

2 Ausgangssituation

Martin Eigner

Statistiken der letzten Jahre belegen den permanenten Wandel des Produktentwicklungsprozesses (PEP). Die Einflüsse resultieren aus veränderten Marktbedingungen, aus neuen Anforderungen an das Produkt und aus Kundensicht. Der Anstieg der Produktkomplexität resultiert zum einen aus einer weitaus stärkeren „multi market“-fähigen Produkt-, Derivate- und Variantenvielfalt und zum anderen aus der ständigen Zunahme elektronischer Komponenten und der zugehörigen „embedded software“ (Mechatronik). Der wertmäßige Anteil an Elektronik und Software ist in den letzten Jahren ständig gestiegen und liegt beispielsweise im Fahrzeugbau bei ca. 40 Prozent.

Kommunizieren Produkte miteinander, wird von Cyber-Physical Systems beziehungsweise cybertronischen Systemen gesprochen. Ein anderer Begriff ist Internet der Dinge. Aktuelle Forschungsinitiativen konzentrieren sich auf technologische Fortschritte mit Software-intensiven, eingebetteten Systemen in technischen Produkten [Br10]. Software wird in Zukunft eine Vielzahl von weiteren Produktfunktionen ermöglichen und damit einerseits die Komplexität von Produkten erhöhen, andererseits aber auch durch teilweise Verschiebung der steigenden Varianz von Hardware auf Software die Komplexität der Produkte reduzieren. Dies setzt eine noch stärkere Einbeziehung der Softwareentwicklung in den PEP voraus.

Daraus leiten sich neue Handlungsbedarfe an Methoden, Prozessen und Vorgehensmodellen für den interdisziplinären Produktentwicklungsprozess ab. Diese Bedarfe basieren darauf, die Engineering Tätigkeiten über den gesamten Produktlebenszyklus, das heißt von der frühen Phase der Anforderungsaufnahme bis hin zum Recycling über alle Disziplinen (Mechanik, Elektrik/Elektronik, Software und Dienstleistungen) und über die Bereichsgrenzen eines Unternehmens hinaus organisatorisch und systemtechnisch zu unterstützen. Es fehlt an etablierten, industriell eingesetzten Methoden, Prozessen und Vorgehensmodellen für die disziplinübergreifende Entwicklung von Produkten und Systemen.

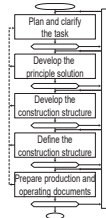
Mechanik

Dabei hat sich gerade auf dem Gebiet der Mechanik in Europa ab den Siebzigerjahren eine auf Funktionen basierende Konstruktionsmethodik mit abgeleiteten Entwicklungspro-

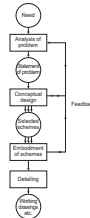
– Prof. Dr.-Ing. M. Eigner –
Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE),
Technische Universität Kaiserslautern, Gottlieb-Daimler-Straße 44, 67663 Kaiserslautern
E-Mail: eigner@mv.uni-kl.de

zessen gebildet, die natürlich zu dieser Zeit noch nicht auf formalen Sprachen aufsetzte und schwerpunktmäßig mechanisch geprägt war (Abb. 2.1). Nahezu alle für die Mechanik etablierten Vorgehensmodelle (Andreasen [Mo80], Pugh [Pu91], Cross [Cr08], Ehrlenspiel [Eh95], Pahl/Beitz [PB97] [Pa07], French [Fr99], Malmqvist [MS99], Eder/Hosnedl [EH08]) definieren in der Konzeptphase einheitlich die Funktion und deren Umsetzung durch Prinziplösung als die wesentlichen Elemente dieser Phase. Stellvertretend sei hier auf den Ansatz der VDI Richtlinie 2221 [VD93]. Einen anderen Ansatz stellt das Münchner Konkretisierungsmodell von Ponn/Lindemann [PL11] dar. Hier spielen die Anforderungen eine besondere Rolle, die alle Konkretisierungsebenen (Funktions-, Wirk- und Bauebene) beeinflussen.

