



Aufbruch zu Space 4.0: Software Defined Satellite

Eine Initiative von Unternehmen, Universitäten und Instituten aus Deutschland mit Raumfahrtbezug

An der Erstellung dieses Dokuments waren die folgenden Personen beteiligt:

Name	Firma / Institution	Funktion
Carlos Arias	GTD GmbH	Kaufmännischer Leiter
Götz Anspach von Broecker	Airbus Defence & Space GmbH	Key Account Manager German Space Research Institutions and ESA Technology Programs
Hartwig Dirscherl	Philotech GmbH	Geschäftsführer
Rainer Elvermann	cbProcess GmbH & Co. KG	Geschäftsführer
Anton Fischer	etamax space GmbH	Geschäftsführer
Ludger Fröbel	ArianeGroup GmbH	Head of R&T Institutional Partnership & Funding National Technical Authority (NTA), JTFP
Dr. Rainer Gerlich	Dr. Rainer Gerlich System and Software Engineering BSSE	Inhaber
Dr. Ralf Gerlich	Dr. Rainer Gerlich System and Software Engineering BSSE	Senior Software Engineer
Dr. Hartmut Henkel	von Hoerner & Sulger GmbH	Managing Director
Dipl.-Ing. Jens Janke	CRN Management GmbH	Geschäftsführender Gesellschafter
Dr. Ralf Kneuper	Dr. Kneuper Beratung für Softwarequalitätsmanagement, Prozessverbesserung und Datenschutz	Inhaber
Prof. Dr. Michael Lauster	Fraunhofer-Allianz Space	Sprecher
Ulli Leibnitz	SCISYS Deutschland GmbH	Geschäftsführer
Dr. Jenny Malig	TWT GmbH Science & Innovation	Research Manager Advanced Technology Development
Dr. Siegbert Martin	Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG	Head of Development and Design, CTO
Dr. Harald Michalik	DSI Aerospace Technologie GmbH	Geschäftsführer
Prof. Dr. Sergio Montenegro	Universität Würzburg	Lehrstuhlinhaber Informationstechnik für Luft- und Raumfahrt
Wolfgang Pitz	SpaceTech GmbH	CEO
Hans Knut Raue	Jena-Optronik GmbH	Head of Sales
Dirk Roßkamp	OHB System AG	Bereichsleiter Software
Dr. Sebastian Scheiding	Astro- und Feinwerktechnik Adlershof GmbH	Geschäftsführer
Harald Selegrad	Airbus Defence and Space GmbH	Head of Data Processing & On Board S/W
Jürgen Seybold	TeleOrbit GmbH	Geschäftsführer
Lars Weimer	esc Aerospace GmbH	Geschäftsführer
Andreas Wiegand	Astos Solutions GmbH	Geschäftsführer
Dr. Georg Willich	Airbus Defence & Space GmbH	Head of Technical Strategy Space Germany

Inhalt

Inhalt	1
Zusammenfassung	2
Warum braucht Deutschland Kompetenz in Software-Technologie in der Raumfahrt?	3
Software ist Grundlage der Digitalen Transformation	4
Deutschland braucht Systemfähigkeit in der Raumfahrt	5
Systemfähigkeit in der Raumfahrt erfordert eigene Softwarekompetenz	6
Software wird in fast allen Elementen eines Raumfahrzeugs benötigt	7
Software ist in der Planung und Entwicklung von Raumfahrtmissionen unersetzlich	8
Software entscheidet mit über Erfolg oder Misserfolg von Missionen	9
Die Komplexität von Software steigt	10
Deutschland soll starker Partner sein	11
Ein Weg in die Zukunft	12
Eine Strategie für Raumfahrtsoftware entwickeln	13
Politische Vertretung ausbauen	14
Organisationsstrukturen stärken	15
Mit Industrie-4.0-Ansätzen die Software-Technologie weiterentwickeln	16
Innovation fördern	17
Unsere Empfehlungen	18

Zusammenfassung

Raumfahrt ist ein essentieller Baustein, Kristallisationspunkt und Voraussetzung für viele Bereiche im täglichen Leben, wie auch für Forschung und Technik. Viele **Aufgaben der staatlichen Daseinsfürsorge** in Deutschland **können ohne Raumfahrt nicht mehr erfüllt werden**. Eine eigenständige und unabhängige Systemfähigkeit der Bundesrepublik Deutschland auf dem Gebiet der Raumfahrt ist daher unabdingbar.

