

## Sprintplanung in der Mechatroniksystementwicklung auf Basis von Referenzsystemelementen

Holger Wessels, Jonas Heimicke, Simon Rapp, Patric Grauberger, Thilo Richter,  
Sven Matthiesen, Albert Albers

*KIT – Karlsruher Institut für Technologie*

*IPEK – Institut für Produktentwicklung*

*Kaiserstr. 10, 76131 Karlsruhe*

*Email: sekretariat@kit.edu Internet: <http://www.ipek.kit.edu>*

**Inhalt:** Der Einsatz bereits bestehenden Produktwissens wird in agilen Ansätzen nicht durch spezifische Mechanismen in den Prozess eingebracht. Im vorliegenden Beitrag wird untersucht, wie die Planung von Sprints in der Mechatroniksystementwicklung auf Basis von bestehendem Produktwissen unterstützt werden kann. Das Wissen steht den Entwicklern unter anderem in Form der Referenzsystemelemente und Entwicklungsgenerationen zur Verfügung. Es wird untersucht, wie sich die Vorgehensweise im Projekt in Abhängigkeit der jeweiligen Variationsart am technischen System und der Verfügbarkeit über Wissen über den Gestalt-Funktions-Zusammenhängen der Referenzsystemelemente verändert. Als Untersuchungsumgebung dient ein studentisches Entwicklungsprojekt.

**Stichwörter:** Sprintplanung; Mechatroniksystementwicklung; Produktgenerationsentwicklung; Gestalt-Funktions-Zusammenhang.

## Sprint planning in mechatronic system development based on reference system elements

**Abstract:** In agile approaches, the use of existing product knowledge is not introduced into the process through specific mechanisms. This paper examines how the planning of sprints in mechatronic system development can be supported on the basis of existing product knowledge. The knowledge is available to the developers in the form of reference system elements and development generations. It will be investigated how the approach in the project changes depending on the respective type of variation in the technical system and the availability of knowledge about the shape-function correlations of the reference system elements. A student development project serves as a research environment.

**Keywords:** Sprint planning; mechatronic system development; product generation engineering; embodiment-function relation

## 1 Einleitung

Entwicklungsprozesse sind aufgrund von Unsicherheiten und Dynamik hinsichtlich einer Langfristplanung wenig robust. Diese sind jedoch keine neuartigen Phänomene, sondern stete Begleiter des Produktentwicklers. [1] Agile Ansätze, welche zum Teil aus dem Gebiet der Softwareentwicklung stammen, – bekannte Vertreter sind Scrum oder Design Thinking – stellen neuartige Antworten im Umgang mit Unsicherheiten dar [2]. Durch eine kurzfristige Planung iterativer Entwicklungsphasen gepaart mit einer *fail fast – fail often* – Mentalität versprechen sie eine zunehmende Robustheit in der Entwicklung von Produkten, beispielsweise gegenüber wechselnden Kundenanforderungen [3, 4]. Dabei gelangen Entwicklerteams durch den frühen und kontinuierlichen Einsatz von Prototypen bereits nach kurzen Entwicklungszeiten an essentielle Erkenntnisse hinsichtlich der Erfüllung angestrebter Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen. Allerdings ist die Übersetzung von Nutzenversprechen in konkrete technische Ziele in herkömmlichen agilen Ansätzen ein Produkt zufälliger jedoch durch das Schaffen von Freiheitsgraden provoziertes Innovationsimpuls [5]. Der Einsatz bereits bestehenden Produktwissens wird in agilen Ansätzen nicht durch spezifische Mechanismen, sondern lediglich über die Erfahrung der Entwickler in den Prozess eingebracht [6]. Die Wahl der geeigneten Vorgehensweise (sequenziell/iterativ) als Resultat der Prozessgestaltung ist von zentraler Bedeutung. Hierzu fehlt es dem Entwickler bislang an geeigneter Unterstützung. Um ein erstes Verständnis hierfür zu generieren, soll im vorliegenden Beitrag untersucht werden, wie Sprints in der Mechatroniksystementwicklung auf Basis der Referenzsystemelemente und Entwicklungsgenerationen in Abhängigkeit der jeweiligen Variationsart und der Verfügbarkeit über Wissen über den Gestalt-Funktions-Zusammenhang geplant werden.

