

Walter Schmidt

Effektivität von Iterationen in der Produktentwicklung

„Effektivität von Iterationen in der Produktentwicklung“

„Effectiveness of Iterations in Product Development“

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule
Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Walter Schmidt

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Feldhusen
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manuel Löwer

Tag der mündlichen Prüfung: 13. September 2019

Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionsmethodik

Band 27

Walter Schmidt

Effektivität von Iterationen in der Produktentwicklung

Shaker Verlag
Düren 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2019)

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7131-3

ISSN 1438-4930

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Zusammenfassung / Summary

In der vorliegenden Arbeit wird die Effektivität iterativer Prozesse bei der Entwicklung technischer Produkte modelliert und darauf aufbauend eine Leitlinie für die Praxis abgeleitet. Dazu wird vorgestellt, mit welchen Eigenschaften iterative Prozesse in unterschiedlichen Domänen und bestehenden Vorgehensmodellen in Erscheinung treten und es wird geklärt, wie es zur Iteration kommt und warum Iterationen nötig sind. Die Betrachtung der Produktentwicklung als eine Form von Problemlösen führt zur detaillierten Analyse der dafür benötigten kognitiven Fähigkeiten eines Menschen. Hier werden wesentliche Zusammenhänge für die Modellierung der Iterationsmechanik im Entwicklungsprozess identifiziert. Als Modellansatz wird der Dualismus aus Wissen und Handeln innerhalb iterativer Vorgänge genutzt. Grundsätzliche Bestandteile des Modells sind das Wissensmanagement, die Erkenntnis, die Handlungseffektivität, die Lösungsreife, der Lerneffekt durch Wiederholung, die Handlungs- und die Informationsweite. Das Modell und die Leitlinie zur Iteration werden durch konkrete Praxisbeispiele für die Anwendung vorbereitet und können so zur Untersuchung und Lenkung iterativer Prozesse dienen, um ihre Effektivität sicherzustellen.

In this thesis, the effectiveness of iterative processes in the development of technical products is modeled and a practical guideline is derived. The properties of iterative processes in different domains and existing process models are presented and the origin and necessity of iterations are closely examined. A consideration of product development as a form of problem solving leads to a detailed analysis of the required cognitive abilities of a human being. Here essential correlations for modeling the iteration mechanics in the development process are identified. The modeling approach utilized is based on the dualism of knowledge and operation within iterative processes. Fundamental components of the model are knowledge management, cognition, operation effectiveness, solution maturity, learning effect through repetition, operation- and information-range. Specific practical examples demonstrate the application possibilities of the model and the iteration guideline, which can thus be used for the analysis and control of iterative processes in order to ensure their effectiveness.

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am ehemaligen Lehrstuhl und Institut für Allgemeine Konstruktionstechnik des Maschinenbaus (ikt, heute iMSE) der RWTH Aachen. Den vielseitigen Herausforderungen im Bereich der Lehre, den Industrie- und Forschungsprojekten rund um die Produktentwicklung verdanke ich heute einen sehr kostbaren Erfahrungsschatz.

Meinem Doktorvater Prof. Jörg Feldhusen danke ich für die Möglichkeit zur Promotion, die sehr angenehmen Diskussionen und die wertvollen Impulse für die Arbeit.

Prof. Manuel Löwer danke ich für das Koreferat und Prof. Burkhard Corves für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, insbesondere meiner Frau Marie für die unendliche Geduld und den Ansporn.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Aufbau der Arbeit	3
2	Der Iterationsbegriff in unterschiedlichen Domänen	5
2.1	Iteration in der Mathematik	8
2.2	Iteration in der Projektkoordination	9
2.2.1	Das Wasserfallmodell	9
2.2.2	Das V-Modell	10
2.2.3	Das Spiralmodell	11
2.2.4	PDCA	12
2.2.5	DMAIC	12
2.2.6	Stage-Gate	12
2.3	Iteration in der Softwareentwicklung	13
2.3.1	Agiles Manifest	13
2.3.2	Scrum	14
2.3.3	TDD – Test-Driven Development	14
2.3.4	FDD – Feature Driven Development	15
2.3.5	Extreme Programming	16
2.4	Iteration in der Produktenwicklung	17
2.4.1	Ansätze mit konstruktionsmethodischem Fokus	18
2.4.2	Ansätze mit iterationsmethodischem Fokus	21
2.5	Zusammenfassung	26
3	Problem und Problemlösen	29
3.1	Problemlösen als Prozess	29
3.2	Klassifizierung von Problemen	34
3.3	Problemkomplexität	35
3.4	Kognitive Kapazität	37
3.5	Zusammenfassung	43
4	Iterationsmodell für die Produktentwicklung	45
4.1	Hypothesen	46
4.2	Handlungseffektivität	46

