

Sensordatenintegration in ein modellbasiertes Anforderungsmanagement

C. Konrad¹
T. Katzwinkel^{*1}, G. Jacobs¹

¹Institut für Maschinenelemente und System Engineering
Schinkelstraße 10, 52062 Aachen, Deutschland

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	2
2	Einleitung.....	2
3	Hauptteil	2
3.1	Stand der Technik	2
3.2	Das parameterbasierte Systemmodell als Grundlage für MBSE	3
3.3	Modellbasiertes Anforderungsmanagements	4
3.3.1	Modellierung von Anforderungen und parameterbasierte Verknüpfung mit der Produktstruktur bis auf Parameterebene	4
3.3.2	Funktionalitäten des modellbasierten Anforderungsmanagements....	5
3.4	Sensordatenintegration	6
4	Zusammenfassung	8
	Danksagung	8
5	Literaturverzeichnis.....	9

1 Abstract

Schwerpunktprojekte der Hightech-Strategie der Bundesregierung, wie „Industrie 4.0“, haben in der Vergangenheit die Verzahnung von Produkten mit Informations- und Kommunikationstechnik fokussiert. Durch die zunehmende Integration von Sensorik in Produkte ergibt sich eine Vielzahl von neuen Potentialen und Geschäftsfeldern. Beispiele sind die Digitalisierung von Bestandsanlagen durch Sensornachrüstung und Dienstleistungskonzepte wie das „Predictive Maintenance“.

Die zunehmende Sensorik und die entstehende Infrastruktur ermöglicht auch eine Rückspeisung des durch die Sensorik erfassten Systemverhaltens in einen betriebsbegleitenden Entwicklungsprozess. Diese Rückspeisung ermöglicht in einem adaptiven Anforderungsmanagementprozess die durchgängige Überprüfung von Betriebsparametern bezüglich der vorgegebenen Zielbereiche.

In diesem Beitrag wird zunächst eine Vorgehensweise für ein modellbasiertes Anforderungsmanagement mit Hilfe des Ansatzes der modellbasierten Systementwicklung (MBSE) vorgestellt. Dieses Anforderungsmanagement wird anschließend um die Integration von Sensordaten auf Parameterebene erweitert.

2 Einleitung

Die steigende Komplexität in der industriellen Entwicklung und Optimierung von technischen Produkten erfordert neue Strategien zur Komplexitätsbeherrschung und Effizienzsteigerung in Entwicklungsprozessen. Die modellbasierte Systementwicklung (MBSE) ist in diesem Zusammenhang ein vielversprechender Ansatz. Begleitend zum Produktentwicklungsprozess wird dabei ein Systemmodell als Informationsplattform aufgebaut. Anforderungen, Anwendungsszenarien und Informationen zur Produktstruktur werden in speziellen Softwarewerkzeugen unter Verwendung interaktiver Visualisierungen modelliert. Das Systemmodell kann mit domänenspezifischen Entwicklungswerkzeugen (z. B. 3D-CAD, FEM, MKS usw.) und Datenbanken verknüpft werden. Speziell durch die Einbindung der physikalischen Parameterebene birgt das Systemmodell für die Entwicklung und Optimierung von technischen Produkten ein großes Potential.

3 Hauptteil

3.1 Stand der Technik

Die modellbasierte Systementwicklung ist die formalisierte Anwendung von Modellbildung zur Unterstützung der Anforderungserfassung, Entwicklung, Verifikation und Validierung eines Systems über den gesamten Produktlebenszyklus [EIG14]. Hierzu wird die klassische Systementwicklung durch ein zentrales Systemmodell unterstützt [FRI15]. Das Systemmodell soll alle relevanten Daten über das System sowie

