

Schlussbericht

Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP): Verbundvorhaben BRIST: Brennstoffzelle, Integration und Systemtests - Teilvorhaben D

FKZ: 03BV113D

Dok.- Nr.: BM/A2023/BR/SCHLBER

Version: 1.0

Anzahl Seiten: 15

Status: freigegeben

Stand: 24.04.2015

Autoren: Rainer Grimm, Ralph Götz

Berner & Mattner Systemtechnik GmbH
Erwin-von-Kreibitz-Straße 3
80807 München

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur unter dem Förderkennzeichen 03BV113D gefördert.



Nationales Innovationsprogramm
Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Koordiniert durch:



Nationale Organisation Wasserstoff-
und Brennstoffzellentechnologie

Projektträger:
Projektträger Jülich – Forschungszentrum Jülich GmbH



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

ABSTRACT

Herstellung und Nachweis der technologischen Reife und Wirtschaftlichkeit neuer Technologien beim Einsatz in missions- und sicherheitskritischen Anwendungen wie Verkehrsflugzeugen erfordern, alle betroffenen Teilsysteme nicht nur des eigentlichen Produktes (Flugzeuges), sondern des gesamten Missionssystems (Flugbetriebes) zu betrachten. Die Entwicklung entsprechender Systemarchitekturen erfolgt aus Gründen der Wirtschaftlichkeit stufenweise, wobei für die Verifikation (Erfüllung der Anforderungen) und Validierung (Eignung für den Anwendungsbereich) je nach Grad der nachzuweisenden technologischen Reife statische Systemmodelle, Simulationen und reale Laborkonfigurationen in geeigneter Kombination eingesetzt werden.

In der Umsetzung bedeutet dies, jeweils eine hinreichend vollständige und in sich konsistente Gesamtinformation herzustellen, welche für den Nachweis des betreffenden Reifegrades und der Übertragbarkeit auf die Anwendung geeignet ist. Um dies zu erreichen, sind jeweils alle Komponenten dieses so entstehenden Gesamtmodells in koordinierter Weise unter Berücksichtigung des Standes aller benachbarten Modellkomponenten, also Zug um Zug parallel, zu gestalten. Die Komplexität des Gesamtsystems und die große Zahl beteiligter Fachdisziplinen bedingen eine entsprechend umfangreiche Projektorganisation, bei der oftmals, wie auch im Projekt BRIST, auf viele Standorte verteilte Organisationseinheiten eng zusammenarbeiten müssen.

Für diesen Zweck hat die Berner & Mattner Systemtechnik GmbH im Projekt BRIST auf Basis eines bereits zuvor entworfenen theoretischen Konzeptes für die effiziente Herstellung konsistenter und vollständiger Systemmodelle eine fächerübergreifend anwendbare Lösung für die effektive Unterstützung eines entsprechenden voll integrierten Engineerings und Managements in verteilten Umgebungen entwickelt und in einem prototypischen Framework realisiert. Der vorliegende Schlussbericht beschreibt die Vorgehensweise und Ergebnisse dieser Entwicklung.

SCHLAGWORTE

Entwicklung, Komplexität, Modellierung, Multidisziplinarität, Projektkoordination, System, Systemmodell, Systemtest, Technologischer Reifegrad (engl. *Technology Readiness Level, TRL*), Verteilung, Zugriffsregelung

