Ist-Eigenschaft ermittelt wird
	Ziel-Eigenschaft (Ziel-Eigenschaft)	Definiert den geforderten Zielwert der Eigenschaft
	Simulationsmodell (Randbedingung)	Definiert das in der Prüfung verwendete Modell bzgl. Umfang und Format

Anhand dieser Kriterien können nun Eigenschaften und Merkmale einerseits und die Prüfbeschreibungen sowie die Randbedingungen, unter denen eine Methode durchgeführt wird, andererseits aufgenommen werden und in

Form einer Ontologie modelliert sowie anschließend als Netzdarstellung visualisiert werden. Dazu werden eine Produktstruktur (Bauteilsicht), eine Eigenschaftsstruktur (Anforderungssicht), eine Methodenstruktur (Werkzeug- bzw. Toolsicht) und eine Prozessstruktur (Prozesssicht) erstellt. Die Produktstruktur bildet das Produkt, die Baugruppen sowie die darin enthaltenen Bauteile ab, während die Eigenschaftsstruktur Eigenschaften aus Kundensicht und Produktlebenszyklussicht gruppiert und über Lastfallgruppen und schließlich Lastfälle detailliert. Mittels der Methodenstruktur können Analyse- und Synthesemethoden sowie physische und virtuelle Methoden unterschieden und klassifiziert werden. Eine Prozessstruktur ermöglicht schließlich die Zuordnung der Methoden zu Tätigkeitsschritten (Modellerstellung, Analyse, Bewertung...) und ermöglicht somit einen Vergleich und die Auswahl alternativer Methoden. Anschließend können die unterschiedlichen Analysen, Methoden und Modelle als Individuen erstellt und in entsprechende Strukturen eingebunden werden. Dies soll im Folgenden an einem Beispiel verdeutlicht werden. Bei der Untersuchung der Langzeitqualität werden Bauteile in einer Strukturanalyse untersucht und bewertet. Dazu wird die Eigenschaft Langzeitqualität von Achskomponenten, wie beispielsweise eines Führungslenkers, in einem Prüflastfall Schlechtwegeuntersuchung (Analyse) untersucht. Als Solver wird ABAQUS (Methode) verwendet, sowie ein FE-Netz (Modell) des Bauteils als auch eine Lastannahme (Modell) benötigt. Während das FE-Netz aus der CAD-Geometrie (Modell) mittels PreProcessoren wie ANSA (Methode) erstellt wird, werden die Lastannahmen in einer ADAMS Mehr-Körper-Simulation (MKS) (Methode) generiert. Diese setzt auf einem MKS Modell (Modell) auf, welches u. a. die Massenträgheiten (Modell) und Schwerpunktlagen (Modell) des Führungslenkers, die in CATIA (Methode) aus dem CAD-Modell (Modell) gemessen werden können, beinhaltet (Bild 4).

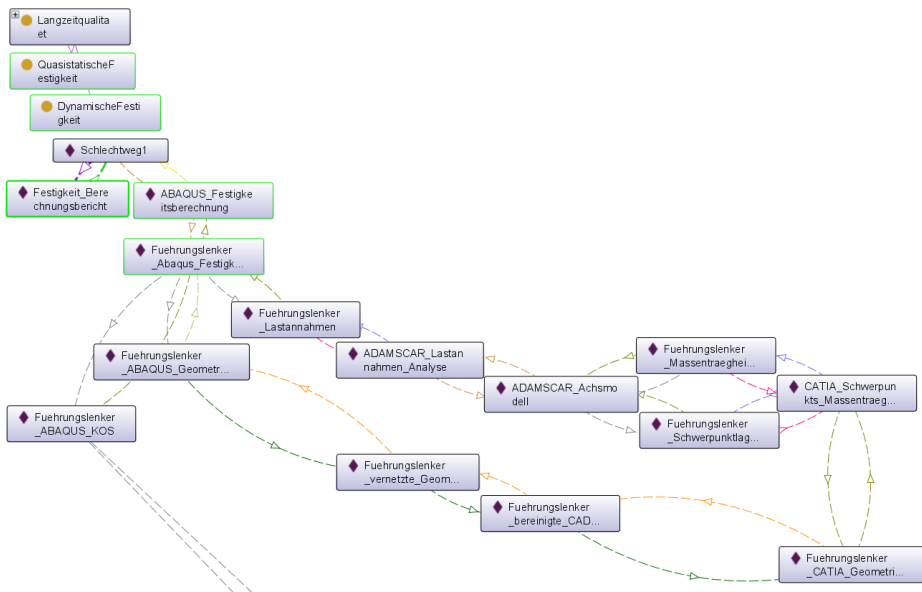


Bild 4: Informationsketten im Produktentwicklungsprozess am Beispiel Langzeitqualität