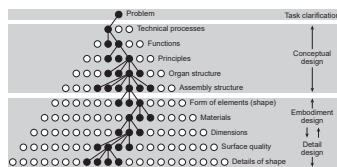
Pahl/Beitz (1996)



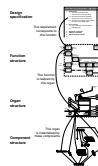
French (1999)



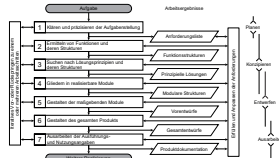
Andreasen & Hein (1987)



Malmqvist (1999)



VDI 2221 (1993)



MKM Ponn & Lindemann (2011)

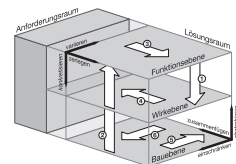


Abb. 2.1 Überblick über Vorgehensmodelle des Maschinenbaus [ERZ14]

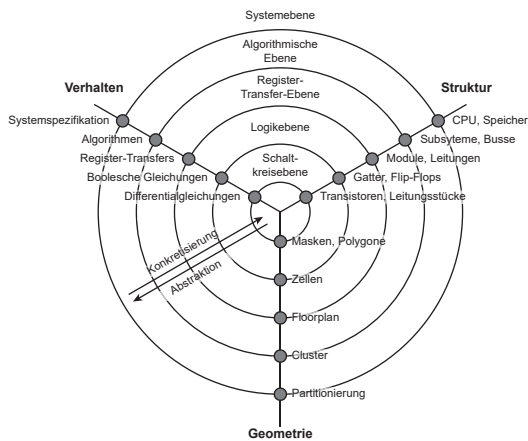
Elektrik / Elektronik

In der Elektrotechnik und Elektronik (E/E) ergibt sich vor allem auf Grund sehr verschiedener Anwendungsgebiete und eines rasanten Technologiewandels insbesondere beim Schaltungsentwurf ein breiteres Bild der Konstruktionsansätze. Nach Kümmel [Kü99] und Stephan [St13] existieren jedoch in den verschiedenen Anwendungsgebieten unterschiedliche Entwurfsstrategien. So lehnt sich zum Beispiel die VDI/VDE Richtlinie 2422 [VD94] für den Entwurf von Geräten, die von Mikroelektronik gesteuert werden, stark an die VDI Richtlinie 2221 [VD93] an. Der Schwerpunkt der Richtlinie liegt in der Beschreibung des konkreten Vorgehens bei der Geräteentwicklung. Dazu werden die Vorgehensschritte in den Bereichen Softwareentwicklung, Schaltungsentwicklung und bei der Entwicklung des elektromechanischen Geräteteils detailliert beschrieben. Im Anwendungsge-

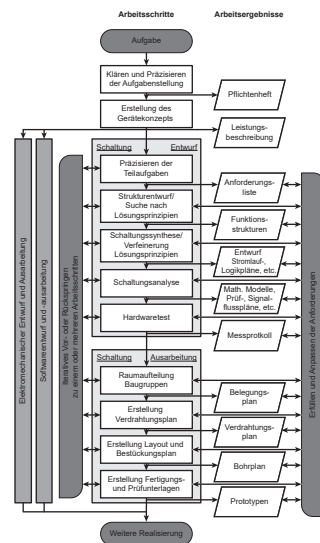
biet des digitalen Schaltungsentwurfs liegen viele Modelle des Entwurfsprozesses vor, die sich auf den klassischen Abstraktionsebenen wenig unterscheiden:

- Systemebene
- Algorithmische Ebene
- Registerebene
- Transferebene
- Logikebene
- Schaltkreisebene

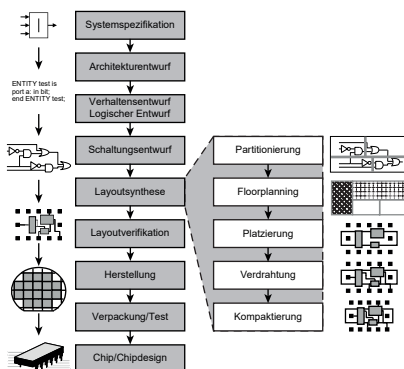
Y-Chart Gajski and Kuhn (1983)



VDI/VDE (1993)



Layoutsynthese Liening (2006)



Rauscher (1996)

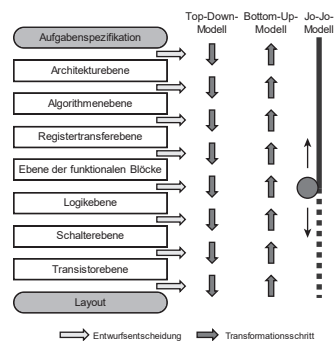


Abb. 2.2 Überblick über Vorgehensmodelle in der Elektrotechnik/Elektronik [ERZ14]