INHALTSVERZEICHNIS

1	KURZDARSTELLUNG	1
1.1	AUFGABENSTELLUNG	1
1.2	VORAUSSETZUNGEN	2
1.3	PLANUNG UND ABLAUF	2
1.3.1	Ursprüngliche Planung (Antrag).....	2
1.3.2	Planungsanpassung bei Kick-off (15.12.2010).....	3
1.3.3	Ablauf	5
1.4	WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND.....	5
1.5	ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN	6
2	EINGEHENDE DARSTELLUNG.....	7
2.1	VERWENDUNG DER ZUWENDUNG UND DES ERZIELTEN ERGEBNISSES IM EINZELNEN, MIT GEGENÜBERSTELLUNG DER VORGEgebenEN ZIELE	7
2.1.1	Konsistenzgeprüfte Modellierung und Verknüpfung von Daten.....	7
2.1.2	Automatisierte Generierung von Dokumenten	7
2.1.3	Wissensmanagement (Allgemein- und Fachwissen).....	8
2.1.4	Geregelter Zugriff auf Daten	8
2.1.5	Management- und Prozessunterstützung (Auftragsverfolgung)	8
2.1.6	Erweitere Engineering-Unterstützung	9
2.1.7	Anbindung fachspezifischer Werkzeuge	9
2.2	WICHTIGSTE POSITIONEN DES ZAHLENMÄßIGEN NACHWEISES	10
2.3	NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT	10
2.4	VORAUSSICHTLICHER NUTZEN, INSBESONDERE DER VERWERTBARKEIT DES ERGEBNISSES IM SINNE DES FORTGESCHRIEBENEN VERWERTUNGSPLANS	10
2.5	WÄHREND DER DURCHFÜHRUNG DES VORHABENS BEKANNT GEWORDENER FORTSCHRITT AUF DEM GEBIET DES VORHABENS BEI ANDEREN STELLEN	11
2.6	VERÖFFENTLICHUNGEN DES ERGEBNISSES	11
3	ERFOLGSKONTROLLBERICHT	11

1 KURZDARSTELLUNG

1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung für die Berner & Mattner Systemtechnik GmbH in BRIST, maßgeblich zum Kapitel 2 „Konzeption/Simulation“, leitet sich direkt aus den besonderen Herausforderungen der übergeordneten Aufgabenstellung der Integration und des Systemtests des multifunktionalen Brennstoffzellensystems zum Nachweis des jeweils angestrebten technologischen Reifegrades (engl. *Technology Readiness Level, TRL*, hier: TRL6) durch Airbus ab. Diese ist gekennzeichnet durch

- a) den Umfang und die große Komplexität des Gesamtsystems und
- b) die Randbedingung der verteilten Entwicklung durch die Projektpartner.

Der Umfang des insgesamt zu betrachtenden Missionssystems (Flugzeug, verschiedene atmosphärische Bedingungen und Infrastruktur am Boden) ergibt sich aus der Anforderung, die Gesamtwirtschaftlichkeit im operativen Betrieb zu bewerten. Die große Komplexität ergibt sich aus der Vielzahl von Subsystemen, die von einem Ersatz des turbinengetriebenen Hilfsaggregats durch ein Brennstoffzellensystem betroffen sind, nicht zuletzt, weil neben der Hauptfunktion der Stromerzeugung jeweils andere Zusatzfunktionen genutzt werden müssen, um eine gesamtwirtschaftlich sinnvolle Anwendung zu erreichen. Entsprechend ist das Zusammenwirken der betroffenen Subsysteme, und damit auch ihre funktionelle Auslegung, durch eine entsprechend große Anzahl beteiligter Fachdisziplinen, vertreten durch interner Stellen, aber auch Hochschulen, Forschungseinrichtungen und industrielle Partner an unterschiedlichen Standorten, gemeinschaftlich völlig neu zu konzipieren.

Die effiziente Gestaltung geeigneter Lösungen und deren Verifikation und Validierung gegenüber den übergeordneten Anforderungen erfordern ein schrittweises Vorgehen auf Basis eines weitgehend modell-basierten Ansatzes, wobei zur Klärung der aufkommenden Fragestellungen in Teilbereichen je nach Eignung statische Analysen, Simulationen und schließlich auch Labortests zum Einsatz kommen. Maßgeblich für den Nachweis der technologischen Reife sind die Vollständigkeit der abgedeckten Aspekte, die durchgängige Nachvollziehbarkeit der Entwurfsinformation in Bezug zu den übergeordneten Anforderungen, und insbesondere die Konsistenz der im Rahmen der verteilten Entwicklung von den Partnern ggf. unabhängig erstellten Teilmodelle.

