

STATUS QUO AGILER SOFTWARE-ENTWICKLUNG IN DER EUROPÄISCHEN INSTITUTIONELLEN RAUMFAHRT

Dr. Stefan Brüggemann, Airbus Defence & Space GmbH, Airbus-Allee 1, 28199 Bremen, Deutschland

Dr. Christian Prause, DLR Raumfahrtmanagement, 53227 Bonn, Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

Die institutionelle Raumfahrt nimmt zunehmend die Bedeutung agiler Entwicklungsmethoden wahr. Dies geht einher mit einer Veränderung hin zu NewSpace Produkten und -Technologien. Hier sind insbesondere kurze Entwicklungszyklen und Flexibilität wichtig. Zusammen mit Industriepartnern verabschieden sowohl die europäische (ESA) als auch die deutsche Raumfahrtagentur (DLR) derzeit zwei Artefakte, welche einen Grundstein für agile Entwicklung in der institutionellen Raumfahrt legen werden: (1) Ein ECSS Standard (Handbuch) zu agiler Softwareentwicklung hat das öffentliche Review passiert und befindet sich nun in der Fertigstellung, und (2) nimmt das Raumfahrtmanagement des DLR erstmals einen Satz von Anforderungen für Lieferanten in seine Produktsicherungsanforderungen auf, welche auf agile Entwicklung ausgerichtet sind. Die hier vorliegende Zusammenfassung eines Vortrags auf dem diesjährigen Deutschen Luft- und Raumfahrt Kongress beschreibt die Eigenschaften agiler Entwicklung, stellt die zwei Artefakte vor und zeigt damit auf, wie sich agile Entwicklung in die Rahmenwerke institutioneller Raumfahrt einbinden lassen kann. Die Raumfahrt-Community nimmt das Thema sowohl mit Interesse als auch kritischen Fragen zu möglichen Folgen (z.B. Qualität, Vertragsgestaltung) auf.

KEYWORDS

Raumfahrt, Agile Softwareentwicklung, Software Engineering, NewSpace, ECSS, ECSS-E-HB-40-01A, Raumfahrtagenturen, Produktsicherung, Qualität

1. EINLEITUNG

Die institutionelle europäische Raumfahrt nimmt zunehmend die Bedeutung agiler Entwicklungsmethoden wahr. Hierbei geht es darum, rasch mit Produkten und Diensten am Markt zu sein, Feedback zu diesen einzuholen und die Produkte zu optimieren. Dies geht einher mit einer Veränderung des Produktportfolios hin zu NewSpace Produkten und -Technologien. Dabei ist es insbesondere wichtig, kurze Entwicklungszyklen zu haben, in denen genügend Flexibilität vorhanden ist, um Kundenanforderungen und sich verändernde Märkte adäquat berücksichtigen zu können (Horn, Frischauf, Baumann, & Heinrich, 2016). Im vergangenen Jahr sind in diesem Zusammenhang zwei wesentliche Artefakte entstanden, welche diese Strömungen bei DLR und ESA bündeln:

Im Rahmen der ECSS (European Cooperation for Space Standardisation) ist eine Arbeitsgruppe (ECSS-E-HB-40-01A, 2018) mit industriellen und institutionellen Vertretern einberufen worden. Diese verfolgt das Ziel,

zu beschreiben, wie sich agile Softwareentwicklung gestaltet, wenn klassische etablierte ECSS-Standards anzuwenden sind. Das Handbuch hat 2017 das öffentliche Review der Raumfahrt-Community durchlaufen, und die daraus stammenden Kommentare werden derzeit in die finale Version des Handbuchs eingearbeitet.

Unter der Führung der deutschen Raumfahrtagentur treffen sich immer wieder die Leiter der Qualitätsabteilungen der wichtigsten deutschen Raumfahrtunternehmen zu einem Arbeitskreis zu den Themen der Produktsicherung. Ziel ist es, die allgemeinen Qualitätsanforderungen – also unabhängig vom einzelnen Projekt – festzulegen, die später in den nationalen Projekten durch den Auftraggeber DLR Raumfahrtmanagement gefordert werden sollen. Im vergangenen Jahr haben sich so die wichtigsten „Qualitätser“ des Nationalen Programms für Weltraum und Innovation wieder zusammengesetzt. Da dabei für alle technischen Disziplinen (sowohl Hardware wie Software) der aktuelle Stand der Technik überprüft und in den Katalog integriert wird, ist auch die Methode der agilen Software-

