

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE VERBAND DER ELEKTROTECHNIK ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK	Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme Development of mechatronic and cyber-physical systems	VDI/VDE 2206 Ausg. deutsch/englisch Issue German/English
--	---	---

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note.....	2
Einleitung	2	Introduction.....	2
1 Anwendungsbereich	2	1 Scope	2
2 Begriffe	3	2 Terms and definitions	3
3 Abkürzungen	8	3 Abbreviations	8
4 Hintergründe der Überarbeitung	8	4 Background to the revision	8
4.1 Motivation.....	8	4.1 Motivation	8
4.2 Überarbeitungs- und Aktualisierungsbedarfe	9	4.2 Needs for revision and updating	9
4.3 Zielgruppe.....	10	4.3 Target group	10
4.4 Einordnung der Richtlinie.....	10	4.4 Classification of the standard.....	10
5 Entwicklung mechatronischer und cyber- physischer Systeme	11	5 Development of mechatronic and cyber-physical systems	11
5.1 System und Systemgrenze	11	5.1 System and system boundary.....	11
5.2 Charakterisierung mechatronischer und cyber-physischer Systeme.....	11	5.2 Characterisation of mechatronic and cyber-physical systems	11
5.3 Potenziale der Digitalisierung und Vernetzung.....	16	5.3 Potentials of digitalization and networking.....	16
5.4 Besonderheiten bei der Entwicklung	17	5.4 Special features of the development	17
6 Entwicklungsmethodik für mechatronische und cyber-physische Systeme	18	6 Development methodology for mechatronic and cyber-physical systems	18
6.1 Einordnung in den Produktlebenszyklus	18	6.1 Classification in the product life cycle	18
6.2 Das V-Modell zur Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme.....	19	6.2 The V-model for the development of mechatronic and cyber-physical systems	19
6.3 Kernaufgaben im mittleren Strang.....	25	6.3 Core tasks in the middle strand.....	25
6.4 Aufgaben im inneren und äußeren Strang.....	34	6.4 Tasks in the inner and outer strand	34
6.5 Verschachtelung des V-Modells zur Ableitung einer zeitlichen Abfolge	37	6.5 Nesting of the V-model to derive a temporal sequence	37
7 Hauptmerkmalliste für mechatronische und cyber-physische Systeme	38	7 Main-feature list for mechatronic and cyber-physical systems	38
Anhang Leitfragen zur Hauptmerkmalliste für mechatronische und cyber- physische Systeme	45	Annex Guiding questions for the main feature list for mechatronic and cyber-physical systems	55
Schrifttum	65	Bibliography	65
Benennungsindex.....	67	Term index.....	67

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

Fachbereich Mechatronik, Robotik und Aktorik

VDI/VDE-Handbuch Automatisierungstechnik
VDI/VDE-Handbuch Mikro- und Feinwerktechnik
VDI-Handbuch Produktentwicklung und Konstruktion

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2206.

Einleitung

Ingenieurwissenschaftliche Anwendungen sind durch ein enges Zusammenwirken der Disziplinen Mechanik, Elektrotechnik und Softwaretechnik gekennzeichnet. Für die Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme ist ein systematisches Vorgehen unabdingbar. Zu diesem Zweck wurde im Jahr 2004 die Richtlinie VDI 2206 veröffentlicht. Durch die zunehmende Vernetzung mit dem Internet der Dinge und Dienste sowie der hohen Interdisziplinarität, Komplexität und Heterogenität der Systeme ist eine Überarbeitung dieser Richtlinie notwendig geworden.

Die Überarbeitung und Erweiterung der Methodik um cyber-physische Aspekte entstand im VDI/VDE-Fachausschuss 4.10 „Interdisziplinäre Produktentstehung“ der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA). Die neue Richtlinie beinhaltet eine grundsätzliche Überarbeitung des V-Modells (siehe Abschnitt 6) sowie die Verwendung neuer Hilfsmittel für die interdisziplinäre Produktentwicklung. Die Richtlinie schärft damit das Verständnis für Erweiterungen von mechatronischen Systemen um cyber-physische Funktionen.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie gilt für alle Aufgaben in der Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme. Sie umfasst die Darstellung der sachlogischen Zusammenhänge mit dem Ziel, Anwender in die Lage zu versetzen, ein komplexes technisches System erfolgreich entwickeln zu können.