Die Aufgabe von Berner & Mattner ist dabei die Entwicklung/Realisierung von geeigneten Verfahren der koordinierten arbeitsteiligen modell-basierten Entwicklung, welche geeignet sind, die schrittweise Optimierung von Lösungsansätzen für den Einsatz multifunktionaler Brennstoffzellensysteme und den Nachweis ihrer technologischen Reife von den Anforderungen bis zum Labortest unter der Randbedingung verteilter Entwicklung in effektiver Weise zu unterstützen.

1.2 Voraussetzungen

Der im Projektantrag BRIST vom 11.09.2009 dargestellten Planung lag die Annahme zu Grunde, dass direkt auf den Ergebnissen eines vorangegangenen Projektes aufgesetzt werden könne (s. Projektantrag, Abschn. II.2 „Bisherige Arbeiten der Konsortialpartner“: „... Für Airbus Operations hat Berner & Mattner [im Rahmen eines Projektes in 2007/08] einen durchgängigen modellbasierten Entwicklungsprozess für die Entwicklung der multifunktionalen Brennstoffzelle (MFFCS) entwickelt und im Rahmen des TRL4 prototypisch realisiert“).

Die Realisierung dieses *prozess-orientierten* Ansatzes basierte auf dem bei Airbus bereits eingeführten “Requirements-based Engineering” (RBE) Prozess und einer entsprechend Werkzeug-*Kette*. Im Projekt BRIST sollte diese zu einer modellbasierten Integrationsplattform erweitert und an die (zum Zeitpunkt der Antragstellung noch nicht existierenden) Prüfstände (als letztes Glied in dieser *Kette*) angeschlossen werden.

1.3 Planung und Ablauf

1.3.1 Ursprüngliche Planung (Antrag)

Der Aufgabenpart der Berner & Mattner Systemtechnik GmbH beinhaltete laut Antrag in Kurzform die

- (1.) praktische Anwendung eines *durchgängigen* modell-basierten Ansatzes für Entwicklung, Integration und Test von Brennstoffzellen-Anwendungen,
- (2.) Absicherung des Vorgehens anhand der konkreten Fragestellungen im Entwicklungsprozess,
- (3.) Evaluierung der Anwendbarkeit zur Optimierung der Entwicklung innovativer Brennstoffzellen-Anwendungen, insbesondere
- (4.) für komplexe Brennstoffzellen-Anwendungen den Nachweis der
 - (4.1) erfolgreichen frühzeitigen Absicherung der Systemanforderungen,
 - (4.2) Nutzbarkeit der Systemarchitektur am Modell,
 - (4.3) Unterstützung bei der Systemauslegung durch ausführbare Systemmodelle,
 - (4.4) erfolgreichen frühzeitigen Integration durch die Emulation fehlender realer Komponenten durch Modelle und der
 - (4.5) erfolgreichen Ableitung automatisierter Systemtests aus den Anforderungsmodellen.

Diese Planung gibt in Kurzform wieder, dass über die klassische *prozess-orientierte* Dimension der Entwicklung hinaus (s. (1.) „... *durchgängig* ...“), die wegen der erforderlichen Nachweisführung unverzichtbar ist, die *gestalterische* Dimension der *modell-basierten* Entwicklung im Sinne eines effizienten (*concurrent*) Engineerings und Managements die eigentliche Erweiterung/Neuerung und damit den Schwerpunkt der durchzuführenden Arbeiten darstellte (s. (2.)ff in obiger Planung).

1.3.2 Planungsanpassung bei Kick-off (15.12.2010)

Deutliche Änderungen der Rahmenbedingungen für den Systemhersteller (Airbus) nach Antragstellung BRIST haben auf dessen Seite vor/außerhalb des Projektes BRIST, soweit für die Planung von Berner & Mattner für das Projekt BRIST relevant, folgende Anpassungen erfordert:

- vermehrte Untersuchungen zu relevanten physikalischen *Teilfragestellungen* auf Basis von Teilsimulationen, dazu
- Verstärkung der Zusammenarbeit mit Hochschulen für die Untersuchung spezifischer physikalischer Fragestellungen,
- kurzfristiger Aufbau von Prüfstandsfunktionalität für Teilaspekte von Brennstoffzellen-Anwendungen (zum Teil als vorgreifender Ersatz zu geplanten Möglichkeiten am Zentrum für angewandte Luftfahrtforschung, ZAL) sowie
- Zurückstellung von Fragen der übergeordneten Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit.