Ein wesentliches Klassifikationsmerkmal für die jeweiligen Entwurfsmodelle ist der Grad an Technologieunabhängigkeit. Zu diesen Modellen gehören zum Beispiel der Top-Down und der Bottom-Up Entwurf [Ra96] [Lü03] sowie das aus beiden hervorgegangene Jo-Jo Modell. Zu den bekanntesten technologieunabhängigen Modellen zählt das Y-Diagramm (auch als Gajski-Diagramm bekannt). Es beschreibt die Sichtweisen im Hardwareentwurf, insbesondere bei der Entwicklung von integrierten Schaltkreisen. 1983 entwickelten Daniel D. Gajski und Robert Kuhn das Entwurfsmodell [Ga83]. 1985 wurde es von Robert Walker und Donald Thomas [Wa85] verfeinert. Gajski unterscheidet in diesem Modell beim Entwurf von Hardware drei verschiedenen Domänen: Verhalten, Struktur und Geometrie. Die Domänen sind als Achsen des Y dargestellt. Ein weiterer pragmatischer Ansatz für einen Entwurfsprozess integrierter Schaltungen wurde von Lienig entwickelt [Li06]. Einen Überblick über Vorgehensmodelle in der Elektrotechnik und Elektronik zeigt Abb. 2.2.

Software

Im Bereich der Softwareentwicklung wurde mit dem Software Engineering eine detaillierte und umfassende Entwicklungsmethodik entwickelt. Diese zeigt ähnlich der Vorgehensweise in der Elektronik häufig andere Muster – etwa neben der Funktions- eine starke Verhaltensorientierung [Sc05]. Aus der Softwareentwicklung stammen auch die ersten V-Modelle [Bo79]. Aufgrund des hohen Aufwandes zur Erstellung und Wartung komplexer Software erfolgt die Entwicklung anhand strukturierter, streng phasenorientierter und stark formalisierter Vorgehens- beziehungsweise Prozessmodelle, die auch als schwergewichtige Vorgehensmodelle bezeichnet werden [PP04]. Dazu gehören zum Beispiel das Phasenmodell, Wasserfallmodell, das iterative Prototypenmodell und auch das Dokumenten- und Produktmodell (V-Modell der Softwareentwicklung) [Bo79] [Li01]. Diese Modelle unterteilen den Entwicklungsprozess in überschaubare, zeitlich und inhaltlich begrenzte Phasen. Die Software wird somit Schritt für Schritt fertiggestellt. Die Phasen sind während des ganzen Entwicklungsprozesses eng miteinander verzahnt. Im Umfeld der Weiterentwicklung der Objektorientierung entwickelten sich einerseits die Sprache UML (Unified Modelling Language) zur Softwareentwicklung als auch Prozessmodelle wie der Unified Software Development Process (USDP) [RJB99]. UML enthält verschiedene Daten-, Zustands und Prozessdiagramme. Aus dem USDP entwickelte die Firma IBM den Rational Unified Process (RUP) [Kr00]. Agile oder leichtgewichtige Softwareentwicklung ist der Sammelbegriff für den Einsatz von Agilität und Flexibilität in der Softwareentwicklung. Einen Überblick zeigt Abb. 2.3.

Mechatronik

Der Japaner Ko Kikuchi verwendete 1969 zum ersten Mal den Begriff Mechatronik [HTF96]. Der Begriff besteht aus Wortbestandteilen der Mechanik und der Elektronik und kennzeichnete zunächst nur die elektrotechnische und elektronische Funktionserweiterung von mechanischen Komponenten und Geräten [GR05]. Die Software hat Ihre Bedeutung in der Mechatronik erst viel später gewonnen. Interessant ist, dass sich aus der anfänglichen Wortkombination ein weltweit anerkanntes, ingenieurwissenschaftliches Arbeitsgebiet entwickelt hat, das den interdisziplinären Systemgedanken in den Mittelpunkt der Produktentwicklung stellt [Ja10]. Mechatronische Vorgehensmodelle basieren beispielsweise bei Isermann [Is08] auf einem Prozessverständnis, auf dem Vorgehen von Pahl Beitz, beispielsweise bei Lückel [GL00], oder auf verschiedenen Variationen des V-Modells. Das bekannteste ist die VDI Richtlinie 2206, die ein flexibles Vorgehen mit den drei Elemen-