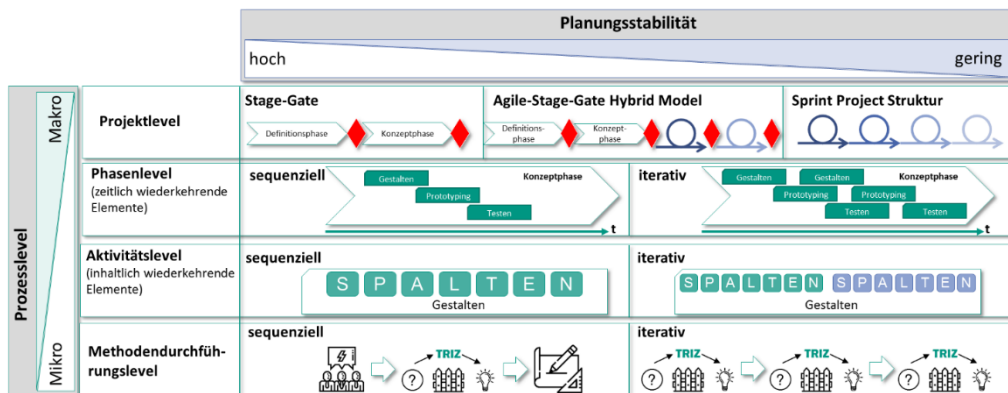
## 2 Stand der Forschung

### 2.1 Der Prozess der Produktentwicklung

Die Produktentwicklung unterliegt einer Vielzahl an Einflussfaktoren [7] die einen maßgeblichen Einfluss auf den Grad der Komplexität [8] im Entwicklungsprozess haben [9]. Werden Entwicklungsprojekte nun in einem sehr komplexen Kontext durchgeführt (bspw. das erstmalige Eintreten eines Unternehmens in ein hochdynamisches Umfeld), entbehrt einer

detaillierten Langzeitplanung die Stabilität der angenommenen Entwicklungsziele und demnach der Planungsstabilität [10]. Anders gesagt, lassen sich ständig ändernde Ziele eine Langzeitplanung auf Detailebene (Kapazitäten, Aktivitäten, Methoden, Anforderungen, ...) instabil werden. Aus diesem Grund werden Projekte in einem komplexen Umfeld vorzugsweise unter der Nutzung agiler Ansätze durchgeführt, um gegenüber notwendigen Änderungen im Entwicklungsprozess reaktionsfähig zu sein [11]. Demgegenüber stehen die klassischen, plangetriebenen Ansätze, die ihre Stärken in einer detaillierten Projektplanung haben, die aber nur in einem robusten Umfeld zur Geltung kommen [4]. Diese Ansätze vereint, dass sie eine vollständige Definition der Anforderungen an das Produkt in der ersten Phase verlangen, bevor die technische Gestaltung des Produktes erfolgt [12]. In der Mechatroniksystementwicklung finden zunehmend agile Ansätze Anwendung in der Prozessgestaltung [2]. Da diese jedoch ihren Ursprung teilweise in der Softwareentwicklung haben und in ihrer Ausrichtung eher die Entwicklung von Software als diejenige von physischen Produkten unterstützen, stoßen diese Ansätze in der Mechatroniksystementwicklung schnell an ihre Grenzen [2, 5]. Der Ansatz des ASD – Agile Systems Design basiert auf der Annahme, dass innerhalb von Produktentstehungsprozessen Problemstellungen mit unterschiedlichen Komplexitätsstufen co-existieren [9]. Aus diesem Grund beinhaltet dieser Ansatz Prozesselemente, um sowohl sequenzielle Vorgehensweisen unter gut planbaren Rahmenbedingungen als auch iterative Vorgehensweisen zur Wahrung der Reaktionsfähigkeit gegenüber ungeplanten Änderungen im Entwicklungsumfeld zu verfolgen. Iterationen können dabei geplant (klares Vorsehen von wiederkehrenden, gleichen Aktivitäten zur inkrementellen Reifegradsteigerung) oder erwartet (Aktivitäten können nicht wiederkehrend geplant werden, Kapazitäten jedoch bereits vorgesehen werden) sein; Sequenzen sind fest geplante, einmalig durchgeführte Aktivitäten in einer vorgegebenen Reihenfolge. [10]

Unter Berücksichtigung der 9 Grundprinzipien zur agilen Entwicklung mechatronischer Systeme, denen der Ansatz des ASD – Agile Systems Design folgt, wird es Entwicklerteams ermöglicht, auf unterschiedlichen Prozessebenen zwischen sequenziellen und iterativen Vorgehensweisen zu wählen (siehe Abbildung 1). Das maßgebliche Kriterium für die betrachtete Granularität ist die zu planende Prozessebene, während das Maß für die Auswahl der jeweiligen Vorgehensweise die Planungsstabilität [9] der Prozesselemente (Ziele, Phasen, Aktivitäten, Methoden, ...) ist. [10] Diese korreliert mit der Diskrepanz aus notwendigem und tatsächlich vorliegendem Wissen und unterstützt Entwickler in der situations- und bedarfsgerechten Kombination flexibler und strukturierender Prozesselemente [9].