Im Unterschied zu dem zuvor favorisierten prozess-orientierten Ansatz im Sinne eines "Requirements-based Engineering" (*Top-down-Ansatz*, s. Projektantrag, Abschn. III.1.1 „Vorgehensweise zur Zielerreichung“) auf Basis der Werkzeugkomponenten DOORS/Rhapsody (IBM) war der Schwerpunkt nun auf die *parallelisierte Teilintegrationen* gelegt (*Bottom-up-Ansatz*) und Simulationen auf Basis physikalischer Modelle, die mit MATLAB, Simulink und Simscape (MathWorks) erstellt wurden – wobei die mit den entsprechenden (Teil-)Simulationen vielfach beauftragten Hochschulen nicht selbst Partner im Projekt BRIST waren.

Vor dem Hintergrund dieser geänderten Randbedingungen schlug die Berner & Mattner Systemtechnik GmbH mit Bezug zum vorgenannten Planungspunkt (2.) „Absicherung des Vorgehens ...“ vor, den Schwerpunkt auf die *effektive Unterstützung der technischen Koordination physikalischer Modellierungsaufgaben* zu legen. Dazu soll durch die Vorgabe der jeweils relevanten Modellparameter und Nachverfolgung der Erzeugung der Ergebnisse und ihrer Verwendung der Rückbezug zu den betreffenden übergeordneten Systemanforderungen wieder hergestellt werden – und damit rückwirkend die Anbindung an die (übergeordnete) prozess-orientierte Dimension der Entwicklung.

Hinweis: Diese Änderung der Vorgehensweise von "Requirements-based ..." (prozessorientiert, die vertikale Integration entlang einer „Lieferkette“ betonend) hin zu "Model-based ..." (ergebnisorientiert, die horizontale Integration im Sinne eines "Concurrent Engineering" betonend) bedeutete jedoch keine Änderung der Zielsetzung, einen Gesamt-Datenbestand zu erzeugen, auf Grund dessen ein Nachweis des jeweils geforderten technologischen Reifegrades und der Wirtschaftlichkeit für den Einsatz von Brennstoffzellensystemen in Verkehrsflugzeugen gegeben ist (Absicherung der Systemanforderungen).

Die – kostenneutrale – Umsetzung dieser angepassten Planung sah die Realisierung und den Einsatz eines prototypischen Werkzeug-Frameworks auf Basis folgender Elemente vor:

- (A) Ein (zu erstellendes) Frontend für die *Bearbeitung zugewiesener Bereiche* innerhalb einer Gesamtdatenmenge („Gesamtmodell“) unter *Nutzung* relevanter, in der jeweils aktuellen Version *verfügbarer Daten angrenzender Bereiche* (koordinierte gemeinsame Entwicklung).
- (B) Eine existierende, bei Berner & Mattner seit vielen Jahren eingesetzte Plattform für die [Entwicklung und] *gesicherte Verteilung* der vorgenannten Gesamtdatenmenge zwischen den Standorten der beteiligten Projektpartner.

Dieser Ansatz impliziert insbesondere

- eine praktikable Verwaltung und Nutzung aller bereits vorliegenden Daten (Dokumente, Modelle),
- eine automatisierte Konsistenzprüfung der Bezugnahme auf diese Informationen sowie
- eine (soweit realisierbare) automatisierte Generierung von Dokumentationen auf Basis (neu erstellter) strukturierter technischer und Managementdaten.