Raumfahrt kann aber nur erfolgreich und wettbewerbsfähig betreiben, wer auch Fähigkeiten im Bereich der Software-Technologie hat, gerade in einer Zeit der **rasant fortschreitenden Digitalisierung**. Software wird in allen Phasen einer Raumfahrtmission benötigt – von der Planung, über die Umsetzung und Betrieb bis zur Nutzung der Daten.

Mit der fortschreitenden Digitalisierung in der Raumfahrt steigen die **Anforderungen an die Software** erheblich. Steigende Komplexität und größere Datenmengen müssen durch Software bewältigt werden. Missionsdurchführung und Datenerzeugung im All sowie Missionsbetrieb und Datenverarbeitung am Boden erfordern technologische Antworten.

Der **Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit** in diesen Bereichen – gerade im Hinblick auf den stark wachsenden „New Space“-Markt (oder Space 4.0) – erfordert **höhere Flexibilität bei niedrigeren Kosten** und weiterhin hohen oder steigenden Qualitätsanforderungen. Prozesse und Entwicklungsmethoden – auch die der Software – werden beträchtlich umgestaltet werden müssen.

Hierzu sind eine **Strategie für Software-Technologie**, eine enge **Kooperation zwischen Industrie und Forschung** und ein **eigenes, planbares Budget** erforderlich.

Warum braucht Deutschland Kompetenz in Software-Technologie in der Raumfahrt?

Software ist Grundlage der Digitalen Transformation

Die Digitalisierung erschließt neue Potenziale für Wirtschaft und Forschung. Der digitale Austausch von Daten in der Produktion ermöglicht völlig neue Geschäftsmodelle und –konzepte mit höherer Flexibilität als je zuvor denkbar. Digitalisierung ist die Basis für Industrie 4.0 – die vierte industrielle Revolution.

Hierbei spielen Software und Kompetenzen in Software-Technologie eine zentrale Rolle. Software ist der zentrale Baustein aller Systeme, die die Digitalisierung erst ermöglichen. Software ist involviert in Datenerfassung, Produktion und Logistik, optimiert Verfahrensabläufe in Echtzeit, bereitet Daten für die Übertragung auf, steuert Prozesse und prüft Ergebnisse. Sie liefert die Daten und Berichte, aufgrund derer menschliche Entscheider die Richtung vorgeben, und führt diese Entscheidungen aus.

Schlechte Softwarequalität impliziert die Gefahr, die gesamte Digitalisierungsinfrastruktur zum Erliegen zu bringen – sei es durch Fehlfunktionen, Verzögerungen, Angriffe oder anderweitig unauthorisiertem Zugang von außen. Einzelne Fehler können sich durch das System fortpflanzen.

Hohe Softwarequalität hingegen ist Voraussetzung, die Potenziale der Digitalisierung zu heben. Um diese zu erreichen, braucht Deutschland exzellente Fähigkeiten in der Software-Technologie, von der Planung über die Implementierung bis zur Sicherstellung der Qualität und Fortentwicklung der Systeme.

Diese Fähigkeiten auszubauen und zu erhalten ist Aufgabe aller Beteiligten – der Forschung, der Industrie und der Politik.

Analog zu Industrie 4.0 wird unter „Space 4.0“ unter anderem die aktuelle Entwicklung hin zu schnelleren und insbesondere kostengünstigen Weltraummissionen verstanden. Auch hier ist die Digitalisierung ein essentieller Baustein, ohne den keine wettbewerbsfähige Systemfähigkeit in der Raumfahrt in Zukunft möglich sein wird.