**Abbildung 1: Wahl zwischen iterativem und sequenziellem Vorgehen auf unterschiedlichen Prozessebenen anhand der Planungsstabilität im ASD – Agile Systems Design [10] (übersetzt)**

## 2.2 Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Das Modell der PGE– Produktgenerationsentwicklung beschreibt die Entwicklung einer neuen Produktgeneration auf Basis eines Referenzsystems. Die Elemente des Referenzsystems können verschiedenen Quellen entstammen, wie beispielsweise der Vorgängergeneration oder sich in der Vorentwicklung befindenden Teilsystemen [13]. Diese Referenzsystemelemente stellen mit ihrer Gestalt und Lösungsprinzipien die Grundlage für die (Weiter-) Entwicklung mechatronischer Systeme dar [13]. Das Referenzsystem wird mittels Prinzip-, Gestalt- und Übernahmevariation (PV, GV, ÜV) in die nächste Produktgeneration überführt.

Diese Variationsarten können auch als Aktivitätsmuster der Produktentwicklung verstanden werden. Erste Untersuchungen ergaben die Hypothesen, dass eine Prinzip- und Gestaltvariation andere Muster von Produktentwicklungsaktivitäten zur Folge haben als eine Übernahmevariation, bei welcher der Fokus beispielsweise auf der Validierung der Systemintegration liegt [15]. Mithilfe der Variationsarten und dem daraus resultierenden Neuentwicklungsanteil (PV und GV) und der Charakteristika der Referenzsystemelemente, wie beispielsweise der Herkunft, welche Einfluss auf das verfügbare Wissen hat, lässt sich bereits früh in der Produktentwicklung das Entwicklungsrisiko abschätzen [16].

Wie in [16] beschrieben, kann die Entwicklung einer neuen Produktgeneration in die Entwicklung verschiedener Entwicklungsgenerationen unterteilt werden. Die Entwicklungsgenerationen stellen dabei unterschiedliche Stadien von Prototypen dar.

## 2.3 Gestalt-Funktion-Zusammenhang in der Mechatroniksystementwicklung

Um Gestalt-Funktion-Zusammenhänge (GFZ) in der Konstruktion zu verstehen und nutzen zu können, kann der C&C<sup>2</sup>-Ansatz [17, 18] genutzt werden, mit dem Denkprozesse in der Konstruktion unterstützt werden. Er stellt spezielle Elemente bereit, die den Entwickler bei der Analyse und Synthese technischer Systeme unterstützen, indem mit ihnen visuelle Modelle der Zusammenhänge von Gestalt und Funktion gebildet werden können. Mit dem C&C<sup>2</sup>-Ansatz lässt sich das betrachtete System durch die drei Elemente Wirkflächenpaar, Leitstützstruktur und Connector unter Betrachtung der Grundhypothesen und Anwendungsregeln analysieren und dokumentieren [19]. Eine Übersicht über den C&C<sup>2</sup>-Ansatz und seine Elemente gibt Abbildung 2.

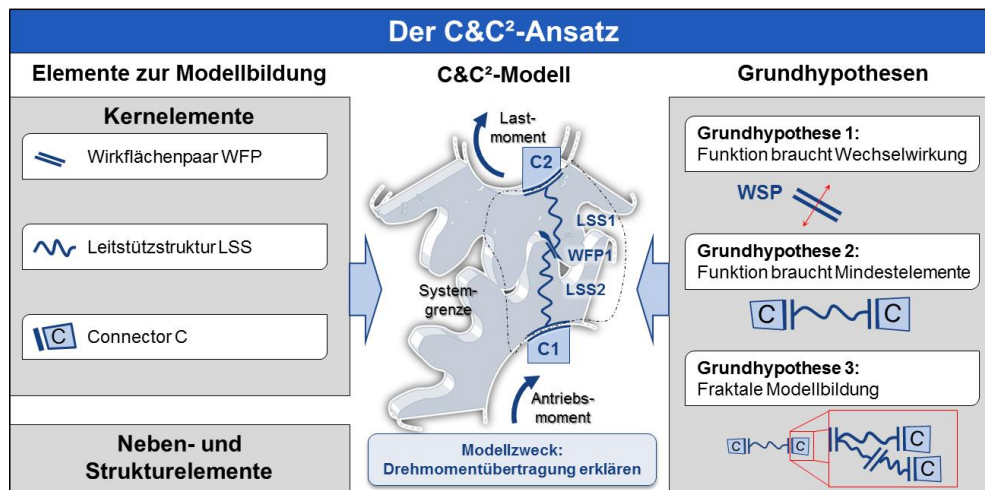


Abbildung 2 Übersicht über den C&C<sup>2</sup>-Ansatz und seine Elemente nach [20]