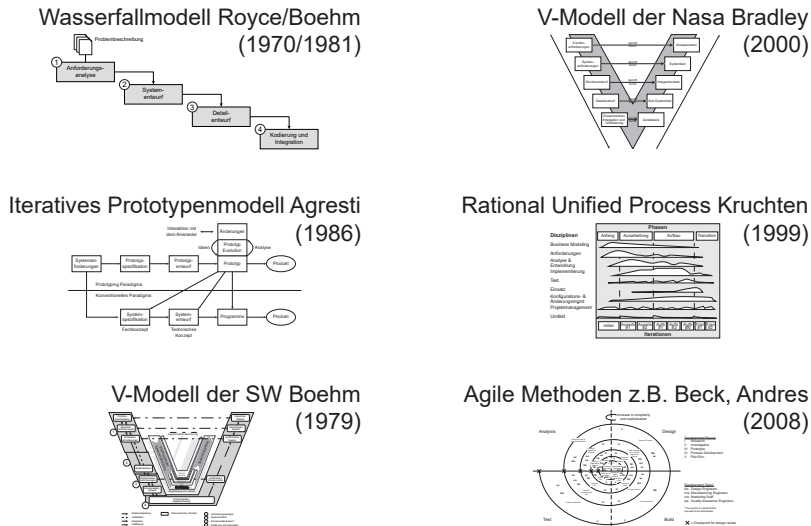


Abb. 2.3 Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung [ERZ14]

ten „Problemlösungszyklus als Mikrozyklus“ [HD99], „V-Modell als Makrozyklus“ und „Prozessbausteine für wiederkehrende Arbeitsschritte“ [VD04] beinhaltet. Vom V-Modell abgeleitete und teilweise konkretisiertere Vorgehensmodelle wurden von Bender [Be05] und Anderl [An12] vorgestellt. Einen Auszug aus der Vielzahl der mechatronischen Vorgehensmodelle zeigt Abb. 2.4.

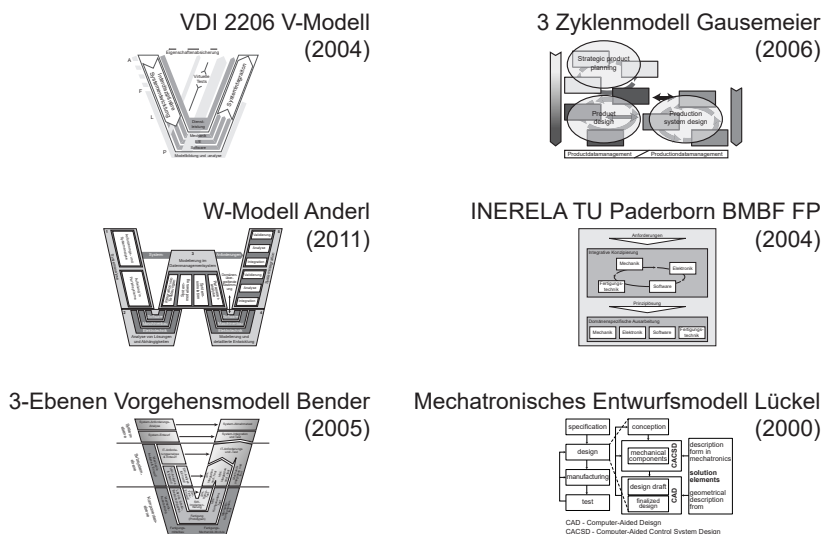


Abb. 2.4 Vorgehensmodelle der Mechatronik [ERZ14]

Systems Engineering

Parallel wurde seit den Sechzigerjahren insbesondere bei der amerikanischen Luft- und Raumfahrt und in großen Militärprojekten Systems Engineering (SE) als interdisziplinärer, dokumentengetriebener Ansatz zur Entwicklung und Umsetzung komplexer, technischer Systeme definiert. Dieser Ansatz wurde aus Sicht der Software- und Elektronikindustrie permanent ausgebaut und bietet heute Modellierungs- und Simulationsunterstützung von komplexen, stark vernetzten Systemen an. Systems Engineering beruht auf der Annahme, dass ein System mehr ist als die Summe seiner Subsysteme beziehungsweise Teile, und dass aus diesem Grund notwendigerweise die Gesamtzusammenhänge betrachtet werden sollten. Nach Definition der INCOSE (International Council on Systems Engineering) ist das Systems Engineering eine Disziplin, deren Aufgabe die Erstellung und Ausführung eines interdisziplinären Prozesses ist, der garantieren soll, dass Kunden- und Stakeholder-Anforderungen qualitativ hochwertig, zuverlässig, kostengünstig und in vorgegebener Zeit über den gesamten Produktlebenszyklus erfüllt werden können [IN06]. Während klassische Methoden des Systems Engineerings papier- oder dokumentenbasiert sind, ermöglicht Model Based Systems Engineering (MBSE) als Weiterführung des Systems Engineerings ein modellbasierendes Vorgehensmodell [Fr12]. Es ist ein multidisziplinärer Ansatz und basiert auf entwicklungsphasenspezifischen, digitalen Systemmodellen, die entlang des Produktentwicklungsprozesses integriert werden (Abb. 2.5). Sie