Deutschland braucht Systemfähigkeit in der Raumfahrt

Raumfahrtinfrastruktur ist essentieller Baustein unseres **wirtschaftlichen Erfolgs**, unserer **politischen Handlungsfähigkeit** und unseres **Zugangs zu Wissen und Technik**.

Denn:

Infrastrukturelemente wie Verkehrswege, die Stromversorgung oder die Katastrophenhilfe sind bereits jetzt in Deutschland **nicht mehr ohne die Möglichkeiten der Raumfahrt denkbar**, wie etwa der Satellitennavigation, der Telekommunikation auch in entlegenen Gebieten, der Wetter- und Klimabeobachtung, der Fernerkundung mit Hilfe von Satellitenbildern oder auch der Zeitsteuerung, etwa für die Fertigungstaktung oder Koordinierung von Bankgeschäften.

Diese Aufgaben gehören zur Daseinsvorsorge. Deutschland benötigt deshalb auch eigenständigen Zugang zur Raumfahrt.

Deshalb muss Deutschland über **eigene Systemfähigkeit** in der Raumfahrt verfügen und sie vollständig und **unabhängig** von Dritten aufrechterhalten.

Systemfähigkeit in der Raumfahrt erfordert eigene Softwarekompetenz

Die **Fähigkeiten** von Systemen werden essentiell **durch Software bestimmt**. Software-Technologie ist der Schlüssel für Effizienz, Qualität und Sicherheit.

Denn:

Bereits die Apollo-Missionen der NASA vor fast 50 Jahren wären ohne Software – an Bord wie auf dem Boden – kaum denkbar gewesen. Die Navigationsaufgaben dieser Missionen waren nur mit Computern und Software erfüllbar.

Und auch heute ist **Software kritischer Bestandteil aller Raumfahrtmissionen**. Sie wird in der Vorbereitung und Planung von Missionen eingesetzt oder zu deren Steuerung –im All wie auf der Erde. An Bord von Satelliten und Sonden reagiert sie **autonom** auf Fehlersituationen, um den **Fortbestand der Mission** zu sichern, und ermöglicht die flexible Anpassung an Nutzeranforderungen.

Im Nutzersegment stellt Software das wesentliche Element dar, um aus den gesammelten Daten (big data), verwertbare „smart“ Daten zu erzeugen, welche sowohl im institutionellen wie auch im stark wachsenden kommerziellen Bereich genutzt werden.

Auch in Zukunft werden die **Anforderungen** an die Software für Missionen weiter **wachsen**.

Für die Entwicklung, Wartung und Weiterentwicklung dieser **kritischen Software** bedarf es angepasster Werkzeuge und Prozesse zur Planung, Implementierung, Prüfung und Evaluierung.

Deshalb müssen zum **Erhalt der Systemfähigkeit** in der Raumfahrt auch die **Kompetenzen in der Raumfahrtsoftware** ausgebaut und erhalten werden.

Software wird in fast allen Elementen eines Raumfahrzeugs benötigt

Software ist in fast allen Teilen eines Raumfahrzeugs präsent, auch wenn sie – anders als Strukturen oder Elektronik – nicht direkt sichtbar ist.

System- und Subsystemmanagement, Lage- und Bahnregelung (Attitude and Orbit Control System – **AOCS**), **Navigation** (Guidance, Navigation and Control – **GNC**) sowie **Missionsführung** benötigen Software zur Erfüllung ihrer Aufgabe.

Aber auch **Sensoren** wie z.B. **Kameras, Startracker** oder auch die **Laserinterferometer** für den geplanten Gravitationswellendetektor **LISA** enthalten Softwareanteile, die zur Steuerung der Hardware oder zur Auswertung der Rohdaten verwendet werden.