Hier sind links die drei Kernelemente dargestellt und rechts die drei Grundhypothesen. Aus diesen Bestandteilen wird unter Beachtung des Modellzwecks und einer Systemvisualisierung das C&C<sup>2</sup>-Modell (Mitte) gebildet.

In der Produktentwicklung hängt ein Teil des Projektrisikos direkt mit den vorliegenden GFZ zusammen. Dieses Risiko gilt es bei der Planung der Aktivitäten zu berücksichtigen. Abhängig davon, ob eine Gestalt dokumentiert ist oder nicht, und ob ihre Zusammenhänge zur Funktion aus Erfahrung oder Dokumentation bekannt sind, ergeben sich vier sogenannte Risikocluster. Ist die Gestalt dokumentiert und ihre Zusammenhänge zur Funktion ebenfalls explizit vorhanden (beispielsweise als FEM-Simulation oder statistische Modellgleichung aus Versuchen), so ist das Risiko in der Gestaltung gering. Ist die Gestalt nicht dokumentiert und liegen auch keine Erfahrungen zu den GFZ vor, so liegt ein hohes Risiko vor. [17]

### 3 Forschungsbedarf und Methodik

Als Forschungsumgebung für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Prozessplanung, Variationsarten und Kenntnis über den GFZ dient das Entwicklungsprojekt AIL – Agile Innovation Lab [21]. In AIL entwickelt ein studentisches Team, bestehend aus fünf Teilnehmern, selbstorganisiert ein Produkt mit hohem Innovationspotential. Der Entwicklungsprozess orientiert sich am ASD – Agile Systems Design. Hierzu erhielten die Studierenden zu Beginn eine kurze Einführung in die Möglichkeiten der Prozessplanung. Die Planung der einzelnen Phasen wurde von den Studierenden zum Großteil selbst übernommen und zu Beginn der jeweiligen Phase von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter abgenommen. Die Aktivitäten innerhalb der Phasen wurden von den Studierenden selbstständig durchgeführt und die Ergebnisse am Ende jeder Phase von dem Projektpartner gereviewed. In den einzelnen Phasen wurde von den Studierenden für die Referenzsystemelemente eine Einschätzung über die Kenntnis des GFZ vorgenommen. Des Weiteren wurden zu Beginn der Phasen die geplanten Variationen dokumentiert.

### 4 Analyse der Sprintplanung im Entwicklungsprojekts AIL – Agile Innovation Lab

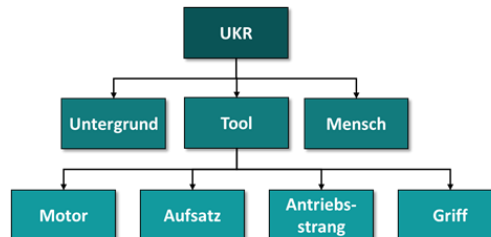
Im analysierten Projekt wurde ein handgehaltenes Gerät zur Unkrautregulierung (UKR) auf befestigten Flächen entwickelt. Auf dem Markt sind hierzu laut Projektpartner derzeit drei verschiedenen Wirkprinzipien im Einsatz – mechanisch, thermisch, chemisch, wobei letzteres in diesem Projekt durch den Projektpartner ausgeschlossen wurde (

Abbildung 3).



Abbildung 3: Referenzsysteme

Im Weiteren Projektverlauf wurden aufgrund der Funktionalität auch die thermischen Verfahren durch das Projektteam ausgeschlossen. Das Unkrautregulierungssystem wurde in dem Projekt in die Teilsysteme *Untergrund*, *Tool* und den *Menschen* als Bediener gegliedert. Das Teilsystem *Tool* wurde im Laufe des Projekts weiter konkretisiert in die Subsysteme *Motor*, *Aufsatz*, *Antriebsstrang* und *Griff* (Abbildung 4).