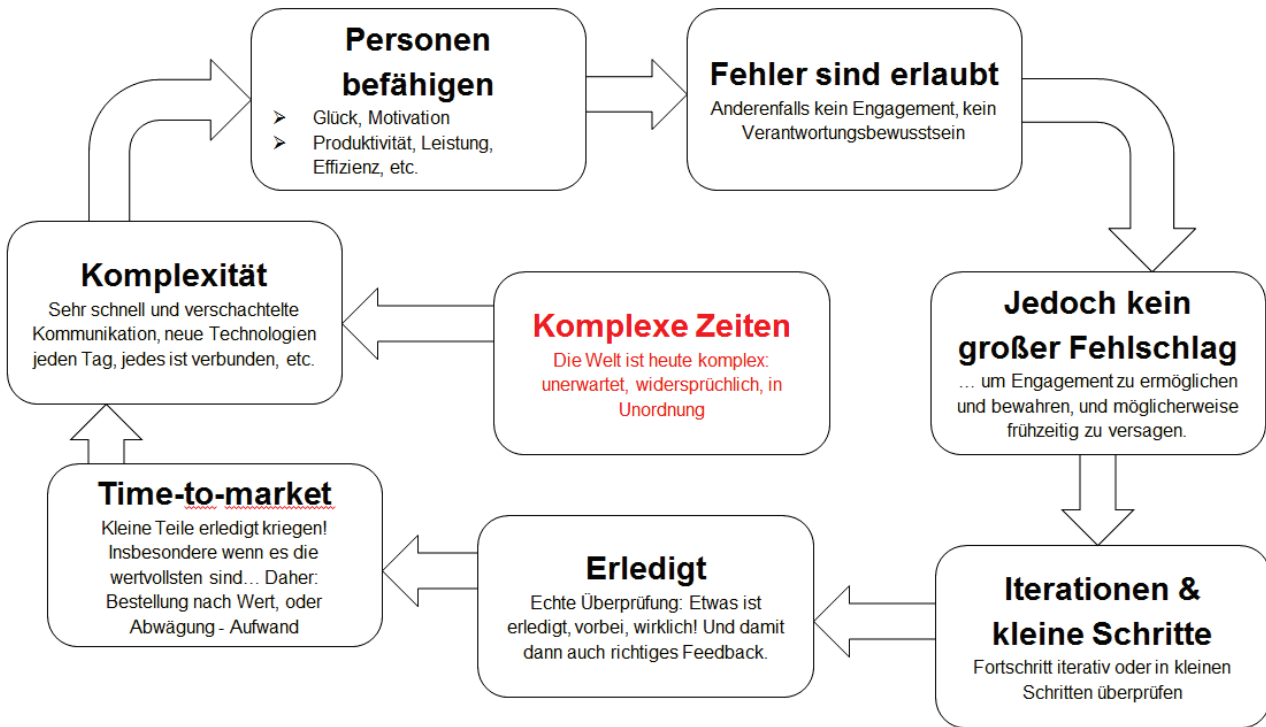


Abbildung 1: Agile Entwicklung in komplexen Zeiten (Pernot, 2013)

entwicklung betrachtet und als wichtig für das nationale Raumfahrtprogramm eingestuft worden. Daher wurden entsprechende Anforderungen an agile Entwicklung in Projekten definiert und in den Katalog aufgenommen.

Das vorliegende Papier stellt Motivation (Abschnitt 2) und Eigenschaften (Abschnitt 3) agiler Entwicklungsmethoden dar, und zeigt, wie agile Entwicklung durch das neue ECSS Dokument (Abschnitt 4) bzw. durch die Produktsicherungsanforderungen der deutschen Raumfahrtagentur in die europäische institutionelle Raumfahrt einzieht (Abschnitt 5). Schließlich werden einige offene Fragen im Bezug zu agiler Entwicklung in der Raumfahrt kritisch betrachtet (Abschnitt 6).

2. WARUM AGILE ENTWICKLUNG?

Die Welt wird zunehmend komplexer und dadurch weniger vorhersagbar als früher. Das zeigt sich unter anderem auch an den neuen Technologien. Aber nicht nur hier: In allen Bereichen bis hin zu vermeintlichen Alltäglichkeiten steigt die Komplexität. Darüber hinaus arbeiten viele Unternehmen nicht mehr nur lokal, sondern europa- und weltweit. Um neue Märkte zu erschließen stehen sie dabei neuen Aufgaben und neuen Risiken gegenüber. In der institutionellen Raumfahrt sind traditionell viele verschiedene Parteien, oft aus unterschiedlichen Ländern, an Projekten beteiligt: Raumfahrtagenturen, Auftraggeber, Auftragnehmer, diverse Ebenen von Unterauftragnehmern, Betriebsorganisationen, Endnutzer wie z.B. Wissenschaftler, Bei-

steller von Technologien, Überwachungsstellen, etc. Durch die modernen Kommunikationswerkzeuge steigen die Geschwindigkeit, Reichweite und Vernetzung in der Kommunikation. Insbesondere gilt gerade Software gilt als „Schwamm“ für die Komplexität in technischen Dingen (ECSS-E-HB-40A, 2013).

Unter diesen Rahmenbedingungen ändert sich auch die Rolle der Führungskräfte: Sie können nicht mehr alles alleine bewältigen, also an sich reißen und allein entscheiden. Ihre Aufgabe wird vielmehr zu dienen, Rahmenbedingungen zu setzen, die Organisation in die Lage zu versetzen, das Richtige zu tun, zu coachen und anzuleiten. Sie befähigen Personen, ermöglichen Motivation und steigern dadurch Leistung, Produktivität und Effizienz. Fehler sind erlaubt, um den Weg für Engagement und Verantwortungsbewusstsein frei zu machen. Hier setzen NewSpace-Projekte und konkret im Bereich der Software, die agile Entwicklung an. Doch wie in klassischen Projekten auch, müssen jedoch große Fehlschläge vermieden werden. Daher werden Projekte iterativ und in kleinen Schritten vorangetrieben. Die einzelnen Schritte können erledigt und abgeschlossen werden; und sind damit tatsächlich vorbei. Hier erfolgt wirkliches Feedback. Die kleinen abgeschlossenen Einheiten stellen für sich schon einen Mehrwert dar; insbesondere dann, wenn die wertigsten Einheiten zuerst abgeschlossen werden. Dadurch verkürzt sich die Zeit bis zur Markteinführung. Siehe dazu Abbildung 1, wie auch Bund, Heuser, & Tatje (2012); Horn, Frischauf, Baumann, & Heinrich (2016); Kreuzer & Haader (2017) und Pernot (2013).