Das grundlegende methodische Konzept für einen solchen Ansatz war bereits 2008/09 bei Berner & Mattner entwickelt worden und konnte eingebracht werden (s. Abschnitt 1.4). Im Projekt BRIST zu leisten war damit die Realisierung eines (prototypischen) Werkzeug-Frameworks bestehend aus den vorgenannten Hauptkomponenten (A) und (B). Es wurde im Projekt BRIST unter dem Arbeitstitel “Engineering- & Management-Information Workbench” (EMiBench) geführt.

Die mit dieser Anpassung an die geänderten übergeordneten Anforderungen und Randbedingungen verbundenen verbesserten Möglichkeiten für die fächerübergreifende Herstellung konsistenter und vollständiger Systemmodelle war ausschlaggebend für die Akzeptanz dieser Vorgehensweise im Projekt BRIST seitens des Konsortialführers und der Projektpartner, im Einzelnen mit folgender, über das Projekt BRIST selbst hinaus gehender Begründung:

- Die vorrangig wichtigen, bereits begonnenen Teil-Modellierungen und -Simulationen sowie Teil-Integrationen und zugehörigen praktischen Tests können effizient lokal und separat durchgeführt werden.
- Ist die Praktikabilität der vorgeschlagenen Lösung demonstriert, ergeben sich für alle Beteiligten so erhebliche Verbesserungen hinsichtlich der Unterstützung verteilter Entwicklungen hochkomplexer Systeme für missions- und sicherheitskritische Anwendungen, dass der mit der Erstentwicklung einer solchen voll integrierten Lösung verbunden Aufwand gerechtfertigt ist – insbesondere für den Nachweis der höheren TRL, welche dann umfangreiche, ausreichend realitätsnahe und damit sehr aufwändige Testinstallationen erfordern, deren Übertragbarkeit auf die späteren operativen Einsatzbedingungen aufgrund der zuvor erarbeiteten Ergebnisse nachvollziehbar sein muss.

1.3.3 Ablauf

Die Umsetzung der angepassten Planung im Zeitraum von Ende 2010 bis September 2014 erfolgte gemäß folgenden, für den vereinbarten Ansatz festgelegten, logisch aufeinanderfolgenden Schritten:

- Konsistenzgeprüfte Modellierung und Vernetzung mit vorhandenen Datenquellen.
- Automatisierte Generierung von Dokumenten.
- Wissensmanagement (Grund- und Fachwissen) mit konsistenzgeprüfter Anwendung.
- Etablierung des Zugriffsrechtessystems, geregelter Zugriff der Partner auf den gesamten Datenbestand.

Folgende Erweiterungen waren als wertvoll für die praktische Anwendung eingestuft, jedoch nicht (in vollem Umfang) für eine Realisierung im Projekt BRIST eingeplant worden:

- Management- und Prozessunterstützung (Definition und Verfolgung von Aktivitäten).
- Erweiterte Engineering-Unterstützung mit spezifischem Editor und automatisierter Bewertung der Vollständigkeit von Modellen.
- Anbindung fachspezifischer Werkzeuge.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Der **Stand der Wissenschaft und Technik** wurde durch eine Internetrecherche mit letztlich folgender **Abgrenzung** ermittelt:

- Der Fokus bei der derzeit allgemein verfolgten sog. modellbasierten Systementwicklung (engl.: *Model-based Systems Engineering, MBSE*) liegt auf der Darstellung mit Elementen der Systems Modeling Language (SysML). Dabei ist von vorrangigem Interesse die „*sprachliche Eindeutigkeit*“ dieser Darstellungen. Die SysML versteht sich entsprechend als Sprache, aber *nicht* als Methode (s. Weilkens, 2009, *Systems Engineering mit SysML/UML: Modellierung, Analyse, Design*. 2. akt. u. erw. Aufl., dpunkt, Heidelberg).
- Im Unterschied dazu verfolgt die seitens Berner & Mattner in das Vorhaben BRIST eingebrachte Vorgehensweise vorrangig das Ziel, jeweils *noch fehlende Information methodisch, das heißt: inhaltsbezogen, zu identifizieren* und gezielt einer Klärung zuzuführen (integriertes Engineering und Management gemäß dem Leitmotiv „Relevante Fragen systematisch finden und beantworten“). Ein solcher ganzheitlicher Ansatz im Sinne eines voll integrierten Engineerings und Managements konnte sonst nicht gefunden werden.