den Systemkontext enthalten und bildet die zentrale Informationsbasis für alle Stakeholder des Entstehungsprozesses [ALT12]. Schwerpunkte der MBSE-Forschung liegen vor allem in den Bereichen Anforderungsmanagement [EIG16, ALB16, TOR15], Systemsimulation und – Validierung [AND16, KÖß15, MAU15, PIN32] sowie der Systementwicklung [4]. Eingesetzte Modelle sollen über den gesamten Produktlebenszyklus verwaltet, verknüpft und weiterentwickelt werden [EIG16, HOO16]. Ansätze zum Aufbau von MBSE Systemmodellen sind beispielsweise FAS [LAM10] und SYSMOD [WEI16]. Die genannten Methoden berücksichtigen dabei zwar die Strukturzusammenhänge, adressieren jedoch nicht explizit die Parameterebene des Systems.

Die Erfassung des Produktverhaltens im praktischen Einsatz durch geeignete Sensorik in Form von Messdaten wird vor allem durch Schwerpunktprojekte wie Industrie 4.0 aktiv vorangetrieben. Damit Sensordaten in einem, dem Betrieb nachgeschalteten, Entwicklungsprozess eingesetzt werden können, ist allerdings eine Rückführung der im Betrieb durch Sensordaten erfassten Systemzustände in das Systemmodell notwendig.

3.2 Das parameterbasierte Systemmodell als Grundlage für MBSE

Das Systemmodell ergibt sich aus der prozessbegleitenden Modellierung der Systemarchitektur und des Systemverhaltens. Die Systemarchitektur besteht aus der Anforderungs- und Funktionsstruktur, der parametrisierten Produktstruktur und den relevanten Verknüpfungen der einzelnen Strukturelemente. Die Systemmodellierung erfolgt mit Hilfe von Modellierungssprachen, wie z. B. der Systems Modeling Language (SysML). Die Verknüpfungen können von einfachen Metadaten (wie z. B. Abhängig- und Zugehörigkeitsbeziehungen) bis hin zu automatisiert ausführbaren Co-Simulationen domänenspezifischer Expertenmodelle reichen (z. B. Matlab Simulink, Modelica, SimPak). Das hier diskutierte Systemmodell wird im Rahmen des Systementwicklungsprozesses kontinuierlich aufgebaut bzw. aus vorhandenen Modell-Bibliotheken zusammengesetzt.

Übergeordnetes Ziel des Systemmodellaufbaus ist die Abbildung der Zusammenhänge zwischen Kundenanforderungen und Produktverhalten auf Basis einer parameterbasierten Analyse der Wechselwirkungen zwischen äußeren Vorgaben bzw. Einflüssen und physikalischen Zusammenhängen. Die nachstehende Abbildung zeigt vereinfacht die Rolle eines solchen Systemmodells in einem Produktentwicklungsprozess (PEP).