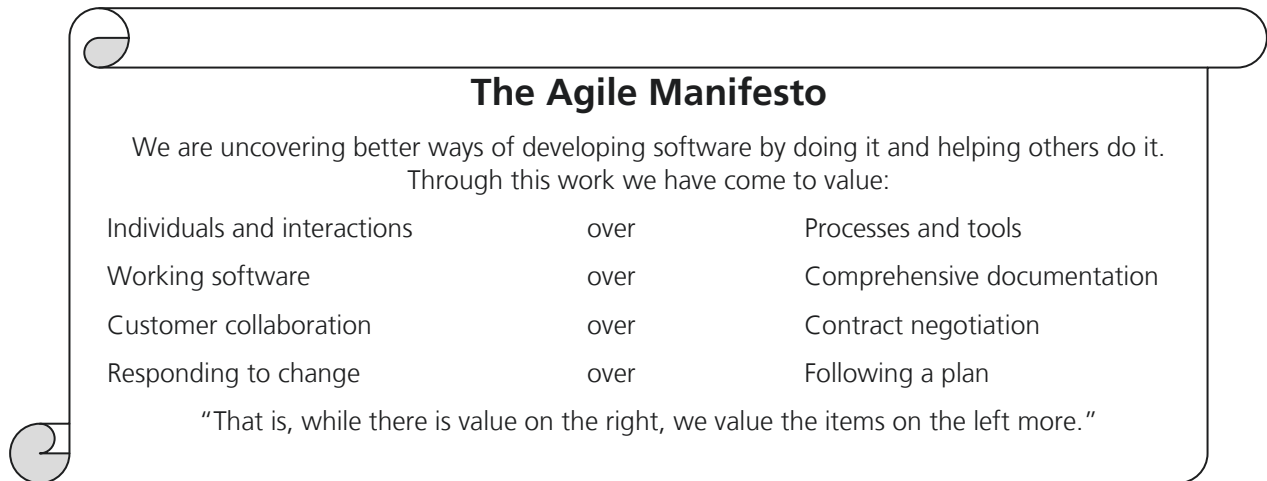


Abbildung 2: Das Agile Manifest.

3. WAS IST AGILE ENTWICKLUNG?

Der Begriff „agile Softwareentwicklung“ geht auf das Agile Manifest (siehe Abbildung 2) zurück, und bezeichnet jene Methoden und Praktiken der Softwareentwicklung, die dessen Werte und Prinzipien aufgreifen. Das Manifest wurde 2001 von 17 Erstunterzeichnern formuliert (darunter bekannte Softwareentwickler wie Kent Beck, Alistair Cockburn, Ward Cunningham, Martin Fowler oder Ron Jeffries.)

Zu den agilen Prinzipien zählen Kundenzufriedenheit, Auslieferung neuer Versionen funktionsfähiger Software in kurzen Zeitabständen, beinahe tägliche Zusammenarbeit zwischen Fachexperten und Entwicklern, Schaffung eines Motivation-fördernden Umfeldes, Einhaltung eines gleichmäßigen Arbeitstempos, technische Exzellenz und gutes Design, Selbstorganisation der Teams und Selbstreflexion (Laplante, 2012). Die Prinzipien werden durch Agile Methoden wie Paarprogrammierung, Testgetriebene Entwicklung oder ständige Refaktorisierungen unterstützt und in agilen Prozessen wie Extreme Programming, Feature Driven Development oder Scrum umgesetzt. In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat die agile Softwareentwicklung sich dabei in immer mehr Bereichen als Mainstream durchgesetzt (vgl. Kuhrmann, et al., 2018).

Im Rahmen ihrer Untersuchung zu NewSpace gelangen auch Horn, Frischauf, Baumann, & Heinrich (2016), zu dem Ergebnis, dass agile Softwareentwicklung ein Ansatz sei, „der zunehmend auf die Raumfahrt übertragen wird. Bei dieser Vorgehensweisen wird die Entwicklung nicht im Voraus in allen Einzelheiten geplant und anschließend durchgeführt, stattdessen

wird die Entwicklung zyklisch iteriert. Dies ermöglicht es, Anforderungen während der Projektlaufzeit zu ändern und laufend Anpassungen vorzunehmen.“

4. ECSS AGILE SOFTWARE DEVELOPMENT HANDBOOK

Die ECSS wurde 1993 als eigenständiger Zusammenschluss von ESA, nationalen europäischen Raumfahrtagenturen, und dem Interessenverband der Industrie Eurospace gegründet. So entstanden gemeinsame Standards für Projektmanagement, Entwicklung, Konstruktion und Betrieb von Raumfahrtssystemen. Die Mitglieder von ECSS sind zugleich die Entwickler und Anwender der Standards. Dabei konzentrieren sie sich auf Projektarbeit und -prozesse: auf Entwicklung, Produktion und Betrieb technischer Systeme im Weltraum wie Satelliten oder Raumsonden und am Boden wie Sende-, Empfangs- und Kontrollzentren. Die ECSS gliedert sich in die Themenbereiche Space Project Management (Standards im ECSS M-Branch), Space Engineering (E-Branch), Space Product Assurance (Q-Branch) und Space Sustainability (U-Branch) (Schiller & Heinemann, 2014). Dabei gelten für die Softwareentwicklung neben den zwei Hauptstandards Software Engineering ECSS-E-ST-40C (im E-Branch) bzw. Software Product Assurance ECSS-Q-ST-80C (im Q-Branch) zusätzlich diverse allgemeinere Standards wie ECSS-M-ST-40C (Configuration Management) oder ECSS-Q-ST-30C (Dependability). Das Handbuch zu agiler Softwareentwicklung ECSS-E-HB-40-01A ist dem Hauptstandard ECSS-E-ST-40C zugeordnet (siehe Abbildung 3).