Genauso werden **Aktuatoren** wie z.B. **Drallräder, Kaltgasdüsen, Magnetspulen** oder **Ionenantriebe** von teilweise hochkomplexen, in Software implementierten **Regelungsalgorithmen** gesteuert, etwa, um den Impuls von Antrieben hochgenau zu dosieren.

Das **Power-Subsystem** verteilt die begrenzt zur Verfügung stehende Energie und sichert bei Energieknappheit den Betrieb des Raumfahrzeuges. Die richtige **Lade- und Entladestrategie** kann die **Lebensdauer** von **Batterien** und damit die mögliche Missionsdauer signifikant verlängern. Das **Thermal-Subsystem** regelt die Wärmezu- oder -abfuhr, auch bspw. in Kooperation mit dem Power-Subsystem durch Ein- und Ausschalten von Verbrauchern. Auch diese Vorgänge werden durch Software gesteuert.

Erdbeobachtungssysteme mit hohen Auflösungen erfordern hohe **Datendurchsätze** bei der Übertragung und somit spezialisierte Kommunikationslösungen. Dafür u.a. eingesetzte **Laser Communication Terminals** müssen hochgenau ihrem Ziel nachgeführt werden, wofür komplexe Regelungssoftware erforderlich ist.

Software ist in der Planung und Entwicklung von Raumfahrtmissionen unersetzlich

Die effektive und effiziente **Auslegung** einer Raumfahrtmission hängt von der Fähigkeit der Software ab, die **Machbarkeit** entsprechend den Anforderungen mit dem notwendigen Aufwand sicherzustellen. Immer komplexer werdende Missionen erfordern deutliche flexiblere Ansätze, um **belastbare Ergebnisse** zu erhalten, die eine Projektfortführung mit **gesicherten Kostenschätzungen** ermöglichen.

Schon in den frühen Phasen der Entwicklung spielen Simulationen verschiedener Arten für die Missionsplanung eine Rolle. Diese Simulationen werden durch Software realisiert. Orbits und Trajektorien etwa können gezielt untersucht und das Operationskonzept frühzeitig erprobt werden. Nicht nur die Machbarkeit kann dadurch nachgewiesen werden, sondern es wird auch eine signifikante Zeit- und Kostenersparnis erzielt.

In der Detailauslegung kommt unterschiedliche Spezialsoftware zum Einsatz, etwa für die Planung des **Thermalmanagements** im Vakuum. **Tragstrukturen** oder **Kabelbäume** werden heute mit spezialisierter Software entworfen und optimiert. Damit können **Gewicht** und Platz **eingespart** werden, zwei in der Raumfahrt sehr wertvolle Güter.

Testsysteme stellen in der Raumfahrt wegen der Unerreichbarkeit des Systems nach dem Start einen besonders kritischen Aspekt dar. Software wird zur **effizienten Abwicklung der Tests** benötigt und stellt sicher, dass alle möglichen Fehlerfälle abgedeckt werden, um so Totalausfälle der Mission zu vermeiden. Um Kosten zu sparen, findet eine **Verschiebung** der Schwerpunkte von hardware-basierten Tests **zur Software** bereits statt.

Software entscheidet mit über Erfolg oder Misserfolg von Missionen

Software ist als **integraler Bestandteil** von Raumfahrtssystemen auch immer **potenzieller Teil der Fehlerkette**. Am **4. Juni 1996** wurde die neue europäische Trägerrakete **Ariane 5** bei ihrem Erstflug zerstört. Ursache waren u.a. Fehler in der Software der für die Lagebestimmung und –regelung zuständigen Module.

Am **23. September 1999** brach der Kontakt zum **Mars Climate Orbiter** unerwartet ab. Der Orbiter war zu tief in die Mars-Atmosphäre eingedrungen und dort auseinandergebrochen. Ursache waren uneinheitliche Skalierungen von physikalischen Einheiten in verschiedenen Softwaremodulen.