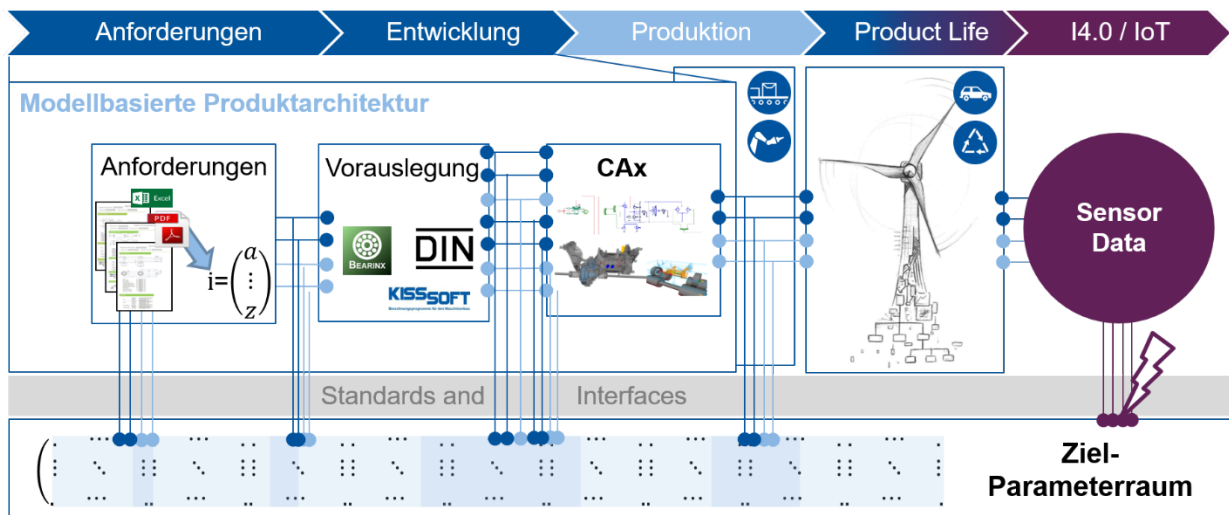


Abbildung 1: Integration von Sensordaten aus I4.0 und IoT in ein MBSE Systemmodell

Durch die datentechnische Verknüpfung der Domänen Anforderungsmanagement, Simulation und Sensorik kann das Systemmodell im PEP für Parameterstudien und Auswirkungsanalysen genutzt werden. Dabei können die Studienergebnisse aufgrund der vernetzten Modellstruktur direkt in Beziehung mit den Anforderungen gesetzt werden. So ist es möglich Anforderungsänderungen auf Konflikte zu überprüfen und Designentscheidungen sowie das durch Sensordaten erfasste Systemverhalten bezüglich der Anforderungseinhaltung zu bewerten.

3.3 Modellbasiertes Anforderungsmanagements

3.3.1 Modellierung von Anforderungen und parameterbasierte Verknüpfung mit der Produktstruktur bis auf Parameterebene

Bei der Systemmodellierung werden die Anforderungen zunächst als reguläre SysML-Anforderungsblöcke modelliert. Anschließend werden die relevanten Anforderungsparameter identifiziert und als Value-Blöcke modelliert. Ein Value-Block enthält einen einzelnen Parameter, der sich aus der Anforderung ableitet. Je nach Ausprägung der Anforderungen müssen diese Values in einer Wahr/Falsch-Beziehung erfüllt sein oder die vorgegebenen Wertebereiche dürfen nicht verlassen werden. Beispiele solcher Values sind etwa Maximalgewicht, Mindesttemperatur oder die Lastzyklen-Grenzzahl.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft den Vorgang der Anforderungsklä rung, Modellierung bzw. Import und Verknüpfung der Anforderungsblöcke mit Elementen der Produktstruktur.

Neben der Modellierung der Anforderungen wird ebenfalls die Produktstruktur mit allen bekannten und modellierbaren Zusammenhängen auf Parameterebene modelliert. Hierfür muss mindestens die mathematische Funktionsbeschreibung des Parameterzusammenhangs inklusive der relevanten Ein- und Ausgangsparameter bekannt sein. Eine mögliche Vorgehensweise hierfür ist beispielsweise in [LAM10, WE16] beschrieben.