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at www.vdi.de/2206.

Introduction

Engineering applications are characterized by close interaction between the disciplines of mechanical, electrical engineering and software engineering. A systematic approach is indispensable for the development of mechatronic and cyber-physical systems (CPS). For this purpose, the standard VDI 2206 was published in 2004. Due to the increasing networking with the Internet of Things and Services as well as the high interdisciplinarity, complexity, and heterogeneity of the systems, a revision of this standard has become necessary.

The revision and extension of the methodology to include cyber-physical aspects originated in the VDI/VDE Technical Committee 4.10 “Interdisciplinary Product Development” of the VDI/VDE Society Measurement and Automatic Control (GMA). The new standard includes a fundamental revision of the V-model (see Section 6) as well as the use of new tools for interdisciplinary product development. The standard thus sharpens the understanding for extensions of mechatronic Systems by cyber-physical functions.

1 Scope

This standard applies to all tasks in the development of mechatronic and cyber-physical systems. It covers the presentation of the inherent factual logic with the aim of enabling users to successfully develop a complex technical system.

Die Richtlinie macht dabei keine Vorgaben, welche Methoden oder Werkzeuge oder welche Form der Projektorganisation genutzt werden soll, sondern dient dem Anwender als sachlogisches Rahmenwerk und der Orientierung für die interdisziplinäre Entwicklung von mechatronischen und cyber-physischen Systemen. Der Anwender soll anhand dieses Rahmenwerks individuelle Ansätze für seine praktische Anwendung ableiten können.

The standard does not specify which methods or tools or which form of project organization should be used, but serves the user as a factual framework and orientation for the interdisciplinary development of mechatronic and cyber-physical systems. The user should be able to derive individual approaches for his practical application based on this framework.

Schrifttum / Bibliography**Technische Regeln / Technical rules**

DIN 69901-5:2009-01 Projektmanagement; Projektmanagementsysteme; Teil 1: Grundlagen (Project management; Project management systems; Part 5: Concepts). Berlin: Beuth Verlag

IEEE 610.12*ANSI 610.12:1990 Glossary of software engineering terminology (Fachwörterbuch der Terminologie der Softwaretechnik). Piscataway Township, NJ: IEEE Standards Association. Zurückgezogen / Withdrawn 2010, Nachfolgedokument / Following document ISO/IEC/IEEE 24765

ISO/IEC Guide 2:2004-11 Standardization and related activities; General vocabulary (Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten; Allgemeine Begriffe). Berlin: Beuth Verlag

ISO/IEC/IEEE 24765:2017-09 System und Software-Engineering; Begriffe (Systems and software engineering; Vocabulary). Piscataway Township, NJ: IEEE Standards Association

SEV 1011:2009-12 Stecker und Steckdosen für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke (Plugs and socket-outlets for household and similar purposes). Fehraltorf: Electrosuisse

SN EN 50075:1990-00 Flache, nichtwiederanschliessbare, zweipolige Stecker, 2,5 A 250 V, mit Leitung, für die Verbindung von Klasse II-Geräten für Haushalt und ähnliche Zwecke (Flat non-rewirable two-pole plugs, 2.5 A 250 V, with cord, for the connection of class II-equipment for household and similar purposes). Fehraltorf: Electrosuisse

VDI 1000:2021-02 VDI-Richtlinienarbeit; Grundsätze und Anleitungen (VDI Standardisation Work; Principles and procedures). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2209:2009-03 3-D-Produktmodellierung; Technische und organisatorische Voraussetzungen; Verfahren, Werkzeuge und Anwendungen; Wirtschaftlicher Einsatz in der Praxis (3D product modelling; Technical and organizational requirements; Procedures, tools, and applications; Cost-effective practical use). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2220:1980-05 Produktplanung; Ablauf, Begriffe und Organisation (Product planning; flow, terms and organization). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2221 Entwicklung technischer Produkte und Systeme (Design of technical products and systems). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2222 Konstruktionsmethodik (Design engineering methods). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2223:2004-01 Methodisches Entwerfen technischer Produkte (Systematic embodiment design of technical products). Berlin: Beuth Verlag