Am **19. Oktober 2016** schlug **Schiaparelli** auf der Marsoberfläche auf und wurde zerstört. Die Software hatte in 3,7km den Abwurf des Bremsfallschirms und die Zündung der Bremsdüsen eingeleitet, weil sie fälschlicherweise annahm, das Modul sei unterhalb der Marsoberfläche. Ursache war die Fehlinterpretation von Daten des Radarhöhenmessers.

In diesen und anderen Fällen waren Softwarefehler **Fehlerursache** oder zumindest Grund für die Fortsetzung der Fehlerkette. **Monetäre Ausfälle** – im Einzelfall in dreistelliger Millionenhöhe – und **Reputationsschäden** waren die Folge.

Vor allem ist es korrekt funktionierende Software, die **spektakuläre Missionen** erst ermöglicht. Bei vielen Missionen muss Software **kritische Entscheidungen** eigenständig treffen, um das System in der unwirtlichen Umgebung am Leben zu erhalten, damit es genau zum richtigen Zeitpunkt einsatzfähig ist.

Ein Beispiel hierfür ist die **Rosetta**-Mission, bei der die Software unter anderem durch das Temperaturmanagement während der Tiefschlafphase und das Aufwecken vor Erreichen des Ziels steuerte. Ohne zuverlässige fehlertolerante Software wäre auch die Mondlandung von **Apollo 11** nicht möglich gewesen.

Somit ist Software eine **systemkritische Komponente aller Missionen**.

Die Komplexität von Software steigt

In praktisch allen Aspekten übernehmen Bordrechner in Raumfahrzeugen zusätzliche Aufgaben, die Anzahl der Softwarekomponenten und deren Umfang sowie Komplexität steigen stetig. Bei **autonomen Robotikmissionen** müssen u.a. Kameradaten an Bord verarbeitet werden, damit Messdaten zur Steuerung und Regelung rechtzeitig zur Verfügung stehen. Die **großen Datenmengen** bei Erdbeobachtungsmissionen erfordern eine Vorverarbeitung an Bord, z.B. durch Kompression, damit die Daten mit den verfügbaren Bandbreiten und Übertragungszeiten zum Boden übertragen werden können.

Aspekte der **Zugriffssicherheit** erfordern Methoden zur Absicherung von Kommunikationskanälen durch Verschlüsselung und Authentifizierung. Deren Implementierung muss so umgesetzt werden, dass keine ungewollten Hintertüren entstehen.

Das Ziel, durch die Standardisierung und **Erhöhung der Stückzahlen** die Hardwarekosten zu senken und ihre Qualität zu steigern, kann nur erreicht werden, wenn die spezialisierte Funktionalität von Software übernommen wird. Dies **führt zu steigender Komplexität der Software** bei höherer, insbesondere zeitlicher Flexibilität – bei Plattformen wie bei Instrumenten.

Höhere Komplexität und Flexibilität implizieren aber auch höheren **Implementierungsaufwand**, ein höheres **Fehlerpotenzial** und in Folge ein höheres Risiko.

Die **Prozesse, Verfahren und Werkzeuge**, die zur Entwicklung und Prüfung von Software verwendet werden, müssen mit diesem Trend Schritt halten, indem ihre Effizienz wesentlich verbessert wird. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die Kosten- und Qualitätsverbesserungen bei der Hardware durch gleich hohe oder gar höhere Risiken und Kosten bei der Software erkauft werden.

Deshalb bedarf es nach wie vor **kontinuierlicher Anstrengungen**, bestehende Konzepte der Softwareentwicklung fortzuentwickeln, sie immer wieder an der Realität zu messen und sie bei Eignung oder Notwendigkeit auch komplett durch neue, nachweislich bessere und effizientere Ansätze zu ersetzen.

Deutschland soll starker Partner sein

Deutschland soll in internationalen Vorhaben starker Partner sein und bleiben.

Ein starker Partner kann aber nur sein, wer eigenständig technologisch stark ist. Das macht es erforderlich, die **eigenen Fähigkeiten zu pflegen und stetig auszubauen**.