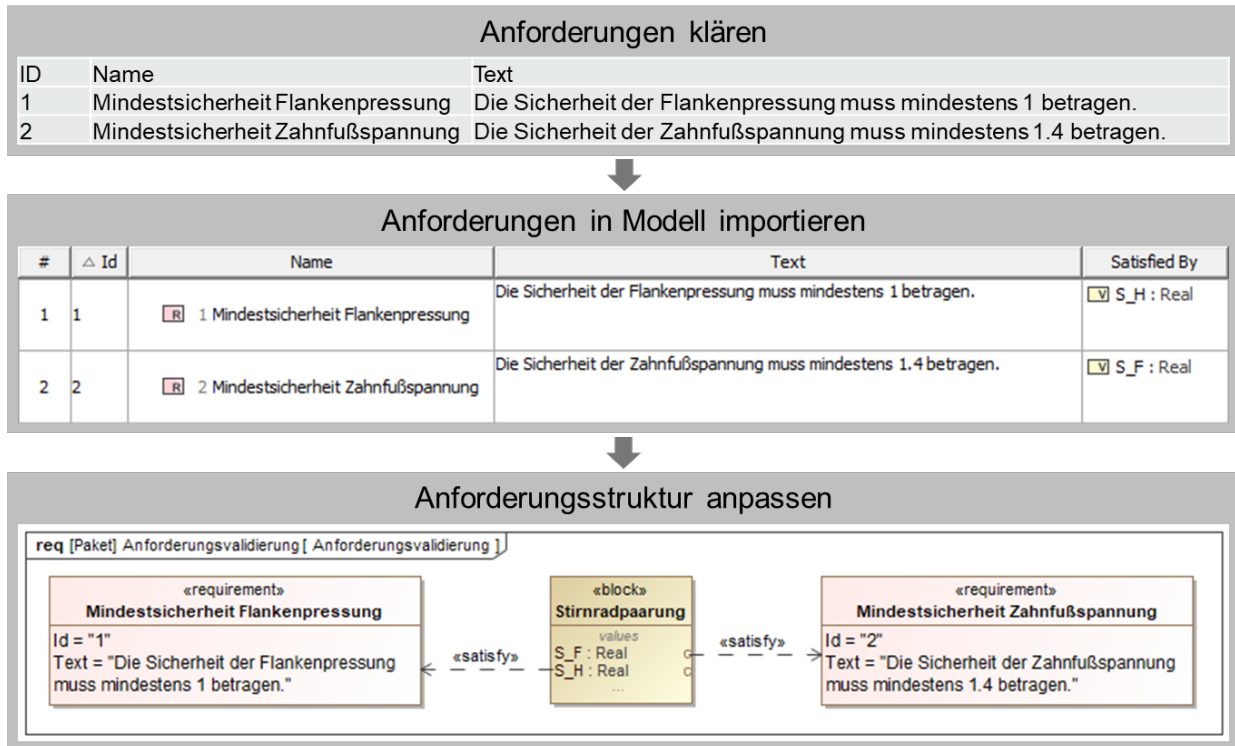


Abbildung 2: Klärung, Modellierung und Verknüpfung von Anforderungen mit der Produktstruktur in dem CSM

Nachdem in diesem Kapitel die Modellierungsstrategie beschrieben wurde, folgt im nachstehenden Abschnitt die Diskussion der Anwendungsmöglichkeiten eines derart aufgebauten Systemmodells im Kontext des Anforderungsmanagements.

3.3.2 Funktionalitäten des modellbasierten Anforderungsmanagements

Auf Basis der im Systemmodell modellierten Anforderungen, Systemstruktur, Wechselwirkungen und des Systemverhaltens ergeben sich Funktionen, die im Rahmen von modellbasierten Anforderungsmanagementprozessen eingesetzt werden und zur Komplexitätsbeherrschung beitragen können. Auf Parameterebene besonders relevant ist zum einen der Einsatz des „Relation Map Diagrams (RMD)“ zur Visualisierung von Abhängigkeiten zwischen Anforderungen, Strukturelementen und Parametern. In Abbildung 3 beispielhaft dargestellt ist die Anwendung des RMD auf eine Anforderung bezüglich der Mindestsicherheit Flankenpressung.