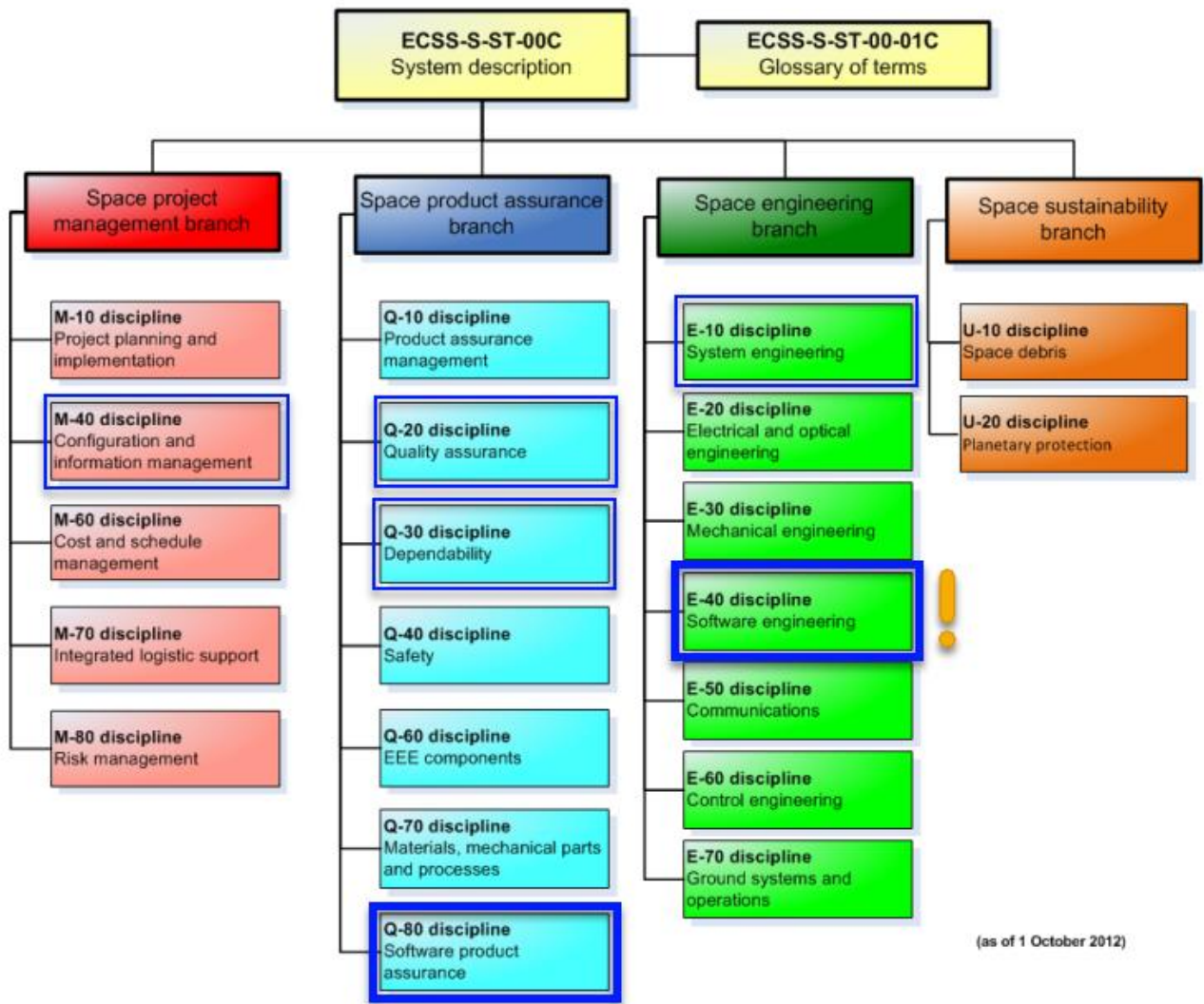


Abbildung 3: Übersicht über die Hauptstandards der ECSS (2012)

Die Arbeitsgruppe zur Erarbeitung des neuen ECSS-Handbuchs setzt sich zusammen aus industriellen und institutionellen Vertretern von ESA, DLR, CNES, GMV, Thales Alenia Space, Airbus DS, Telespazio, Intecs und SpaceBel. Das Handbuch hat das öffentliche Review der europäischen Raumfahrt-Community vom April 2017 bis Januar 2018 durchlaufen, und die daraus stammenden Kommentare werden derzeit in die finale Version des Handbuchs eingearbeitet.

Das Ziel des Handbuchs ist es, zu beschreiben, wie sich agile Softwareentwicklung gestaltet, wenn klassische etablierte ECSS-Standards anzuwenden sind. Im Handbuch wird ein Leitfaden zur Anwendung von agilen Entwicklungsansätzen unter Beachtung der ECSS-E-ST-40C und ECSS-Q-ST-80C dargestellt. Es werden alle Bereiche behandelt, die von diesen zwei Standards adressiert werden, also u.a. Flugsoftware, Bodensoftware und Simulatoren. Nicht behandelt werden dagegen z.B. Themen des Risiko-basierten Tailorings der ECSS Standards, oder vertragliche Aspekte dieses be-

sonderen Entwicklungsansatzes (vgl. ECSS-E-HB-40-01A, 2018).