Internationale Teamfähigkeit setzt zudem auch **Urteilsfähigkeit** bezüglich der Aktivitäten und Möglichkeiten der anderen Teammitglieder heraus. Nur wer eigene Kenntnisse in den relevanten Themenbereichen hat, kann auch sinnvoll und zielgerichtet zum **Erfolg des gesamten Teams** beitragen.

Diese **Fähigkeiten** sind in der Softwareentwicklung in Deutschland auch für die Raumfahrt vorhanden. Sie müssen jedoch weiter erhalten und ergänzt werden. Insbesondere ist eine stärkere, auf Synergien gerichtete Zusammenarbeit zwischen den Kompetenzträgern erforderlich, etwa im Bereich der **Standardisierung**.

Deshalb muss Deutschland auch in Zukunft die **eigene Stärke** durch **ausreichend Technologie-Kompetenz in der Raumfahrtsoftware** sichern.

Ein Weg in die Zukunft

Eine Strategie für Raumfahrtsoftware entwickeln

Technologieentwicklung erfordert Zeit und Ressourcen. Um diese effektiv und effizient nutzen zu können, bedarf es einer **Strategie**, die sich an den absehbaren Bedürfnissen und neuen Anforderungen und deren Fortschreibung orientiert.

Die Fortentwicklung ist dabei getrieben von den **Anwendungen** und den für ihre Umsetzung **erforderlichen Methoden und Fähigkeiten**. Um erfolgreich zu sein, muss eine entsprechende Strategie deshalb **gemeinsam** von den Bedarfsträgern aus **Politik und Wissenschaft** und den Vertretern von **Industrie und Forschung** erarbeitet werden.

Ziel muss dabei sein, **generelle**, nicht nur auf einzelne Missionen bezogene **Verbesserungen in der Raumfahrtsoftware** zu erreichen, um die verwendeten **Prozesse zu optimieren** und zu beherrschen. Dazu bedarf es Aktivitäten zur **Analyse bestehender Ansätze**, aber auch zur **Entwicklung neuer Ideen**, die ggf. auch zur **Ablösung alter Vorgehensweisen** führen müssen, wenn sie sich als **nachweislich** und **erheblich überlegen** erweisen.

Die Raumfahrtgemeinde in Deutschland muss sich **gemeinsam** der **Herausforderung** stellen, mit den vorhandenen Mitteln **mehr Aufgaben besser und effizienter zu erfüllen**.

Die Setzung eines Schwerpunkts für Software resultiert aus gegenwärtig sich anbahnenden Erfordernissen. Die Umstrukturierung der Raumfahrt zu **kostengünstigeren Lösungen** ist zur Wahrung der internationalen **Konkurrenzfähigkeit** notwendig. Die verstärkte Digitalisierung und die Entwicklung zur Industrie 4.0 erfordern Anpassungen auch in der Software-Technologie. Notwendige Kosteneinsparungen und höhere Flexibilität erzwingen eine **Verschiebung des Schwerpunkts von Hardware- zu Softwarelösungen**. Auch wird die Industrie **verfügbare kommerzielle Lösungen** deutlich stärker annehmen als in der Vergangenheit. Es gilt dieser neuen Situation Rechnung zu tragen und den **Markt mit zu gestalten**.

Politische Vertretung ausbauen

Fähigkeiten in der Software sind auch außerhalb der Raumfahrt nutzbar. Somit lässt sich durch Technologietransfer weiterer volkswirtschaftlicher Nutzen schaffen. Andere Staaten wie z.B. **Frankreich** investieren auch deshalb stark in Software-Technologie bspw. bei Trägersystemen und bei der Systeminfrastruktur, aber auch in den Bereichen Luftfahrt und Kernkrafttechnik. **Neue Mitgliedsländer der ESA** konzentrieren sich auf Software in der Raumfahrt. Durch diese Tendenz entsteht **strategischer und wirtschaftlicher Druck** auf die Kompetenzträger der Raumfahrtsoftware in Deutschland.