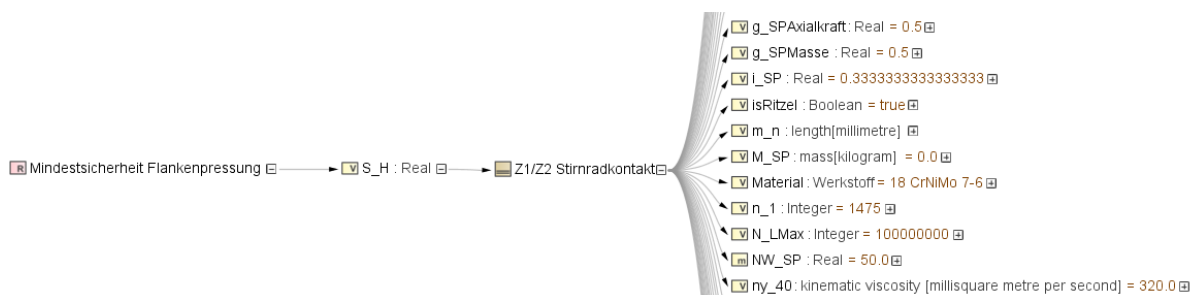


Abbildung 3: Einsatz eines Relation Map Diagram zur Untersuchung der Auswirkungen einer Anforderungsparameteränderung in dem CSM

Die modellierten Transformationsbeziehungen zwischen Anforderungen, Produktstruktur und Parameterraum können in Entwicklungsprozessen eingesetzt werden um Design Changes an Design- oder Anforderungsparametern bezüglich auftretenden Konflikten zu bewerten.

In Abbildung 4 dargestellt sind Auszüge aus einem Systemmodell. Links zu sehen ist ein User Interface zur Änderung von Anforderungsparametern an einem Stirnradkontakt in einem Getriebe. Änderungen an diesem Parameterset werden im Systemmodell als sogenannte Produktinstanz gespeichert und dann bezüglich der Einhaltung von Mindestsicherheit der Flankenpressung und Mindestsicherheit der Zahnfußspannung bewertet.