- Die *methodische Grundlage*, welche die Machbarkeit eines solchen integrierten Verfahrens begründet, muss zumindest von prozessgestaltenden Anwendern verstanden werden und kann daher nicht in einem Softwarewerkzeug als verborgener Algorithmus implementiert werden. Sie wurde daher im November 2014 in Form eines wissenschaftlichen Beitrags zum Tag des Systems Engineering 2014 eingereicht und dort präsentiert (s. Götz, 2014, *Realität – Vorstellung – Darstellung, Ein effizienter analytischer Weg zu konsistenten und vollständigen Systemmodellen*, in Maurer/Schulze [Hrsg.] Tag des Systems Engineering, Bremen 12.-14. November 2014, Carl-Hanser Verlag, München, ISBN 978-3-446-44357-0, S. 411ff).
- Ein auf dieser methodischen Grundlage aufbauendes praktisches Verfahren, welches in einem unterstützenden Softwarewerkzeug implementiert werden kann, wurde im Projekt BRIST zunächst mit einer einfachen Benutzerschnittstelle realisiert, die mit „datenblattartigen“ Darstellungen auskommt, welche dem Gros der Anwender fächerübergreifend vertraut sind. In späteren Ausbaustufen könnten diese (u. a.) durch Darstellungen in Form von SysML-Diagrammen ergänzt werden.

Die nach Planung innerhalb von BRIST zu realisierende Unterstützung bezog sich (zunächst) auf die kontrollierte *Vernetzung* der gesamten Entwicklungsinformation und den reglementierten Zugriff auf diese durch die Projektpartner direkt an ihren jeweiligen Standorten in der gegebenen verteilten Entwicklungsumgebung.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen (über die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern hinaus) war weder aus wissenschaftlicher, noch aus technischer noch aus organisatorischer Sicht erforderlich oder geplant.

2 EINGEHENDE DARSTELLUNG

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Unter Verwendung der Zuwendungen wurde im Rahmen des Projektes BRIST ein Werkzeug-Framework mit derjenigen Funktionalität erstellt, die in Abschnitt 1.3.3 aufgelistet ist. Die Bearbeitung erfolgte im Wesentlichen in der Reihenfolge der betreffenden Abschnitte.

Erforderliche Anpassungen im Detail aufgrund geänderter Randbedingungen erfolgten in Abstimmung mit Airbus und den Partnern und sind jeweils angegeben. Die wesentlichsten Anpassungen betrafen die zeitlich verschobene Einsatzfähigkeit der bei Berner & Mattner seit vielen Jahren genutzten Plattform für die *gesicherte* Verteilung von Projektdaten zwischen Standorten beteiligter Projektpartner (s. Abschnitt 2.1.4) sowie den Abschluss erweiterter Engineering-Funktionalität. Letztere soll nun in Abstimmung mit Airbus außerhalb des Förderprojektes BRIST erreicht und nach erfolgreicher Demonstration zum Einsatz gebracht werden (s. Abschnitt 2.1.6).

Arbeitsanteile und Zielerreichung je funktionaler Komponente sind nachfolgend im Einzelnen beschrieben.

2.1.1 Konsistenzgeprüfte Modellierung und Verknüpfung von Daten

Implementiert wurde diese Kernkomponente des Frameworks für die Modellierung von Sachverhalten des Engineerings und Managements in Java auf Basis von Eclipse/EMF. Sie wurde bereits Mitte 2011 fertiggestellt und im Zuge der weiteren Entwicklung in den Grundzügen nicht mehr verändert.