Anhand dieser Darstellung kann resümiert werden, dass es zum einen möglich ist Informationsketten mittels Ontologien aufzunehmen und zu visualisieren. Zum anderen wird selbst bei einem sehr einfachen Beispiel wie dem obigen die Komplexität der Informationszusammenhänge deutlich. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass für die Auswertung dieser Informationsnetze spezifische Betrachtungswinkel definiert und daraufhin die semantischen Netzwerke ausgefiltert und strukturiert werden müssen.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch organisatorische aber auch prozessuale Entwicklungen in den letzten Jahren konnte die Effizienz der Produktentwicklung zunehmend gesteigert werden. Gleichzeitig wuchs auch die Komplexität der Produkte selbst. Daraus resultiert eine zunehmende Komplexität der Informations- und Wissensverwaltung als auch ihres Transfers. Um gleichzeitig eine hohe Qualität in den geforderten Produkteigenschaften zu erreichen sowie eine effiziente Informationsbereitstellung gewährleisten zu können, ist es notwendig, die

Informationsketten innerhalb der Produktentwicklung aufzunehmen, abzubilden und auszuwerten.

Daher wurde in dieser Arbeit anhand eines idealisierten Modells des Entwicklungsprozesses ein Vorgehen dargestellt, wie Analyse-Methodenbausteine bzgl. ihrer benötigten Ein- und Ausgangsdaten, sowie der Prüfbedingungen beschrieben werden können. Zur Abbildung dieser Informationen wurde eine Ontologie vorgeschlagen, die wesentlichen Klassen beschreibt und anhand eines Beispieldatensatzes eine Informationskette erläutert. Somit konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, die geforderten Informationsketten mit Hilfe eines semantischen Netzwerkes abzubilden.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen soll im weiteren Vorgehen die Datenbasis der Ontologie um zusätzliche Methodenbausteine erweitert werden. Anschließend soll anhand der modellierten Randbedingungen eine Optimierung der Informationskette durchgeführt werden. Dazu ist es notwendig, sowohl die Zeitpunkte als auch die Datengüten aufeinander folgender Methodenbausteine abzustimmen. Schließlich sollen Eigenschaften, welche aufgrund der vorhandenen Informationen in gleichen Zeitfenstern analysierbar sind, zu Eigenschaftsstufen zusammengefasst und so Projektmeilensteinen zugeordnet werden.

Literatur

Seiffert, U.: "Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz", Vieweg und Teuber Verlag, Wiesbaden; 2008.

Ovtcharova, J., Marinov M., Mahl A., Schubert, P., Bittel, V.: "Ontology based, function oriented support for cross-domain and cross-enterprise engineering", International Conference on Collaborative Mechatronic Engineering, Salzburg, 2009.

Suh S-H., Shin S-J., Yoon J-S., Um J-M.: "A new paradigm for product design and manufacturing via ubiquitous computing technology", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2008.

Assouroko, I., Ducellier, G., Belkadim, F., Eynard, B., Boutinaud, P.: "Improvement of engineering design and numerical simulation data exchange based on requirements deployment: a conceptual framework", 7th International Product Lifecycle Management Conference, Bremen, 2010.

-
- WEBER, C.: "CPM/PDD - An extended theoretical approach to modelling products and product development process", Proceedings of 2nd German-Israeli Symposium on Advances in Methods and Systems for Development of Products and Processes, Fraunhofer-IRB-Verlag Berlin, 2005.
- Gruber, K., Widmann, U., Reicheneder, J. Elberfeld, J.: "CAE Data Management at Audi AG", NAFEMS BENCHmark Magazine, NAFEMS, Wiesbaden, 2005.
- Spur, G., Krause, F.-L.: "Das virtuelle Produkt", Hanser Verlag, München, 1997.
- Herfeld, U.: "Matrix-basierte Verknüpfung von Komponenten und Funktionen zur Integration von Konstruktion und numerischer Simulation", Dissertation, München, 2007.
- Lindemann, U.,: „Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, München, 2008.
- Stöber, C., Wartzack, S.: "Process orientated DfX support", Norddesign 2010, Göteborg, 2010.