Konkret ist ein Handbuch entstanden, welches zuerst eine Einführung in die agile Softwareentwicklung gibt und dabei Themen wie Charakteristika agiler Entwicklung, Lean Management, und agile Methoden vorstellt. Auch generelle Überlegungen und Fragen die sich vor der Implementierung von agilen Methoden stellen, werden in einem Kapitel adressiert. Im nächsten Kapitel schließen sich Richtlinien für die Auswahl eines agilen Lebenszyklusmodells an. So werden zum Beispiel Schlüsselfaktoren des Kunden-, Lieferanten-, Projekt- und Team-Kontextes besprochen. Der Kernteil des Dokumentes stellt den Scrum-Prozess vor und wie dieser auf Raumfahrtprojekt-Anforderungen angepasst werden kann. Der Scrum-Prozess ist einer der am weitesten verbreiteten agilen Methoden. Nach der Einführung wird für alle zentralen Disziplinen wie Projektmanagement, Software-Entwicklung, Konfigurationsmanagement und Qualitätsmanagement detailliert be-

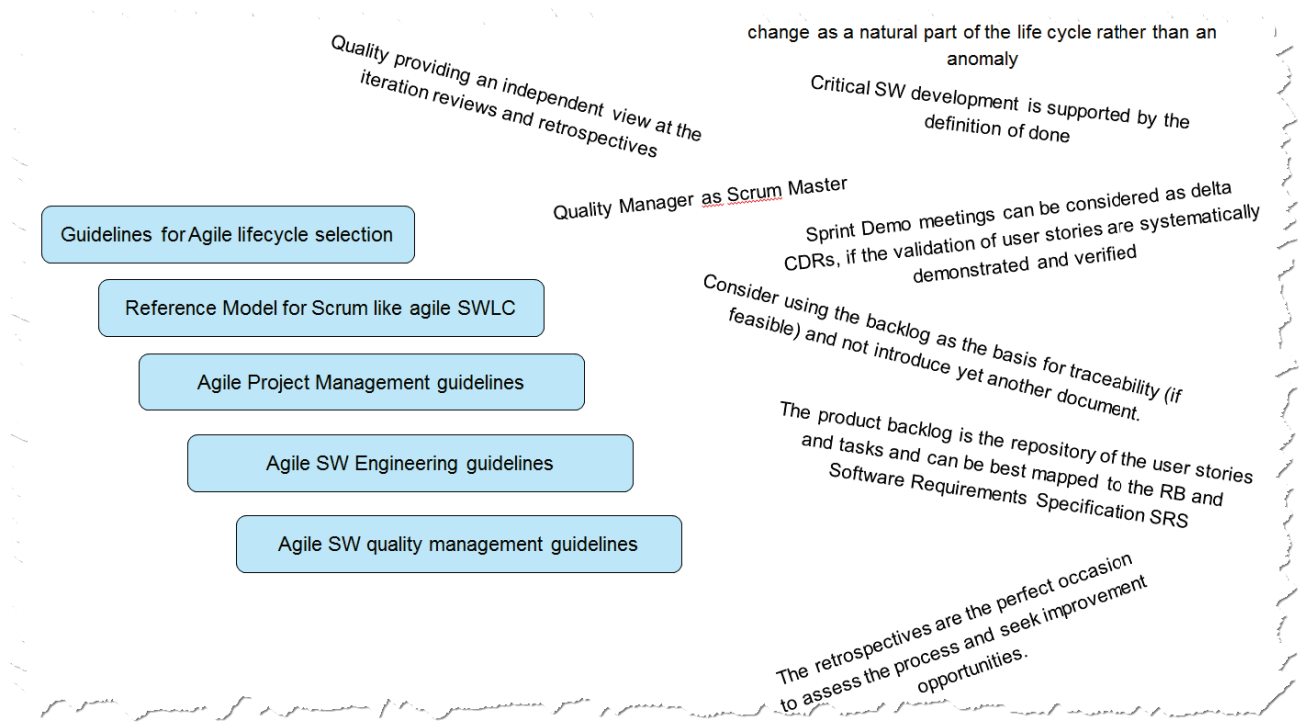


Abbildung 4: Themen des und Zitate dem Handbuch ECSS-E-HB-40-01A

schrieben, wie diese in einem agilen Projektszenario gestaltet werden können. Das Handbuch schließt ab mit verschiedenen Modellen, wie sich klassische ECSS-Reviews mit agilen Methoden vereinbaren lassen.

4.1 Beispiel: ECSS Reviews mit agilem Entwicklungsansatz

Zur Umsetzung der agilen Entwicklung in ECSS Projekten wurden vier verschiedene Modelle erarbeitet (siehe Abbildung 5): Es gibt Review-getriebene Software-

Lebenszyklen, die näher an der ECSS sind, und Sprint-getriebene Software-Lebenszyklen, die mehr einem Scrum-Vorgehen ähneln. Anhand einer Tabelle im Handbuch können entscheidende Projektcharakteristika mit Empfehlungen für oder gegen das eine oder andere der vier Modelle abgeglichen werden.

Dementsprechend könnte z.B. ein Sprint-getriebener Lebenszyklus mit Formalismus gewählt werden. So können in einem Modell beispielsweise nach jeder Iteration/Sprint Delta-Reviews zu den Meilenstein-Reviews durchgeführt werden (siehe Abbildung 6).

Project characteristics	model 1	model 2	model 3	model 4
Strong coordination with higher level team via reviews	Green	Green	Yellow	Yellow
Strong coordination with higher level team via agile	Red	Red	Green	Green
Formal endorsement required	Green	Yellow	Green	Yellow
Requirements need to be flexible	Red	Red	Yellow	Green

Abbildung 5: Projektcharakteristika und Lebenszyklusmodelle. Quelle: ECSS-E-HB-40-01A (2018)