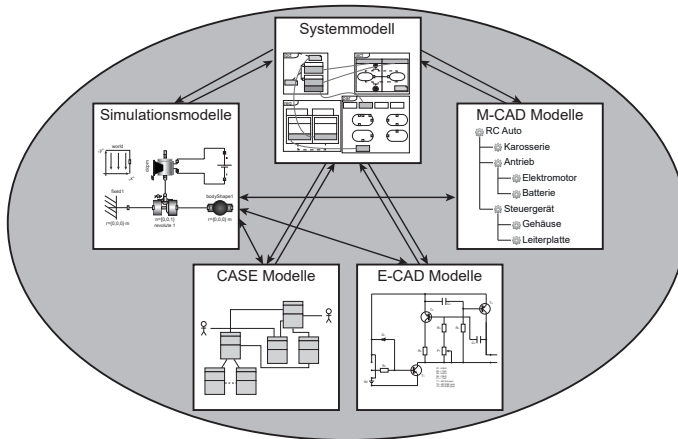


Abb. 2.5 Modellbasierte Produktentwicklung in (Anlehnung an Friedenthal [FGS08])

erlauben die Modellierung in verschiedenen Phasen des Produktentwicklungsprozesses. Das Problem der Integration der Komponenten während des Entwicklungsprozesses kann durch die Verwendung von Modellierungssprachen wie der Systems Modeling Language (SysML) möglichst früh in Angriff genommen werden, indem die Korrelationen zwischen Systemanforderungen, Funktionen, Verhalten und Struktur definiert werden. Die durchgängige, modellbasierte Entwicklung ist in der virtuellen Produktentwicklung von zentraler Bedeutung und ist somit auch eine wesentliche Herausforderung an die Optimierung des PEP für mechatronische und insbesondere für cybertronische Produkte beziehungsweise Systeme (vgl. Kapitel 4).

Literaturverzeichnis

- [An12] Anderl, R.; Eigner, M.; Sendler, U.; Stark, R., Hrsg.: Smart Engineering: Interdisziplinäre Produktentstehung. Springer, Berlin, 2012.
- [Be05] Bender, K.: Embedded Systems: Qualitätsorientierte Entwicklung. Springer, Berlin, 2005.
- [Bo79] Boehm, B. W.: Guidelines for Verifying and Validating Software Requirements and Design Specifications, Redondo Beach/USA, 1979, URL: <http://csse.usc.edu/TECHRPTS/1979/usccse79-501/usccse79-501.pdf>.
- [Br10] Broy, M., Hrsg.: Cyber-Physical Systems: Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [Cr08] Cross, N.: Engineering design methods: Strategies for product design. Wiley, Chichester/England, 2008.
- [EH08] Eder, W. E.; Hosnedl, S.: Design engineering: A manual for enhanced creativity. CRC Press, Boca Raton, Fla. u.a, 2008.
- [Eh95] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung: Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. Hanser, München, 1995.
- [ERZ14] Eigner, M.; Roubanov, D.; Zafirov, R.: Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. Springer, Berlin, 2014.
- [FGS08] Friedenthal, S.; Griego, R.; Sampson, M.: INCOSE MBSE Roadmap, in "INCOSE Model Based Systems Engineering (MBSE) Workshop Outbrief", Albuquerque/USA, 2008, URL: https://www.researchgate.net/publication/267687693_INCOSE_Model_Based_Systems_Engineering_MBSE_Initiative.
- [Fr12] Friedenthal, S.: A Practical Guide to SysML. Morgan Kaufmann, Burlington, MA/USA, 2012.
- [Fr99] French, M. J.: Conceptual Design for Engineers. Springer, London, 1999.
- [Ga83] Gajski, D. D.: Construction of a large scale multiprocessor. Cedar Project, Laboratory for Advanced Supercomputers, Dept. of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Ill., 1983.
- [GL00] Gausemeier, J.; Lückel, J., Hrsg.: Entwicklungsumgebungen Mechatronik: Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung mechatronischer Systeme. HNI Heinz Nixdorf Inst, Paderborn, 2000.
- [GR05] Gausemeier, J.; Redenius, A.: Entwicklung mechatronischer Systeme. In (Schäppi, B.; Andreasen, M. M.; Kirchgeorg, M.; Radermacher, F.-J., Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser, 2005, S. 547–575, ISBN: 9783446228382.
- [HD99] Haberfellner, R.; Daenzer, W. F., Hrsg.: Systems engineering: Methodik und Praxis. Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 1999.
- [HTF96] Harashima, F.; Tomizuka, M.; Fukuda, T.: Mechatronics - What is it, why, and how? IEEE/ASME Transactions on Mechatronics/1, S. 1–4, 1996.
- [IN06] INCOSE: A Consensus of the INCOSE Fellows, 2.10.2006, URL: <http://oldsite.incose.org/practice/fellowsconsensus.aspx>.
- [Is08] Isermann, R.: Mechatronische Systeme: Grundlagen. Springer, Berlin, 2008.
- [Ja10] Janschek, K.: Systementwurf mechatronischer Systeme: Methoden - Modelle - Konzepte. Springer, Berlin, 2010.