Entsprechende Aktivitäten auf **technischer, administrativer** und nicht zuletzt **politischer** Ebene sind auch in Deutschland erforderlich, um angemessene Chancen zur **Teilnahme am Wettbewerb** in der europäischen und internationalen Raumfahrt für **Lösungen und Produkte aus Deutschland** zu sichern.

Die **deutschen Raumfahrtinteressen** umfassen auch Fragen der Software-Technologie und angrenzender Themen. Es ist deshalb Aufgabe von Politik, Industrie und Forschung, hierzu gemeinsam **Positionen** zu entwickeln, und diese aktiv und nachhaltig in den entsprechenden Gremien zu vertreten.

Organisationsstrukturen stärken

Die **Fortentwicklung von Fähigkeiten** auf dem Gebiet der Raumfahrtsoftware ist notwendige Voraussetzung für den weiteren Zugang zur Raumfahrt und ihren Möglichkeiten insgesamt. Entsprechende Aktivitäten dienen damit den Bedürfnissen und Interessen des Bundes auf dem Gebiet der Raumfahrt.

Um dem Rechnung zu tragen, bedarf es auch administrativer und auf die Themen der Raumfahrtsoftware bezogener zusätzlicher fachlicher **Kapazitäten**, um Zuwendungs- wie Auftragsvorhaben qualifiziert zu verwalten und zu betreuen.

Kooperation und Dialog zwischen Forschungseinrichtungen, forschenden Unternehmen und industriellen Marktteilnehmern zur Fortentwicklung der Fähigkeiten auf dem Gebiet der Raumfahrtsoftware müssen intensiviert und ausgebaut werden. Der Transfer sollte dabei nicht auf eine Richtung beschränkt sein: Forschung und industrielle Anwendung gehen Hand in Hand und sichern gleichermaßen den Fortschritt.

Der möglichst nahtlose Übergang von Ergebnissen der Forschung von industriellen und institutionellen Einrichtungen in die industrielle Praxis durch Erfahrung in konkreten Projekten spielt hierbei eine wichtige Rolle. Dazu müssen **alle vorhandenen fachlichen Kapazitäten** genutzt und ausgebaut werden.

Mit Industrie-4.0-Ansätzen die Software-Technologie weiterentwickeln

Die Ideen für die vierte industrielle Revolution – Industrie 4.0 – basieren auf Automation, der Vernetzung der Produktion und dem Austausch von Produktionsdaten. Dafür müssen **harmonisierte Schnittstellen** zwischen den Beteiligten geschaffen werden. Dies gilt ebenso in der Raumfahrt: Space 4.0

Ziel ist, zu **geringeren Kosten, flexibler, schneller und mit höherer und konstanter Qualität** zu produzieren sowie die Produktion und die daran Beteiligten besser zu koordinieren. Die Produzenten sollen von der Produktionsorganisation entlastet werden, sich auf die Entwicklung neuer Produkte konzentrieren und diese schneller auf den Markt bringen können.

Der Produktionsstraße in der Welt der materiellen Güter entsprechen in der Software **Entwicklungsprozesse und –werkzeuge**. Geeignete Methoden und Werkzeuge für Software ermöglichen, mit wenig Vorlaufzeit neue Ansätze auszuprobieren und frühzeitig Risiken zu erkennen.

Die Herausforderung für die Raumfahrtsoftware auf dem Weg hin zu Space 4.0 ist nun, solche Entwicklungsprozesse zu definieren und zur Anwendung zu bringen. Es gibt eine Vielzahl von Spezialgebieten und Spezifikationsformen, die dafür koordiniert und harmonisiert werden müssen. Solche Prozessverbesserungen sind nur auf Grundlage einer **fortlaufenden Analyse** des derzeitigen Stands möglich.