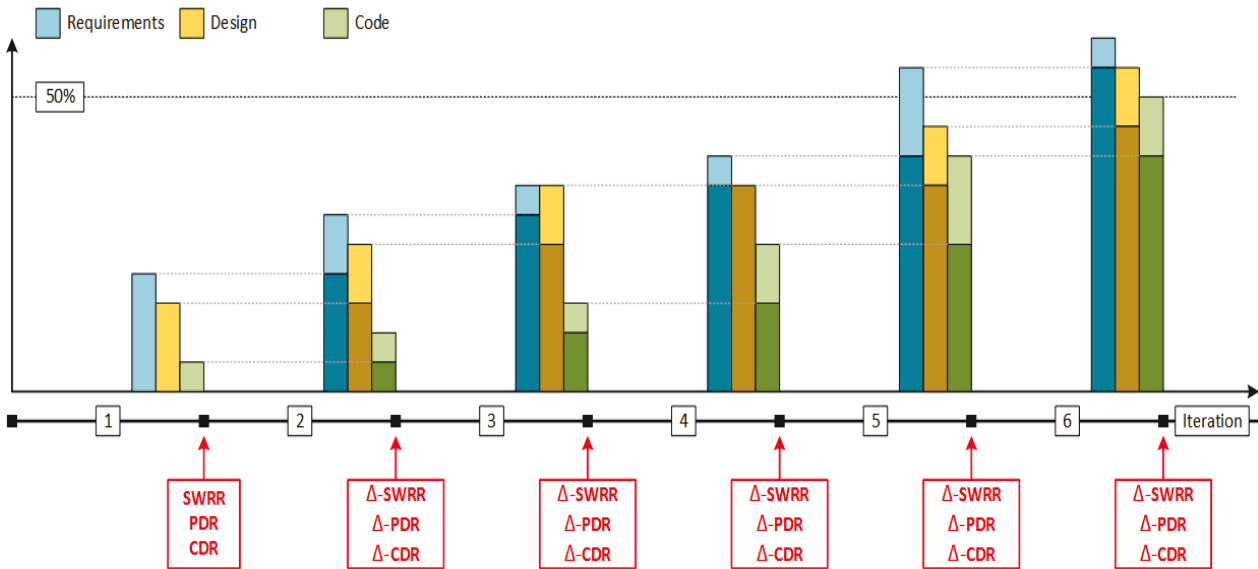


Abbildung 6: Scrum-Sprints zwischen den Reviews (ECSS, Modell 4). Quelle: Buzgan (2017)

5. NATIONALES RAUMFAHRTPROGRAMM UND DLR PS-ANFORDERUNGEN

Die Produktsicherung (PS) des DLR Raumfahrtmanagements hat in den vergangenen Jahren immer wieder die Leiter der Qualitätsabteilungen der großen nationalen Raumfahrtunternehmen zu Arbeitskreisen zum Thema "Product Assurance & Safety Requirements for DLR Space Projects" eingeladen. Auch im vergangenen Jahr haben sich so die wichtigsten „Qualitätser“ des Nationalen Programms für Weltraum und Innovation wieder zusammengesetzt, um gemeinsam zu beraten und festzulegen, welche Anforderungen der ECSS Q-

Standards für das nationale Programm besondere Bedeutung haben (Abbildung 7, Schritt 3) bzw. wo die ECSS Lücken aufweist, die für nationale Vorhaben geschlossen werden sollten. Die vereinbarten Qualitätsanforderungen werden in einem umfassenden Anforderungskatalog festgehalten. Aus dem freigegebenen Katalog heraus werden an die Projekte individuell angepasste Forderungen mittels Tailoring in die jeweiligen Projektverträge übernommen (Prause, Bibus, Dietrich, & Jobi, 2016). Die Arbeitsgruppe hat ihre Arbeit weitgehend abgeschlossen, jedoch finden derzeit noch Feinabstimmungen statt, wie z.B. die Festlegung von Tailoringsschlüsseln. Diese Schlüssel dienen später dazu, die für die Projekte zutreffenden Anforderungen teil-automatisiert festzulegen.

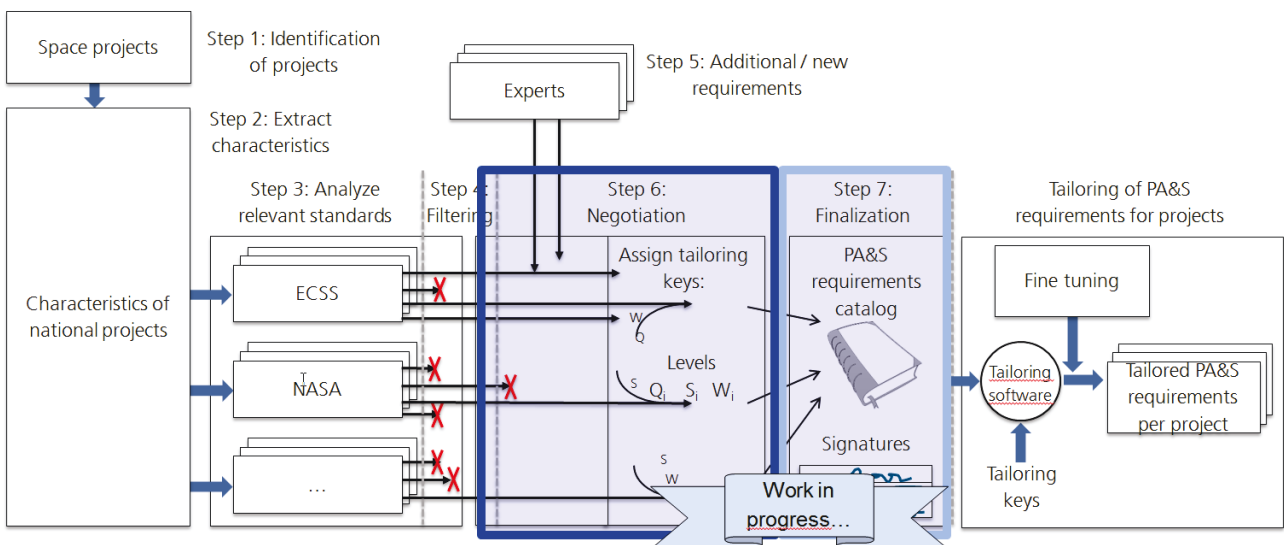


Abbildung 7: Erarbeitung und Übernahme der Anforderungen zu agiler Softwareentwicklung in Produktsicherungsanforderungen und DLR PA&Safety Requirements Tailoring Katalog (Prause et al., 2016)