**Abbildung 4: Systemarchitektur**

Im Folgenden wird am Beispiel der Realisierung der Funktion *Unkraut regulieren* das Vorgehen im Projekt beschrieben. Der Entwicklungsprozess gliederte sich in sechs Phasen auf, für die in Tabelle 1 die jeweiligen Phasenziele und geplanten Umfänge der Entwicklungsgeneration aufgelistet sind. Das Phasenziel gliedert sich in Unterziele, welche auch zu realisierende Funktionen enthalten. Neben dem Phasenziel und den Umfängen der Entwicklungsgeneration wurden noch weitere Faktoren gesammelt. Für die Funktionen werden für jede Phase die zulässige Variationsart, das Referenzelement, die geplante Vorgehensweise sowie die Kenntnis über den GFZ im Entwicklungsteam aufgeführt. Bei der Vorgehensweise wird abhängig des verfügbaren Wissens zwischen einer erwarteten Iteration (EI), geplanten Iteration (GI) und einer sequentiellen Vorgehensweise unterschieden.

Tabelle 1 zeigt, dass ein Zusammenhang zwischen der Vorgehensweise in der Phase und der zulässigen Variationsart sowie der Kenntnis über den GFZ besteht (Beispielhaft in der Tabelle grün hinterlegt). In der Analysephase wurden viele Iterationen erwartet, da das Ziel nicht klar und der GFZ für die Funktion *Unkraut regulieren* dem Entwicklungsteam nicht bekannt war. Während in der Release Phase für die Realisierung der Funktion *Unkraut regulieren* eine sequentielle Vorgehensweise geplant wurde. In dieser Phase kannte das Entwicklungsteam die wesentlichen Gestaltparameter zur Funktionsrealisierung und es ging in dieser Phase von einer Gestaltvariation aus. Des Weiteren kann der Tabelle entnommen werden, dass die Kenntnis über den GFZ im Projekt stetig zunahm.

Während in den ersten Phasen das System noch auf Gesamtsystemebene betrachtet wurde, wurde in den späteren Phasen Detailwissen über den GFZ auf Teilsystemebene

gesammelt, und so die Planbarkeit der Aktivitäten erhöht. Parallel nahm neben der Kenntnis über den GFZ auch der Anteil an Gestaltvariation für die Funktion *Unkraut regulieren* zu.

Während in den frühen Phasen mit hoher Unsicherheit über das Projektziel eine Prinzipvariation auf der Gesamtsystemebene zugelassen wurde, wurde auf den unteren Systemebenen verstärkt Gestaltvariationen zugelassen.