VDI-MT 2807:2019-01 Teamarbeit; Anwendung in Wertanalyse-/Value-Management-Projekten (Teamwork; Application in value analysis/value management projects). Berlin: Beuth Verlag

Literatur / Literature

- [1] Roddeck, W.: Einführung in die Mechatronik. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2019
- [2] Haberkellner, R.: Systems Engineering. Orell Füssli, 2012
- [3] Pohl, K.; Rupp, C.: Requirements engineering fundamentals. Rocky Nook, 2015
- [4] Walden, D.D.; Roedler, G.J.; Forsberg, K.; Hamelin, R.D.; Shortell, T.M.: Systems engineering handbook. Wiley, 2015
- [5] Stark, R.; Thoben, K.-D.; Gerhard, D.; Hick, H.; Kirchner, E.; Anderl, R.; Wartzack, S.; Krause, F.-L.; Grässler, I.; Pottebaum, J.; Schleich, B.; Stelzer, R.; Hick, H.K.; Klein, P.K.; Saske, B.K.; Czwick, C.; Gogineni, S.; Klimmeck, L.; Bajzek, M.; Jacobs, G.; Berroth, J.; Zimmermann, T.; Kranzbitl, P.; Göckel, N.: WiGeP Positionspapier – Digitaler Zwilling. 2020
- [6] Lingens, B.; Gassmann, O.: Das Ende des Branchendens. In: Die Volkswirtschaft, 2018

- [7] Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung. Hanser, 2013
- [8] Mattmann, I.; Gramlich, S.; Klobberdanz, H.: Mapping requirements of product properties: The mapping model. In: Design Society (ed.): Proceedings of the DESIGN 2016, 14th International Design Conference, 2016, S. 33–44
- [9] Osterwalder, A.; Pigneur, Y.; Clark, T.: Business model generation. Wiley, 2010
- [10] Gräßler, I.; Dattner, M.; Bothen, M.: Main Feature List as core success criteria of organizing Requirements Elicitation. In: R&D Management Conference 2018, 2018, S. 1–16
- [11] Bender, B.; Gericke, K.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Berlin, Heidelberg: Springer, 2021
- [12] Gräßler, I.: Competitive Engineering in the Age of Industry 4.0 and Beyond. In: Proceedings of TMCE. Las Palmas de Gran Canaria, 2018
- [13] Baum, G.: Innovationen als Basis der nächsten Industrievolution. In: Sendler, U. (Hrsg.): Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013
- [14] Gabler Wirtschaftslexikon. Springer Gabler, 2019
- [15] Isermann, R.: mechatronische Systeme. Springer, 2008
- [16] International Council on Systems Engineering: Systems Engineering Vision 2020. INCOSE, 2007
- [17] Eigner, M.: System Lifecycle Management. Springer Vieweg, 2021
- [18] Vajna, S.; Weber, C.; Zeman, K.; Hehenberger, P.; Gerhard, D.; Wartzack, S.: CAX für Ingenieure. Springer Vieweg, 2018
- [19] Müller, M.; Hörmann, K.; Dittmann, L.; Zimmer, J.: Automotive SPICE® in der Praxis. dpunkt.verlag, 2016
- [20] Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. Springer, 2007
- [21] VDI: Statusreport Industrie 4.0. VDI Verlag, 2019
- [22] Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Springer, 2011
- [23] Eigner, M.; Gilz, T.; Zafirov, R.: Proposal for Functional Product Description as Part of a PLM Solution in Interdisciplinary Product Development. In: Design Society (Hrsg.): Proceedings of the DESIGN 2012, 2012, S. 1667–1676
- [24] Gräßler, I.: Umsetzungsorientierte Synthese mechatronischer Referenzmodelle. In: Konferenzband der VDI Mechatronik, 2015, S. 167–172
- [25] Daigl, M.; Glunz, R.: ISO 29119 – Die Softwaretest-Normen verstehen und anwenden. dpunkt.verlag, 2016
- [26] Gräßler, I.; Hentze, J.; Bruckmann, T.: V-Models for Interdisciplinary Systems Engineering. In: Design Society (Hrsg.): Proceedings of the DESIGN 2018, 15th International Design Conference, 2018, S. 747–756
- [27] Gräßler, I.; Hentze, J.; Yang, X.: Eleven Potentials for Mechatronic V-Model. In: Villmer, F.-J.; Padoanao, E. (eds.): Production Engineering and Management, 2016, S. 257–268
- [28] Gräßler, I.; Hentze, J.: Enriching Mechatronic V-Model by Aspects of Systems Engineering. In: Araujo, M.S. (Hrsg.): Smart Structures and Materials, 2015, S. 80–86
- [29] Harashima, F.; Tomizuka, M.; Fukuda, T.: Mechatronics – What Is It, Why, and How? In: IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Jg. 1, Nr. 1, 1996, S. 1–4
- [30] Gräßler, I.: Kundenindividuelle Massenproduktion. Berlin, Heidelberg, New York u. a.: Springer; Berlin, Heidelberg: Springer, 2004
- [31] Knöchelmann, M.; Ley, P.-P.; Kloppenburg, G.; Mozgova, I.; Lachmayer, R.: Methodische Entwicklung eines optomechatronischen Systems am Beispiel eines hochadaptiven Fahrzeugscheinwerfers. In: Fachtagung Mechatronik 2019