Die Modellierung erfolgt darin auf Basis eines abgeschlossenen, minimalen Kategoriensystems (einer minimalen ontologischen Basis) mit einer übersichtlich gehaltenen Oberfläche mit baum- bzw. „datenblatt“-artigen Darstellungs- und Editiermöglichkeiten. Mit enthalten ist die Möglichkeit einer Bezugnahme zu vorhandenen Daten, Modellelementen und Dokumenten (Verlinkung), wobei die zeitliche Konsistenz automatisch geprüft wird (Hinweis: Dieser Ansatz zur Unterstützung der koordinierten Gestaltung von Systementwürfen ist als solcher nicht neu, sondern z. B. auf Ebene der Anforderungen im Werkzeug DOORS (IBM) schon früh bereitgestellt worden).

2.1.2 Automatisierte Generierung von Dokumenten

Eine erste Version des Dokumentengenerators, realisiert auf Basis von LaTeX, wurde auf Wunsch von Airbus bis Mitte 2011 als alleinstehendes Werkzeug für die Dokumentation der Prüfstandskonfiguration erstellt und ausgeliefert. Gründe für die Wahl dieser Realisierungsgrundlage waren der große Umfang der entstehenden Dokumente (bis über 1000 Seiten) und die einfache Möglichkeit der Ausgabe in einem elektronisch navigierbaren PDF-Format.

In 2013 wurde dieser Dokumentgenerator transferiert in die ursprünglich geplante Komponente für die Generierung von Dokumenten in Microsoft Word, um einen einfachen Mechanismus für die Definition von Dokumentvorlagen gemäß Corporate Design zur Verfügung stellen zu können.

2.1.3 Wissensmanagement (Allgemein- und Fachwissen)

Die Implementierung eines einfachen, aber effektiven Wissensmanagements (separiert nach öffentlichem Allgemein- und geschütztem Fachwissen) wurde in 2012 ergänzt durch die Möglichkeit der (freien) Definition von Klassen, von denen benötigte Modellelemente bei Bedarf abgeleitet werden können.

In 2013 wurde dieser Mechanismus erweitert um die Möglichkeit, den Grad der Übereinstimmung eines abgeleiteten und angepassten Elementes mit der betreffenden Klassendefinition bestimmen zu können.

2.1.4 Geregelter Zugriff auf Daten

Der unterstützende Funktionsbereich mit Zugriffsrechtssystem, Datenbearbeitung und -sicherung im Multi-User-Betrieb und Datenverteilung erforderte den größten Aufwand hinsichtlich Konzeption und Implementierung. Die Implementierung der Datenverteilung konnte zudem erst im Jahr 2013 begonnen werden, da die ursprünglich als sofort verfügbar angenommene, existierende Version der Verteilplattform (s. Abschnitt 1.3.2, Punkt B) aufgrund fortentwickelter Unternehmensrichtlinien zur Informationssicherheit auf eine neue Grundlage gestellt werden musste, was wegen gleichzeitig erforderlicher organisatorischer Änderungen im Unternehmen nicht sofort umsetzbar war.

Eine zufriedenstellende Lösung war in 2013 erreicht und konnte präsentiert werden. Die dadurch entstandenen Verzögerungen konnten insgesamt ausgeglichen werden, indem Entwicklungsanteile anderer Komponenten vorgezogen wurden.

2.1.5 Management- und Prozessunterstützung (Auftragsverfolgung)

Als wesentlicher Grundbaustein der Management- und Prozessunterstützung konnte bis Ende 2013 das organisationsbezogene Rechtssystem implementiert werden (s. Abschnitt 2.1.4), welches gleichzeitig die Zuweisung von Gegenständen zu verantwortlichen Entitäten regelt.

Eine erhebliche Steigerung der praktischen Anwendbarkeit ergibt sich durch die in nachfolgenden Phasen noch durchzuführende Integration mit der erweiterten Unterstützung des Engineerings (s. Abschnitt 2.1.6) und Erzeugung von Darstellungen (Dokumenten, insbesondere Spezifikationen), auch auszugsweise (eine entsprechende Anbindung an die rechnergestützte Telekommunikation konnte zum Projektende exemplarisch [ohne Textformatierung] demonstriert werden).