Tabelle 1: Analyse der zur Sprintplanung verfügbaren Informationen

Phase im Sprintplanung	Zielsystem auf Gesamtsystemebene	C&C Elemente	Funktion	zugelassene Variation	Referenzsystemelement	Entwicklungsgeneration	Vorgehensweise GFZ	systemebene und Referenzsystemelementen
Analyse	Wissensaufbau	LSS <sub>1</sub> LSS <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	Unkraut regulieren	PV	Abteilung	zum Phasenabschluss	EI	RC4
			Schleudermotoren reduzieren Leistung < 3kW	ÜV	Abteilung	EG1: Wissensbasis, Funktionsprinzipien, Funktionsanalyse; ...	sequentiell	RC4
Potentialfindung	Analyse des Kundenbedarfs und Nutzen	LSS <sub>1</sub> LSS <sub>2</sub> C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	Unkraut regulieren	PV	Abteilung		EI	RC4
			Schleudermotoren reduzieren Leistung < 3kW	ÜV	Abteilung		GI	RC4
			Elektrischer Antrieb	ÜV	Abteilung	EG2: Produktprofil	EI	RC4
			Ergonomischer Griff	ÜV	Andere Abteilung		sequentiell	RC4
Konzeptierung	Erstellen erste technischer Lösungskonzepte sowie Machbarkeitsabschätzung	LSS <sub>1</sub> LSS <sub>2</sub> C <sub>2</sub> LSS <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>1</sub> LSS <sub>1</sub>	Unkraut regulieren	PV	Abteilung		EI	RC4
			Schleudermotoren reduzieren Leistung < 3kW	ÜV	Abteilung		EI	RC4
			Mechanisches Wirkprinzip	PV	Abteilung		sequentiell	RC4
			Geräteschnittstelle	ÜV	Abteilung	EG2: Konzeptskizzen	EI	RC4
			Durchmesser	ÜV	Abteilung		EI	RC4
Präzisierung	Konkretisierung eines technischen Lösungskonzepts und entwickeln erster Funktionsprototypen	LSS <sub>1</sub> LSS <sub>2</sub> C <sub>2</sub> LSS <sub>2</sub> C <sub>2</sub> C <sub>1</sub> LSS <sub>1</sub>	Unkraut regulieren	PV	Abteilung		EI	RC4
			Schleudermotoren reduzieren Leistung < 3kW	ÜV	Abteilung		GI	RC4
			Mechanisches Wirkprinzip	PV	Abteilung		sequentiell	RC4
			Geräteschnittstelle	ÜV	Abteilung	EG3: Konstruktzeichnungen mit Bewertungskriterien	GI	RC4
			Durchmesser	ÜV	Abteilung		GI	RC4
Realisierung	Aufbau eines Funktionsprototypen	LSS <sub>1</sub> LSS <sub>2</sub> C <sub>2</sub> C <sub>1</sub> LSS <sub>1</sub>	Unkraut regulieren	PV	Abteilung		EI	RC3
			Schleudermotoren reduzieren Leistung < 3kW	ÜV	Abteilung		GI	RC3
			Mechanisches Wirkprinzip	PV	Abteilung		sequentiell	RC3
			Geräteschnittstelle	ÜV	Abteilung		GI	RC3
			Durchmesser	ÜV	Abteilung	EG4: Prototypen für Wirkprinzipien (Schneiden, ziehen, reiben)	GI	RC3
Release	Erhöhen des Reifegrades des Funktionsprototypen	LSS <sub>1</sub> LSS <sub>2</sub> C <sub>2</sub> C <sub>1</sub> LSS <sub>1</sub>	Unkraut regulieren	PV	Abteilung		EI	RC3
			Schleudermotoren reduzieren Leistung < 3kW	ÜV	Abteilung		GI	RC3
			Mechanisches Wirkprinzip	PV	Abteilung		sequentiell	RC3
			Geräteschnittstelle	ÜV	Abteilung		GI	RC3
			Durchmesser	ÜV	Abteilung		GI	RC3
Release	Erhöhen des Reifegrades des Funktionsprototypen	LSS <sub>1</sub> LSS <sub>2</sub> C <sub>2</sub> C <sub>1</sub> LSS <sub>1</sub>	Unkraut regulieren	PV	Abteilung		EI	RC3
			Schleudermotoren reduzieren Leistung < 3kW	ÜV	Abteilung		GI	RC3
			Mechanisches Wirkprinzip	PV	Abteilung		sequentiell	RC3
			Geräteschnittstelle	ÜV	Abteilung		GI	RC3
			Durchmesser	ÜV	Abteilung		GI	RC3



**Legende:**  
 GI: Geplante Iteration  
 EI: Erwartete Iteration  
 UV: Übernahmevariation  
 GV: Gestaltvariation

## 4.1 Planen von Entwicklungsgenerationen als Sprint-Inkrement

In allen Phasen des Entwicklungsprozesses lässt sich ein vergleichbares Vorgehen zur Sprint-Planung beobachten. Dieses Vorgehen kann als Planung von Entwicklungsgenerationen auf Basis des jeweiligen Zustandes des Referenzsystems und der vorangehenden Entwicklungsgenerationen verstanden werden. Auch die Entwicklungsgenerationen, welche innerhalb des Sprints in Form weiterer Prototypen vorliegen, können Grundlage der weiteren Planung bspw. auf einer tieferen Detaillierungsebene sein. Grundsätzlich bildet der Abgleich zwischen der Zielsetzung der Entwicklungsphase, dem Referenzsystem sowie den vorangegangenen Entwicklungsgenerationen den Ausgangspunkt der Planung.

Auf Grundlage dieses Abgleichs wird für jedes Teilsystem der nächsten Entwicklungsgeneration der zulässige Lösungsraum durch Angabe der zulässigen Variationsart spezifiziert. Je nach zugelassener Variationsart sind für die weitere Entwicklung eines Teilsystems unterschiedliche Aktivitäten und deren Umfänge einzuplanen. Im Folgenden werden die zulässigen Variationsarten und dadurch planbare Entwicklungsaktivitäten im Detail beschrieben: Es existieren drei verschiedene Möglichkeiten an Variationsarten mit unterschiedlichen Folgen für die Planung des anstehenden Sprints:

- „Übernahmevariation“ (ÜV): Hier ist keine Veränderung der Wirkstruktur im betreffenden Teilsystem zugelassen. Das Teilsystem wird als „Blackbox“ betrachtet und Anpassungen finden falls notwendig an den Connectoren statt.
- „Gestaltvariation“ (GV): Hier kann sich die Wirkstruktur ändern, wobei das Funktionsprinzip beibehalten werden soll, also keine Wirkflächenpaare oder Leitstützstrukturen entfernt oder hinzugefügt werden sollen.
- „Prinzipvariation“ (PV): Bei zugelassener Prinzipvariation ändert sich die Wirkstruktur in Zahl und Anordnung der Elemente im Vergleich zum zugehörigen Referenzelement. Das Funktionsprinzip wird dadurch verändert.