Im Zuge der Arbeitsgruppe wird für alle Disziplinen der aktuelle Stand der Technik überprüft und auf Anwendbarkeit im nationalen Programm hin bewertet. Ergibt sich daraus die Notwendig, weitergehende Anforderungen an Produkterstellungsprozesse zu stellen, werden entsprechende Formulierungen in den Katalog integriert (Abbildung, Schritt 5). Als ein Thema hat die Expertengruppe auch erstmalig agile Softwareentwicklung als wichtig für das nationale Raumfahrtprogramm eingestuft. So sind spezifische entsprechende Anforderungen an die agile Softwareentwicklung in Raumfahrtprojekten diskutiert, definiert, und in den Katalog aufgenommen worden.

Der Großteil der Anforderungen im Anforderungskatalog entstammt der ECSS. Bei der agilen Entwicklung ist die Situation jedoch etwas anders: Das neue ECSS Handbuch zu agiler Softwareentwicklung ist dem E-Branch der ECSS zugeordnet ist. Zwar erhält das Thema Produktsicherung und Safety seinen Platz in dem Handbuch, jedoch ist es insgesamt der ECSS-E-ST-40C zugeordnet. Ferner handelt es sich bei dem Handbuch um ein „ECSS Handbuch“, d.h. es werden Erläuterungen und praktische Empfehlungen ausgesprochen, jedoch keine normativen Anforderungen gestellt. Dadurch mussten in den Katalog passende Anforderungen, die die agile Entwicklung betreffen, erst von der Expertengruppe von Grund auf erarbeitet werden. Da bisher wenig Erfahrung mit der Einbindung von agiler Entwicklung in die Projekte des nationalen Programms besteht, und insbesondere unklar ist, ob es evtl. Reibungspunkte mit den althergebrachten Prozessen gibt, stehen die neuen Anforderungen bzgl. agiler Entwicklung grundsätzlich unter dem Vorbehalt, dass in den Projekten ein agiler Lebenszyklus vereinbart ist.

6. ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG UND OFFENE FRAGEN

Die Technical Authority, also das Führungsgremium der ECSS, hatte sich 2015 bewusst dafür entschieden, der agilen Softwareentwicklung vorerst nur ein untergeordnetes Handbuch und keinen eigenständigen Standard einzuräumen, um nicht im Fall von Widersprüchen die Anforderungen der zwei Softwarestandards ECSS-E-ST-40C und ECSS-Q-ST-80C zu konterkarieren. Zu viele kritische Fragen sind noch offen:

Lässt sich eine eingebettete Satellitensoftware mit kritischen Funktionalitäten inkrementell ausliefern? Ein System wie ein Satellit oder eine Sonde, muss viele Jahre unter harschen Bedingungen im Weltraum autonom überleben können, ohne dass jemand bei Bedarf eingreifen oder den Reset-Schalter drücken kann. Hier würde man kaum eine teilfertige Software mit Versionsnummer kleiner 1.0 installieren wollen. Eine kontinuierliche Weiterentwicklung nach Erreichen des vollständigen notwendigen Funktionsumfangs mag hin-

gegen möglich sein (z.B. die SpaceX Falcon-Raketen). Auch in der Entwicklung weniger kritischer, aber Software-intensiverer Systeme wie Informations- und Planungssystemen am Boden kann agile Entwicklung sicher besser ihre Stärken ausspielen. Noch erheben die Standards ECSS-E-ST-40C und ECSS-Q-ST-80C den Anspruch, auch diese Bereiche vollständig abzudecken. Hier wird es in den kommenden Jahren womöglich eine Neuaushandlung der Rollen von traditioneller und agiler Entwicklung geben müssen; vielleicht auch in Richtung hybrider Vorgehensmodelle (vgl. Kuhrmann, et al., 2018). In der Praxis in deutschen Organisationen gibt es möglicherweise eine Tendenz, für hochkritische Anwendungsfälle eher klassische Vorgehensmodelle, und agile Entwicklung bei weniger kritischen Anwendungen einzusetzen (Klünder, et al., 2018).

Doch auch weitere Themen im Zusammenhang mit agiler Entwicklung werfen für die institutionelle Raumfahrt noch Fragen auf: Wie können öffentliche Ausschreibungen ausgestaltet werden, die typischerweise auf einen vorab vollständig spezifiziertem Leistungsgegenstand beruhen? Iteratives Vorgehen mit Kundenbeteiligung stellt im juristischen Sinn oft bereits eine Teilabnahme dar. Dies hat dann Auswirkungen auf die Themen der Verantwortung und Haftung, da hiermit Verantwortung vom Auftragnehmer auf den Auftraggeber übergeht (vgl. Gennen, 2016 und Horn, Frischauf, Baumann, & Heinrich, 2016). Nicht zuletzt bleibt zu nennen, dass agile Entwicklung den Kommunikationsaufwand zwischen Kunde und Lieferant erhöhen kann, was auf Seiten des institutionellen Kunden einen entsprechenden Mehraufwand verursachen würde. Dies läuft möglicherweise dem Ziel einer schlanken öffentlichen Verwaltung entgegen. Auch die Verwendung klassischer Vertragsmuster ist wahrscheinlich nicht möglich, sondern es sind „agile Verträge mit starker Individualisierung zu erstellen“ (Horn, Frischauf, Baumann, & Heinrich, 2016). Auch ansonsten stellt agile Entwicklung evtl. gerade für stabile und bürokratische Organisationen eine besondere Herausforderung dar (Lappi & Aaltonen, 2017).