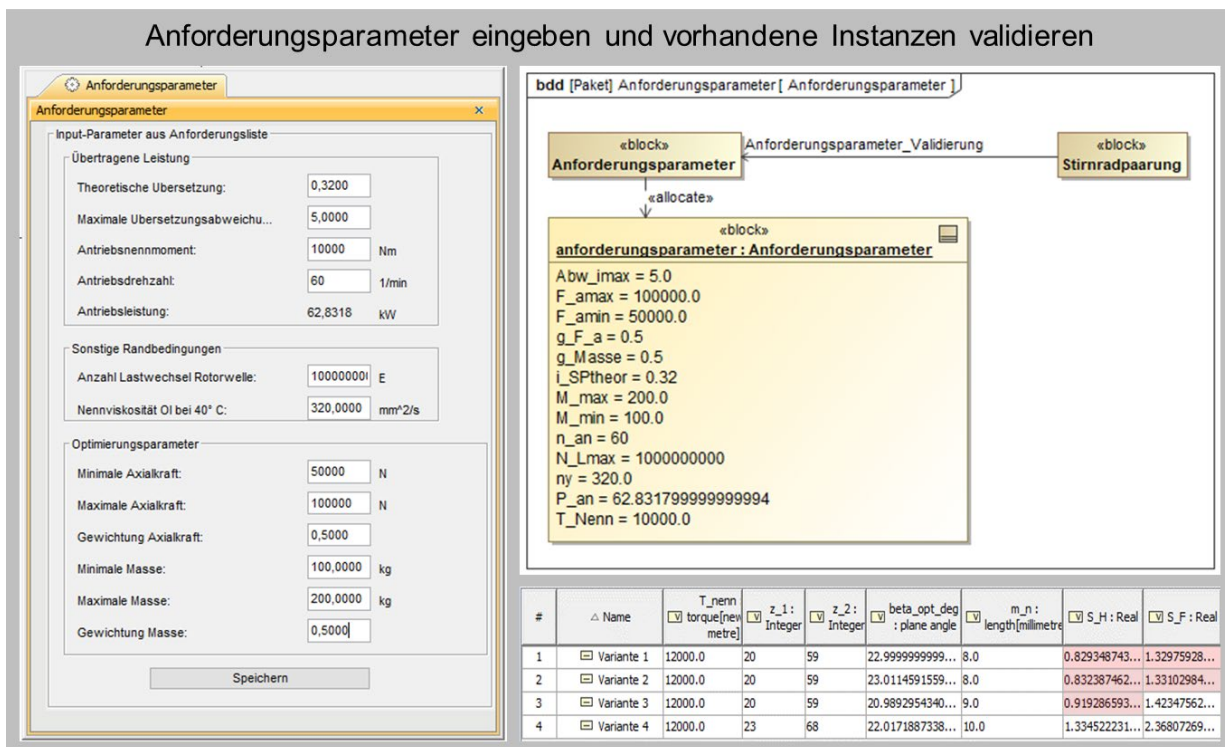


Abbildung 4: Validierung von möglichen Produktinstanzen bezüglich modellierter Anforderungen (links) mit Hilfe einer Instanztafel (rechts unten)

In einem Entwicklungsprozess können Änderungsanfragen auf diese Weise sehr schnell und mit einer soliden Datenbasis bezüglich der Machbarkeit bewertet werden. Im Fall von Konflikten können MBSE spezifische Modellfunktionen, wie der in Abbildung 3 dargestellte Einsatz eines Relation Map Diagrams, zur Klärung des Sachverhaltes und in der Folge auch zur Komplexitätsbeherrschung eingesetzt werden.

3.4 Sensordatenintegration

Innerhalb der hier vorgestellten Methode werden Sensor-Informationen für eine Auswertung in das in den vorherigen Kapiteln beschriebene Systemmodell überführt. Der Import der Sensordaten in das Systemmodell des Entwicklungsprozesses erfolgt

dabei durch Kopplung diskreter Sensorwerte mit den im Systemmodell abgebildeten, funktionalen Zusammenhängen der Modell-Parameter. Diese diskreten Werte können entweder direkt durch Sensoren oder indirekt durch zwischengeschaltete Datenlogger bereitgestellt werden. Die bereitgestellten Informationen werden über eine Software-Schnittstelle in das Systemmodell importiert. Dabei dienen die Sensordaten nunmehr als Eingabeparameter in das Systemmodell, dessen veränderter Zustand anschließend, aufgrund der modellierten Parameterzusammenhänge, neu berechnet und dargestellt werden kann. Der Import von Sensordaten erfolgt über die Instanztafel. Hierbei werden diskrete Sensordaten also in einen diskreten Systemzustand, eine sogenannte Modellinstanz, überführt. Die Gesamtheit aller aus den Sensordaten differenzierbaren Modellinstanzen mit den zugehörigen Parameterausprägungen sind somit in tabellarischer Form aufgelistet. Jede einzelne dieser Instanzen wird anschließend automatisch auf Anforderungsverletzungen überprüft. Anforderungsverletzungen werden visuell gekennzeichnet. Abbildung 6 verdeutlicht die beschriebene Vorgehensweise.