In der Raumfahrtsoftware erfordert Industrie 4.0 also die **Vernetzung der Entwicklungsteams**, die (Re-)Organisation der Prozesse und die Anpassung der Schnittstellen zwischen den Entwicklungsschritten.

Dafür ist eine **gemeinsame Kraftanstrengung** aller Beteiligten nötig, um geeignete Harmonisierungsansätze zu finden, ihre Umsetzung zu realisieren und dadurch konkurrenzfähig zu bleiben.

Innovation fördern

Bereits jetzt arbeiten Industrie, Institute und Universitäten an innovativen Ideen zur Software-Technologie für die Raumfahrt von morgen. Die Unternehmen bringen dabei in Eigenleistung Mittel in erheblichem Umfang für Forschung und Entwicklung auf. Besonders für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) stellt dies eine große finanzielle Herausforderung dar.

Investitionen sind zwingend erforderlich, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Nur eine durch Innovation wettbewerbsfähige Raumfahrtindustrie in Deutschland kann eine eigenständige Systemfähigkeit aufrecht erhalten, insbesondere im Hinblick auf die beträchtlichen Mittel, die in anderen Ländern für die Software-Technologie bereitgestellt werden.

Deshalb müssen die Rahmenbedingungen geschaffen werden – auf politischer Ebene sowie finanziell und administrativ, um Innovation zu fördern und den Unternehmen zu ermöglichen, die für die Eigeninvestitionen benötigten Mittel auch zu erwirtschaften.

Unsere Empfehlungen

Aufgrund der auf den vorangegangenen Seiten dargelegten Fakten und Aspekten werden folgende konkrete Maßnahmen empfohlen:

- Inhaltlich ist – in Kooperation von Politik und Verwaltung, Industrie und Forschung – eine **Strategie für Software-Technologie** zu erarbeiten,
 - die sicherstellt, dass **Softwarefähigkeiten in Deutschland** für die Raumfahrt erhalten bleiben und den stetig wachsenden Anforderungen vorausschauend angepasst werden, und
 - durch die gewährleistet wird, dass Anbieter aus Deutschland auch weiterhin im Bereich der Raumfahrtsoftware am **internationalen Wettbewerb** konkurrieren können.
- Die Kooperation und der bidirektionale Transfer von Ergebnissen und Erkenntnissen zwischen **Industrie und Forschung** – auch außerhalb der Raumfahrt – soll gefördert werden. Für den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis sind Möglichkeiten zur Qualifizierung von Software-Technologie zu schaffen.
- Die **Lizenzbedingungen** für die Nutzung von Technologieanalysen und -entwicklungen aus Bundesaufträgen durch Dritte sind zu klären.
- Es werden aussagekräftige **Effizienz- und Qualitätsanalysen** benötigt, um fundiert technische und strategische Entscheidungen hinsichtlich bestehender wie auch neuer Entwicklungsoptionen treffen zu können.
- Zur Umsetzung dieser Ziele bedarf es finanzieller und personeller Ressourcen. Wir halten deshalb ein **eigenes, planbares Budget und Personal** für Aktivitäten für Software-Technologie im nationalen Programm wie auch auf ESA-Ebene für erforderlich.

Fassung vom 20. März 2018

Impressum

Herausgeber

Dr. Rainer Gerlich System and Software Engineering
Auf dem Ruhbühl 181
88090 Immenstaad

Quellennachweis:

Wikipedia/public domain (Rosetta), DLR/Alejandro Morellon CC-BY 3.0 (Earth from space), DLR/Thilo Kranz CC-BY 3.0 (Ariane 5ES liftoff with ATV), DLR CC-BY 3.0 (Bodenstation Weilheim), NASA/public domain (View of ATV-2), NOAA/public domain (Metop-A satellite)

Code-Ausschnitte: RODOS (<http://www8.informatik.uni-wuerzburg.de/wissenschaftsforschung/rodos/>)

Lizenzen:

CC BY 3.0: <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>