Die Spannung in der europäischen Raumfahrt-Community zeigte sich auch auf dem „ESA SW Product Assurance and Engineering Workshop 2017“. Neben mehreren Beiträgen zu agiler Entwicklung, verwies der Leiter der Abteilung Softwareproduktsicherung bei der ESA in seiner pointierten Abschlussrede darauf, dass agile Entwicklung sexy klinge, die Leute Teil des Spiels sein wollten, jedoch „Hoffnung“ keine neue Produktsicherungsmethode sei. Vielleicht sei auch die neue Rolle des *Scrum Masters* nur ein neuer Name für die gleichen alten Funktionen. Der anwesende Referent zum Thema agiler Entwicklung, den er fragte, ob er eine Firma gründen würde, die Flugsoftware agil entwickeln würde, verneinte die Frage. Unter mehreren angesprochenen Zuhörern bejahte nur einer die

Frage, ob er als Hauptauftragnehmer (Prime) einer kleinen Firma ohne erfolgreiche Reifegradbewertung einen Unterauftrag geben würde. Dafür war letzterer jedoch umso überzeugter, da er ja wisse, dass jene Firma, den agilen Prinzipien folgend, kontinuierliche Prozessverbesserung betreibt.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Das vorliegende Papier motiviert agile Entwicklung in der institutionellen europäischen Raumfahrt. Insbesondere werden zwei Artefakte – das neue ECSS Handbuch zu agiler Entwicklung und ein Kapitel zu agiler Softwareentwicklung im nationalen Anforderungskatalog für Produktsicherung und Safety – vorgestellt. Die institutionelle europäische Raumfahrt macht mit den zwei beschriebenen Artefakten einen deutlichen Schritt in Richtung NewSpace und agile Entwicklung. Doch es bleiben auch noch einige Fragen offen. Um diese in Zukunft zufriedenstellend beantworten zu können und die Rahmenwerke weiter zu entwickeln, haben Ingenieure in den Projekten und deren Führungen nun in den nächsten Jahren Gelegenheit, praktische Erfahrungen mit agiler Softwareentwicklung in der Raumfahrt zu sammeln. So kann die Transformation der Softwareentwicklung in der Raumfahrt selbst den agilen Prinzipien der Iterationen und kleinen Schritte folgen.

LITERATURVERZEICHNIS

- Bund, K., Heuser, U. J., & Tatje, C. (2012). Super-Männchen statt Alpha-Tiere. *WirtschaftsWoche (online)*.
- Buzgan, A. (September 2017). Methods of Harmonizing Agile Software Development with ECSS (Präsentation). *ESA SW Product Assurance and Engineering Workshop*. Darmstadt.
- ECSS. (2012). *Release Note for ECSS standards*. Noordwijk, The Netherlands: ESA-ESTEC.
- ECSS-E-HB-40-01A. (2018). *Agile Software Development (Entwurf, in finaler Überarbeitung)*. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA.
- ECSS-E-HB-40A. (2013). *Space engineering - Software engineering handbook*. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA.
- ECSS-E-ST-40C. (2009). *Space engineering - Software*. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA.
- ECSS-Q-ST-80C. (2009). *Space product assurance - Software product assurance*. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA.
- Gennen, K. (2016). Auswirkungen hybrider Projektvorgehensmethoden auf den Softwareerstellungsvertrag. In M. Engstler, M. Fazal-Baqaie, E. Hanser, O. Linssen, M. Mikusz, & A. Volland, *Projektmanagement und Vorgehensmodelle* (S. 37-48). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Horn, R., Frischauf, N., Baumann, I., & Heinrich, O. (2016). *NewSpace: Geschäftsmodelle an der Schnittstelle von Raumfahrt und digitaler Wirtschaft*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Klünder, J., Hohl, P., Küpper, S., Krusche, S., Lous, P., Fazal-Baqaie, M., et al. (2018). Towards Understanding the Motivation of German Organizations to Apply Certain Software Development Methods. In *International Conference on Product-Focused Software Process Improvement (PROFES)*. Springer.
- Kreuzer, B., & Haader, M. (Januar 2017). Zukunft im Fokus. *Audi Magazin*, S. 24-27.
- Kuhrmann, M., Diebold, P., Münch, J., Tell, P., Trektore, K., McCaffery, F., et al. (Jan 2018, Early Access). Hybrid Software Development Approaches in Practice: A European Perspective. *IEEE Software*.
- Laplante, P. A. (2012). *Real-Time Systems Design and Analysis*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Lappi, T., & Aaltonen, K. (2017). Project governance in public sector agile software projects. *International Journal of Managing Projects in Business*, S. 263-294.
- Pernot, P. (2013). *La Horde Agile. «Qui ne transitionne pas se fossilise.»*, haiku préhistorique. Online: <https://pablopernot.fr/pdf/lahordeagile.pdf>.
- Prause, C., Bibus, M., Dietrich, C., & Jobi, W. (2016). Managing Software Process Evolution for Spacecraft from a Customer's Perspective. In M. Kuhrmann, J. Münch, I. Richardson, A. Rausch, & Z. H., *Managing Software Process Evolution*. Springer.
- Schiller, D., & Heinemann, J. (2014). ECSS - 20 Jahre Zusammenarbeit für die europäische Raumfahrt. *DLR Newsletter Countdown*.