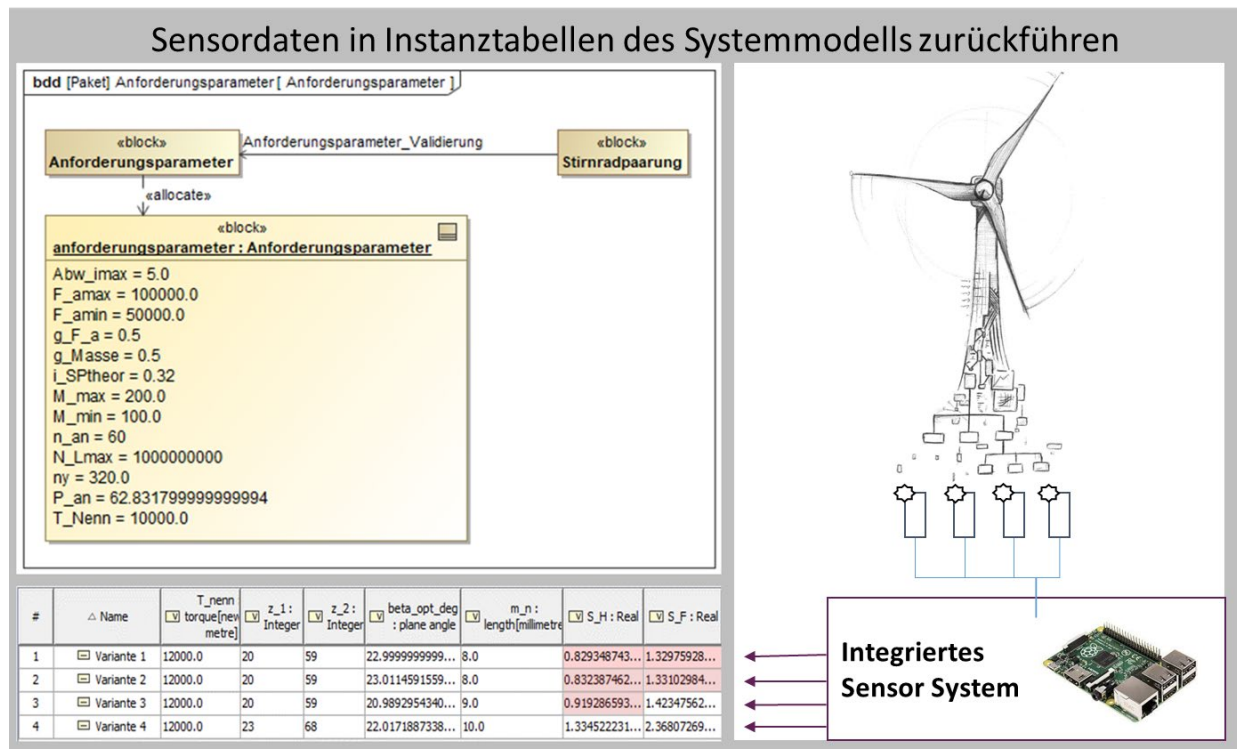


Abbildung 6: Rückführung von Sensordaten in das Systemmodell über Instanztabellen zur Überprüfung von Anforderungen und Randbedingungen

Im Falle von Anforderungsverletzungen kann mit Hilfe des Systemmodells systematisch nach möglichen Gegenmaßnahmen im Parameterraum gesucht werden. Durch die modellierten und visualisierten Zusammenhänge der Parameterebene leiten sich konkrete Handlungsoptionen für den Produktentwickler ab.

4 Zusammenfassung

Ein Anforderungsmanagement bis auf Produktparameterebene ist mit dem Stand der Technik an Werkzeugen möglich. Als besondere Herausforderung hierbei ergeben sich bei komplexeren Systemen die enorme Vielzahl an systemdeterminierenden Parametern und die Schnittstellenproblematik zwischen einzelnen Modellierungswerkzeugen.

Die Auswirkungen durch Änderungen an Anforderungs- und Designparametern sind bezüglich potentieller Konflikte mit anderen Anforderungen bewertbar. Außerdem können die Wechselwirkungen der diversen Parameter durch Relation Map Diagramme visualisiert werden.

Die Bewertbarkeit der Abhängigkeiten und der Anforderungseinhaltung im Fall eines instanziierten Design Changes durch MBSE stellt für die industrielle Praxis im Kontext realer Entwicklungsprozesse ein erhebliches Optimierungspotential bezüglich benötigter Zeit und sachlicher Grundlage für folgenreiche Design-Entscheidungen dar.

Die Mechanismen hinter dem modellbasierten adaptiven Anforderungsmanagement eignen sich ebenfalls für die Rückführung und Bewertung von Sensordaten in den Entwicklungsprozess. Die durch die Sensordaten erfassten Systemzustände bzw. das Systemverhalten können in Form von Instanztabellen in das Systemmodell importiert werden.