- [32] *Czichos, H.* (Hrsg.): *Mechatronik*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag/GWV Fachverlage GmbH, 2008
- [33] *Vajna, S.* (ed.): *Integrated Design Engineering*. Springer Vieweg, 2020
- [34] *Wallaschek, J.*: Modellierung und Simulation als Beitrag zur Verkürzung der Entwicklungszeiten mechatronischer Produkte. In: VDI (Hrsg.): *VDI-Berichte*, 1995, S. 35–50
- [35] *Acatech: Cyber-Physical Systems*. Springer, 2011
- [36] *Gill, H.*: *Cyber-Physical Systems*. NSF, 2006
- [37] *Broy, M.*: *Cyber-Physical Systems*. Springer-Verlag, 2010
- [38] *Wang, L.; Wang, G.*: Big Data in Cyber-Physical Systems, Digital Manufacturing and Industry 4.0. In: *International Journal of Engineering and Manufacturing*, Jg. 6, Nr. 4, 2016, S. 1–8
- [39] *Schoenthaler, F.; Augenstein, D.; Karle, T.*: Design and Governance of Collaborative Business Processes in Industry 4.0. In: *Proceedings of the Workshop on Crossorganizational and Cross-company BPM (XOC-BPM)*, 2015
- [40] *Lee, J.; Bagheri, B.; Kao, H.-A.*: A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. In: *Manufacturing Letters*, Jg. 3, 2015, S. 18–23
- [41] *Monostori, L.; Kádár, B.; Bauernhansl, T.; Kondoh, S.; Kumara, S.; Reinhart, G.; Sauer, O.; Schuh, G.; Sihm, W.; Ueda, K.*: Cyber-physical systems in manufacturing. In: *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Jg. 65, Nr. 2, 2016, S. 621–641
- [42] *Graessler, I.; Hentze, J.*: The new V-Model of VDI 2206 and its validation. In: *at – Automatisierungstechnik*, Jg. 68, Nr. 5, 2020, S. 312–324
- [43] *Lee, E. A.*: Cyber Physical Systems. In: *11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing*, 2008, S. 363–369
- [44] *Bauernhansl, T.*: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Springer Vieweg, 2014
- [45] *Gräßler, I.; Pöhler, A.; Hentze, J.*: Decoupling of Product and Production Development in Flexible Production Environments. In: *27th CIRP Design Conference*, 2017, S. 548–553
- [46] *Gräßler, I.; Pottebaum, J.; Taplick, P.; Roesmann, D.; Preuß, D.*: Unterstützung des Lernens für kritische Situationen: Potenzial von Augmented Reality für die Instandsetzung auf See. In: *Freiherr von Lukas, U.* (Hrsg.): *Go-3D 2019*, Fraunhofer Verlag, 2019, S. 45–57
- [47] *acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: Smart Service Welt*. Acatech, 2014
- [48] *Boehm, B. W.*: Guidelines for Verifying and Validating Software Requirements and Design Specifications. In: *Samet, P. A.* (Hrsg.): *Euro IFIP 79*, North Holland, 1979, S. 711–719
- [49] *Bröhl, A.-P.*: *Das V-Modell*. Oldenbourg, 1995
- [50] *Bender, K.*: *Embedded Systems*. Springer, 2005
- [51] *Anderl, R.; Nattermann, R.; Rollmann, T.*: *Das W-Modell – Systems Engineering in der Entwicklung aktiver Systeme*. Technische Universität Darmstadt, 2012