4.3	Reife	50
4.4	Handlungsweite	55
4.5	Informationsweite und Systemantwort.....	60
4.6	Erkenntnis.....	62
4.7	Wiederholung.....	67
4.8	Modellbildung.....	70
4.9	Zusammenfassung	73
5	Effektives Iterieren in der Produktentwicklung.....	77
5.1	Zielformulierung	77
5.2	Einsicht	78
5.3	Vorgehensplan.....	81
5.4	Erster Schritt und Schrittweite	84
5.5	Priorisierung.....	89
5.6	Kontrolle durch Vergleich	91
5.7	Korrektur und Ergänzung	93
5.8	Routine durch Wiederholung.....	97
5.9	Zusammenfassung	98
6	Zusammenfassung und Ausblick	101
6.1	Zusammenfassung	101
6.2	Ausblick	103
7	Literaturverzeichnis.....	105

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zielscheibe mit Punktbewertung der Treffer-Effektivität	2
Abbildung 2: Mechanismus der Schubkurbel als Analogie zur Iteration	5
Abbildung 3: Mengendiagramm der Begriffe aus dem Umfeld des Begriffs „iterativ“ in der Produktentwicklung	6
Abbildung 4: Rekursive Prozessmodelle nach Konstruktionszeit (vgl. Ehrlenspiel 2009, S. 275).....	7
Abbildung 5: Vereinfachtes Vorgehen in der Softwareentwicklung (vgl. Royce 1970)	9
Abbildung 6: Spiralmodell der Softwareentwicklung nach Boehm (vgl. Boehm 1988)	11
Abbildung 7: Prozessmodell des Feature Driven Development (vgl. DeLuca 2017)	16
Abbildung 8: Ebenenmodell für Konstruktionsarbeitsschritte (vgl. Feldhusen und Grote 2013, S. 13)	18
Abbildung 9: Mikrozyklus innerhalb des Vorgehens nach VDI 2206 (vgl. VDI-Richtlinie 2206).....	20
Abbildung 10: Sechs Perspektiven auf Iterationen (vgl. Wynn et al. 2007)	21
Abbildung 11: Evolutionsfunktion nach Krishnan (vgl. Krishnan et al. 1997).....	23
Abbildung 12: 2X2 Sequentielle Iteration DSM und Markow-Entscheidungskette (vgl. Smith und Eppinger 1997).....	24
Abbildung 13: Zweck von Prototypen im Verlauf der Produktentwicklung als das Ergebnis der Beobachtung mehrerer Entwicklungsteams (vgl. Böhmer 2017).....	25
Abbildung 14: Kognitive Kapazität, Aufgabe und Problem in Analogie zu Zahnrädern eines Getriebes	30
Abbildung 15: Verschiebung der Ein- und Auskopplungspunkte durch Ausnutzung der Selbstähnlichkeit von Iterationen	32
Abbildung 16: Verschachtelte Schleifen im Arbeitsschritt 5 der VDI 2221 (vgl. Lemburg 2009).....	33
Abbildung 17: Klassifizierung von Problemen anhand des Barrieretyps (vgl. Dörner 1976).....	35
Abbildung 18: Steigerung der Rotationsgeschwindigkeit bzw. der kognitiven Leistungsfähigkeit mit zunehmender Übung bei Kindern und Erwachsenen nach Anderson (vgl. Anderson 2007, S. 507)	42
Abbildung 19: Handlungseffektivität aus Handlungszuversicht und Störgröße	47
Abbildung 20: Hierarchischer Zusammenhang zwischen Handlungseffektivität und Erkenntnis angelehnt an (North 2002).....	49