Auf Basis des Systemmodells können Anforderungsverletzungen im Systemzustand detektiert werden und Auswirkungen bzw. Ursachen der Anforderungsverletzungen durch die bereits im Systemmodell modellierten Wechselwirkungen aufgeklärt werden.

Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Unterstützung unserer Forschungen im Rahmen des Exzellenz-Clusters "Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer".

5 Literaturverzeichnis

- [EIG14] Eigner, M.; Roubanov, D.; Zafirov, R. (Hrsg.) 2014: Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. Berlin: Springer Vieweg
- [FRI15] Friedenthal, S.; Moore, A.; Steiner, R. 2015: A Practical Guide to SysML. The Systems Modeling Language. Amsterdam: Elsevier
- [ALT12] Alt, O. 2012: Modellbasierte Systementwicklung mit SysML. München: Carl Hanser Fachbuchverlag
- [MOT13] Motamedian, B. 2013: MBSE Applicability Analysis. In: International Journal of Scientific & Engineering Research. Volume 4. Issue 2. ISSN 2229-5518. Pp. 1-7
- [EIG16] Eigner, M.; Dickopf, T.; Huwig, C.: An Interdisciplinary Model Based Design Approach for Developing Cybertronic Systems. In: The Design Society (Hrsg.): DS 84: Proceedings of the DESIGN 2016 14th International Design Conference. Glasgow: Design Society, 2016, S. 1647–1656
- [ALB16] Albers, Albert et al: Model-Based Systems Engineering (MBSE) in der Karlsruher Schule: Fünf Jahre Forschung für die Anwendung. In: develop³ systems engineering (2016), S. 38–41
- [TOR15] Torry-Smith, J. M. et al: Industrial Application of a Mechatronic Framework. In: The Design Society (Hrsg.): Design for X, design to X. Glasgow: Design Society, 2015 (DS / Design Society, 80,4), S. 247–258
- [HOO16] Hooshmand, Y.; Höner, M.; Danjou, S.; Köhler, P.: Ein integriertes Gesamtsystemmodell für die modellbasierte Entwicklung. In: Krause, D.; Paetzold, K.; Wartzack, S. (Hrsg.): Design for X: Beiträge zum 27. DfX-Symposium. Hamburg: Tutech Verlag, 2016, S. 243–254
- [AND16] Andre, R.; Köhler, P.: Wissensbasierte Unterstützung des Konstrukteurs an der Schnittstelle CAD-CAE. In: Scharr, G. (Hrsg.) et al: Tagungsband Gemeinsames Kolloquium

Konstruktionstechnik: Traditio et Innovatio - Entwicklung und Konstruktion. Rostock, 2016 (14), S. 59–68

- [KÖß15] Kößler, J.; Paetzold, K.: Support of the System Integration with Automatically generated behaviour models. In: The Design Society (Hrsg.): Design for X, design to X. Glasgow: Design Society, 2015 (DS / Design Society, 80,4), S. 21–30

- [MAU15] Mauser, K.; Breitsprecher, T.; Hasse, A.; Wartzack, S.: Taking into account the change of geometry in system simulation processes. In: The Design Society (Hrsg.): Design for X, design to X. Glasgow: Design Society, 2015 (DS / Design Society, 80,4), S. 153–162

- [PIN16] Pinquie, R.; Micouin, P.; Veron, P.; Segonds, F.: Property Model Methodology: A case study with Modelica. In: Horvath, I.; Pernot, J.-P.; Rusak, Z. (Hrsg.): Proceedings of TMCE 2016, 2016, S. 79–92

- [LAM10] Lamm, Jesko G.; Weilkiens T.: Functional architectures in SysML. Proceedings of the TdSE (2010).

- [WEI16] Weilkiens, T.; SYSMOD – The Systems Modeling Toolbox, Pragmatic MBSE with SysML, MBSE4U, 2016, ISBN 978-3-9817875