Die Unterteilung des Gesamtsystems in Teilsysteme ist bei der Zuweisung zulässiger Variationsarten auch vom Wissenstand zum jeweiligen Zeitpunkt abhängig. Diese Unterteilung kann tendenziell bei weiter fortgeschrittenem Prozess feiner sein. Allerdings ist es auch

möglich, dass durch die vorhandenen Referenzsystemelemente mindestens in Teilen eine sehr detaillierte Vorgabe zulässiger Variationsarten erfolgen kann.

## 4.2 Entwicklungsaktivitäten in Abhängigkeit zugelassener Variationsarten

Je nach zugelassener Variationsart sind unterschiedliche Aktivitäten der Produktentstehung im Sprint, der die nächste Entwicklungsgeneration hervorbringt, notwendig. Bei **zugelassener Übernahmevariation** ist insbesondere zu validieren, ob die Connectoren für das übernommene TS noch ausreichend ähnlich zum Referenzsystem sind und daher von der gewünschten Funktionserfüllung ausgegangen werden kann. Hierbei kann u.a. die Herkunft des zugehörigen Referenzsystemelements eine Rolle spielen. Ergebnis dieser Aktivitäten ist das Wissen, ob die Übernahmevariation möglich ist oder eine Gestalt- oder Prinzipvariation zugelassen werden muss.

Bei **zugelassener Gestaltvariation** wird der mögliche Lösungsraum vorgegeben. Diese Variation wird häufig im experimentellen Erkenntnisgewinn (beispielsweise ein Vorgehen in Anlehnung an Design of Experiments) genutzt. Im Fokus steht hier die Anpassung der vorhandenen Wirkstruktur.

Bei **zugelassener Prinzipvariation** wird nach potenziellen Referenzsystemelementen gesucht, die zur Zielerreichung beitragen könnten. Um dies zu beurteilen wird der GFZ dieser Referenzsystemelemente analysiert. Der Aufwand für diese Analyse kann stark unterschiedlich sein. Dies hängt u.a. davon ab, in welchem Umfang der GFZ des betreffenden Referenzsystemelements und dessen Dokumentation bereits bekannt und verfügbar ist. Es besteht tendenziell ein höherer Aufwand und ein höheres Risiko.

## 5 Diskussion

In diesem Beitrag wurde eine Unterstützung für Entwickler in der situations- und bedarfsgerechten Kombination flexibler und strukturierender Prozesselemente vorgestellt. Es werden Variationen und damit verbundenen Entwicklungsaktivitäten zugelassen, die auf Basis des vorhandenen Wissens und der zur Verfügung stehenden Ressourcen umsetzbar erscheinen. Da diese Neudefinition von durchzuführenden Entwicklungsaktivitäten an jedem Meilenstein im Projekt geschieht, wird die Flexibilität im Projekt verbessert. Die „Blindleistung“ im Entwicklungsprozess soll minimiert werden, indem je nach Kenntnisstand über

das technische System unnötige Iterationen oder zu detaillierte Prozessplanung minimiert werden.

Eine Limitierung dieser Forschungsarbeit besteht darin, dass nur ein Entwicklungsprojekt aus einer speziellen Branche analysiert wurde. Branchenspezifische Besonderheiten aus anderen Branchen konnten deshalb in der entwickelten Unterstützung nicht berücksichtigt werden. Zur Validität der abgeleiteten Aussagen können aus dieser Forschungsarbeit keine Aussagen getroffen werden, da hierzu die Untersuchung mehrerer Entwicklungsprojekte und ein Vergleich zu einer Kontrollgruppe notwendig wäre.