- [52] *SE Handbook Working Group (INCOSE): Systems Engineering Handbook – A Guide for System Life Cycle Processes And Activities*. INCOSE, 2011
- [53] *Beier, G.; Rothenburg, U.; Woll, R.; Stark, R.*: *Modellbasiertes Systems Engineering – Durchgängige Entwicklung mit erlebbaren Prototypen*. Fraunhofer IPK, 2012
- [54] *U.S. Department of Transportation: Systems Engineering Guidebook for Intelligent Transportation Systems*. U.S. Department of Transportation, 2009
- [55] *Eigner, M.; Dickopf, T.; Apostolov, H.* (eds.): *System Lifecycle Management – An Approach for Developing Cybertronic Systems in Consideration of Sustainability Aspects*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2017
- [56] *Ebert, C.*: *Systematisches Requirements Engineering*. dpunkt-Verlag, 2012
- [57] *Gräßler, I.; Haas, V.; Suchowskyj, W.*: Innovation Based on Applying Design Methodology. In: *Horváth, I.; Rusák, Z.; Albers, A.; Behrendt, M.* (eds.): *TMCE 2012*, Faculty of Industrial Design Engineering Delft University of Technology, 2012, S. 37–43
- [58] *Cooper, R.G.*: Stage-gate systems. In: *Business Horizons*, Jg. 33, Nr. 3, 1990, S. 44–54
- [59] *Gräßler, I.; Hentze, J.; Pöhler, A.*: Self-organizing production systems: Implications for product design; Self-organizing production systems. In: *12th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*, 2018, S. 546–550
- [60] *Weilkiens, T.*: *Systems Engineering mit SysML/UML*. dpunkt, 2014
- [61] *Stark, R.; Damerau, T.*: Digital Twin. In: *Chatti, S.; Tolio, T.* (eds.): *International Academy for Production Engineering*. Springer, 2019
- [62] *Friedenthal, S.; Moore, A.; Steiner, R.*: *A practical guide to SysML*. Elsevier; Morgan Kaufmann, 2015
- [63] *Blumör, A.; Pregitzer, G.; Bothen, M.*: *Werkzeuge für die Entwicklung mechatronischer Systeme mit Methoden des MBSE*. In: *Tag des Systems Engineering – Paderborn*, 8.–10. November 2017. Carl Hanser Verlag, 2017, S. 193–202
- [64] *Pohl, K.; Hönninger, H.; Achatz, R.; Broy, M.*: *Model-Based Engineering of Embedded Systems*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2012
- [65] *Wynn, D. C.; Caldwell, N. H. M.; Clarkson, P. J.*: *Can Change Prediction Help Prioritise Redesign Work in Future Engineering Systems?*
- [66] *Pahl, G.; Beitz, W.*: *Konstruktionslehre*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1977
- [67] *Feldhusen, J.; Grote, K.-H.* (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre*. Springer, 2013

Downloads

Kostenloser Download der Grafik zum V-Modell:
<https://www.vdi.de/richtlinien/programme-zu-vdi-richtlinien/vdi-2206> (abgerufen am / accessed on 26. August 2021)