- [Kr00] Kruchten, P.: The rational unified process: An introduction. Addison-Wesley, Reading, MA, 2000.
- [Kü99] Kümmel, M. A.: Integration von Methoden und Werkzeugen zur Entwicklung von mechatronischen Systemen. HNI, Paderborn, 1999.
- [Li01] Lind, J.: Iterative software engineering for multiagent systems: The MASSIVE method. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001.
- [Li06] Lienig, J.: Layoutsynthese elektronischer Schaltungen: Grundlegende Algorithmen für die Entwurfsautomatisierung. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [Lü03] Lüdecke, A.: Simulationsgestützte Verfahren für den Top-Down-Entwurf heterogener Systeme. Universität Duisburg-Essen, 2003.
- [Mo80] Mogens M., A.: Machine Design Methods Based on a Systemic Approach: A Contribution to a Design Theory. Schweden, 1980.
- [MS99] Malmqvist, J.; Svensson, D.: A Design Theory Based Approach Towards Including QFD Data in Product Models. In (Otto, K. N.; Thurston, D. L., Hrsg.): 11th International Conference on Design Theory and Methodology. Bd. v. 3, American Society of Mechanical Engineers, New York, S. 295–306, 1999, ISBN: 9780791819739.
- [Pa07] Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [PB97] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997.
- [PL11] Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte: Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen. Springer, Berlin, 2011.
- [PP04] Pomberger, G.; Pree, W.: Software Engineering: Architektur-Design und Prozessorientierung. Hanser, München, 2004.
- [Pu91] Pugh, S.: Total design: Integrated methods for successful product engineering. Addison-Wesley, Wokingham/England, 1991.
- [Ra96] Rauscher, R.: Entwurfsmethodik hochintegrierter anwendungsspezifischer digitaler Systeme. Pro-Universitate, Sinzheim, 1996.
- [RJB99] Rumbaugh, J.; Jacobson, I.; Booch, G.: The unified modeling language reference manual: [the definitive reference to the UML from the original designers]. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1999.
- [Sc05] Schäppi, B.; Andreasen, M. M.; Kirchgeorg, M.; Radermacher, F.-J., Hrsg.: Handbuch Produktentwicklung. Hanser, München, 2005.
- [St13] Stephan, N. K.: Vorgehensmodell zur Unterstützung der interdisziplinären und förderierten Zusammenarbeit in der frühen Phase der Produktentstehung: Am Beispiel der Nutzfahrzeugindustrie: Zugl.: Kaiserslautern, Techn. Univ., Diss., 2013. Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013.
- [VD04] VDI: 2206 – Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, Berlin, 2004.
- [VD93] VDI: 2221 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Berlin, 1993.
- [VD94] VDI/VDE: 2422 – Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik, Berlin, 1994.
- [Wa85] Walker, R.: Applied Qualitative Research. Gower, Aldershot, Hants., 1985.

Modellbasierter Entwicklungsprozess cybertronischer
Systeme

Der PLM-unterstützte Referenzentwicklungsprozess für
Produkte und Produktionssysteme

Eigner, M.; Koch, W.; Muggeo, C. (Hrsg.)

2017, XIV, 247 S. 120 Abb., 58 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-662-55123-3