Abbildung 21: Reifegrad der Technologie, der Produktgeneration und der Produktiteration (vgl. Brezing 2006, S. 32).....	52
Abbildung 22: Möglichkeit der Kostenbeeinflussung als Inverse der Reife (vgl. Ehrlenspiel 2009, S. 615).....	53
Abbildung 23: Progressiv zunehmendes Entwicklungsrisiko durch Projektfortschritt (vgl. Feldhusen et al. 2009).....	54
Abbildung 24: Reife als Analogie zur Entfernung zwischen zwei Punkten	55
Abbildung 25: Handlungsweite zwischen Ergebnis und Ziel.....	56
Abbildung 26: Festlegungen und Ergänzungen bei Zwischenergebnissen für ein Strukturbauteil.....	57
Abbildung 27: Ideale und reale Reife durch abnehmende Handlungseffektivität über die Zeit.....	59
Abbildung 28: Frage und Antwort in Analogie zu Synthese und Analyse.....	61
Abbildung 29: Selbstähnlichkeit von Realitätsbereichen bestehend aus Operatoren und Sachverhalten	63
Abbildung 30: Initiales Wissen und benötigte Iterationsschritte in Abhängigkeit voneinander	64
Abbildung 31: Wissenstreppe nach North (vgl. North 2002)	65
Abbildung 32: Erhöhung der Handlungseffektivität und des Reifegewinns durch Erkenntnis.....	66
Abbildung 33: Erkenntnis am Beispiel der iterativen Annäherung zwischen zwei Punkten	67
Abbildung 34: Wiederholung führt durch den Lerneffekt zu einer Beschleunigung der Operation	68
Abbildung 35: Reifeentwicklung einer Aufgabe mit und ohne Iteration	71
Abbildung 36: Reifeentwicklung bei Aufgaben und bei Problemen mit und ohne Iteration.....	72
Abbildung 37: Fortschrittsentwicklung bei Vorgehen nach dem iterativen bzw. nach dem Wasserfallmodell (vgl. Oestereich et al. 2014).....	73
Abbildung 38: Stacey Matrix zur Ableitung des Iterationsbedarfs bei einem Projekt in Abhängigkeit von der Klarheit des Ziels und des Wegs (vgl. Dietrich 2019).....	79
Abbildung 39: Tatsächlicher und erkennbarer Iterationsbedarf in Abhängigkeit der Ähnlichkeit zu bekannten Problemen	80
Abbildung 40: Unsicherheit in der Planung von iterativen Entwicklungsprozessen (vgl. Larman 2012).....	82
Abbildung 41: Entscheidungsbaum zur Steuerung des iterativen Vorgehens.....	84
Abbildung 42: Annäherung zwischen zwei Punkte in Analogie zur Reifeentwicklung bei vollständig fehlendem Wissen zu Iterationsbeginn	86

Abbildung 43: Allgemeine Abhängigkeit zwischen dem Reifewachstum und der Effektivität von Iterationsschritten bei der Lösung eines Problems.....	87
Abbildung 44: Funktionale Autonomie eines Wirkflächenverbundes bei integraler Produktarchitektur.....	88
Abbildung 45: Priorisierung effektiver Handlungen erhöht die Handlungseffizienz für die Dauer der Handlungskette.....	90
Abbildung 46: Annotationen direkt auf dem Objekt verbessern die Informationsverfügbarkeit.....	92
Abbildung 47: Materialflusskorrektur bei einem 3D-Drucker während des Druckprozesses mit Hinweis auf den bisher eingestellten Wert.....	93
Abbildung 48: Änderung von Merkmalen aufgeschlüsselt in Korrekturen und Ergänzungen (vgl. Conrat Niernerg 1997, S. 131).....	94
Abbildung 49: Illustration der Auswirkungen von mangelhafter Beachtung der Grundsätze zur effektiven Iteration.....	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Handlungsgruppen für iteratives Vorgehen innerhalb einer Schrittweite	58
Tabelle 2: Begriffe als Indikatoren für Bestandteile des iterativen Vorgehens	62
Tabelle 3: Analoge Begriffe zwischen Analyse und Synthese	74
Tabelle 4: Frageliste zur richtigen Einschätzung der Problemkomplexität	80