## 6 Ausblick

In anschließenden Forschungsarbeiten sollen die beobachteten Zusammenhänge detaillierter analysiert werden, um die Reifegradsteuerung für den Projektleiter durch verbesserte Priorisierung und Ressourcenverteilung zu optimieren. Eine weitere Forschungsarbeit soll die Analyse von GFZ als Basis für das entwickelte Vorgehen detaillierter betrachten, um Hilfsmittel für Entwickler bereitzustellen, mit denen diese Zusammenhänge erfasst werden können.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] S. Thomke and D. Reinertsen, "Agile Product Development: Managing Development Flexibility in Uncertain Environments," *California Management Review*, vol. 41, no. 1, pp. 8–30, 1998.
- [2] T. S. Schmidt, S. Weiss, and K. Paetzold, "Agile Development of Physical Products: An Empirical Study about Motivations, Potentials and Applicability," *University of the German Federal Armed Forces*, 2017.
- [3] B. Boehm and R. Turner, "Management Challenges to Implementing Agile Processes in Traditional Development Organizations," *IEEE Softw.*, vol. 22, no. 5, pp. 30–39, 2005.
- [4] B. Boehm and R. Turner, "Using risk to balance agile and plan-driven methods," *Computer*, vol. 36, no. 6, pp. 57–66, 2003.
- [5] J. Heimicke *et al.*, "Agile Innovative Impulses in the Product Generation Engineering: Creativity by Intentional Forgetting," *Proceedings of 5th International Conference on Design Creativity (ICDC 2018)*, no. 8, 183-190, 2018.
- [6] B. Gloger, "Die Rollen – klare Verantwortlichkeiten," in *Scrum: Produkte zuverlässig und schnell entwickeln*, B. Gloger, Ed., 5th ed., München: Carl Hanser Verlag, 2016, pp. 59–107.
- [7] K. Gericke, M. Meißner, and K. Paetzold, "Understanding the context of product development," *Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED13) Design For Harmonies*, vol. 75, no. 3, 2013.

- [8] J. Geraldi, H. Maylor, and T. Williams, "Now, let's make it really complex (complicated)," *Int Jrnl of Op & Prod Mnagemnt*, vol. 31, no. 9, pp. 966–990, 2011.
- [9] J. Heimicke, G. Freire, J. Breitschuh, and A. Albers, "Determining degrees of complexity of different development situations within business processes in engineering sector," *41st R&D Management Conference 2019 "The Innovation Challenge: Bridging Research, Industry and Society"*, 2019.
- [10] A. Albers *et al.*, "A systematic approach to situation-adequate mechatronic system development by ASD - Agile Systems Design," *Procedia CIRP*, vol. in print, 2019.
- [11] D. J. Snowden and M. E. Boone, "A Leader's Framework for Decision Making," *Harvard business review*, vol. 85, no. 11, pp. 68–77, 2007.
- [12] K. Petersen and C. Wohlin, "The effect of moving from a plan-driven to an incremental software development approach with agile practices," *Empir Software Eng*, vol. 15, no. 6, pp. 654–693, 2010.
- [13] A. Albers, S. Rapp, M. Spadinger, T. Richter, C. Birk, F. Marthaler, J. Heimicke, V. Kurtz, H. Wessels, "The Reference System in PGE - Product Generation Engineering: A generalized Understanding of the Role of Reference Products and their Influence on the Development Process.," *Proceedings of 22nd International Conference on Engineering Design ICED 2019*, 2019.
- [15] A. Albers, S. Rapp, N. Peglow, T. Stürmlinger, J. Heimicke, F. Wattenberg, H. Wessels, "Variations as Activity Patterns: A Basis for Project Planning in PGE - Product Generation Engineering," *Procedia CIRP*, in print, 2019.
- [16] A. Albers, S. Rapp, C. Birk, and N. Bursac, "Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung," *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung, SSP2017*. Stuttgart, Germany, 2017.
- [17] S. Matthiesen, "Prozess und Methoden der Gestaltung," in *Pahl/Beitz Konstruktionslehre*, B. Bender and K. Gericke, Eds., 9th ed.: Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2019, in print.
- [18] A. Albers and S. Matthiesen, "Konstruktionsmethodisches Grundmodell zum Zusammenhang von Gestalt und Funktion technischer Systeme," *Konstruktion*, vol. 54, no. 7, pp. 55–60, 2002.
- [19] S. Matthiesen, Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells "Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen" zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme, 2002.
- [20] S. Matthiesen, P. Grauberger, C. Sturm, and M. Steck, "From Reality to Simulation – Using the C&C2-Approach to Support the Modelling of a Dynamic System," *Procedia CIRP*, vol. 70, pp. 475–480, 2018.
- [21] A. Albers, N. Bursac, J. Heimicke, B. Walter, and N. Reiß, "20 years of co-creation using case based learning: An integrated approach for teaching innovation and research in Product Generation Engineering," in *Proceedings of the 20th ICL Conference*, M. E. Auer, D. Guralnick, and J. Uhomoihi, Eds., Springer, 2017, pp. 636–647.