2.1.6 Erweitere Engineering-Unterstützung

Die erweiterte Engineering-Unterstützung betrifft die Möglichkeit der korrekten Handhabung einheitenbehafteter Größen in Formelaustrücken, Unterstützung bei der konsistenten Spezifikation von Schnittstellen, eine automatisierte Bewertung der Konsistenz und Vollständigkeit von Modellen insgesamt und nicht zuletzt verbesserte Editiermöglichkeiten einschließlich graphischer Darstellungen (z. B. mit SysML-Diagrammen).

Wegen der zu Beginn des Projektes BRIST nicht absehbaren Einschränkungen hinsichtlich der Verfügbarkeit der Plattform für die gesicherte Datenverteilung (s. Abschnitt 2.1.4) wurden erhebliche softwareinterne Anteile dieses Funktionsbereiches vorgezogen realisiert, wie z. B. die Ausführung einfacher Rechenoperationen (ähnlich Microsoft Excel) und die automatisierte Bewertung der Vollständigkeit von Modellen (in 2013), nicht mehr jedoch die Erweiterung durch grafische Editierfunktionen.

2.1.7 Anbindung fachspezifischer Werkzeuge

Die Anbindung fachspezifischer Werkzeuge wurde als Erweiterungsoption in BRIST planmäßig nicht mehr realisiert, sondern ist Gegenstand der Überleitung in die geplante wirtschaftliche Verwertung.

Ein Sonderfall einer solchen Anbindung stellt die Integration der Modellbildung für den Architektorentwurf mit Separation enthaltener Teilintegrationen für reale Tests im Labor auf einem jeweils entsprechend konfigurierten Prüfstand dar. Mit der Übernahme von Konfigurationsparametern zum Zwecke der Dokumentation (s. Abschnitt 2.1.2) hatte diese Integration ihren Anfang genommen. Vor einer Realisierung der umgekehrten Richtung (Propagieren von Parametern aus dem Modell in Richtung Prüfstand) ist jedoch die technologische Weiterentwicklung der verfügbaren Prüfstandstechnologie zu beachten, bzw. in Erweiterung die anstehende Ausstattung des Zentrums für angewandte Luftfahrtforschung, ZAL.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Während der Projektdurchführung sind Kosten in Form von Personal-, Reise- und Materialkosten angefallen, über die im Detail im Verwendungsnachweis berichtet wurde.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Notwendigkeit der geleisteten Arbeit leitet sich aus dem übergeordneten Bedarf des Systemherstellers Airbus ab, den Nachweis der technologischen Reife auch für so komplexe Anwendungen wie die Integration multifunktionaler Brennstoffzellensysteme in Flugzeuge in effizienter *und* nachvollziehbarer Weise erbringen zu können.

Die Angemessenheit ergibt sich aus dem wirtschaftlichen Verhältnis der dazu notwendigen Aufwendungen zum Gesamtaufwand für das übergeordnete Vorhaben von Airbus, dessen Bedeutung insgesamt durch die erforderliche Bewältigung der extremen Herausforderungen gegeben ist, die mit der Vereinbarkeit eines weiter wachsenden Luftverkehrs mit schärfer werdenden Umweltaforderungen verbunden sind.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Aus der Konzeption und Implementierung des Frameworks für die wirksame Unterstützung eines voll integrierten Engineerings und Managements für die fächerübergreifende, verteilte Entwicklung komplexer Systeme für missions- und sicherheitskritische Anwendungen wird mittelfristig folgender Nutzen erwartet:

- Der Systemhersteller Airbus erhält die Möglichkeit, sehr umfangreiche und komplexe Architektur- und Missionsmodelle in effizienter und nachvollziehbarer Weise mit internen Fachabteilungen, aber auch Hochschulen, Forschungsinstituten und Industriepartnern gemeinsam zu entwickeln und zu bewerten.
- Berner & Mattner erhält die Möglichkeit einer signifikanten Steigerung der Effizienz bei der Durchführung eigener komplexer Vorhaben mit gleichzeitig erhaltener Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse, und damit eine signifikante Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit im Kontext besonders anspruchsvoller Ingenieursdienstleistungen, wie sie bei Berner & Mattner durchgeführt werden.

Diese Vorteile sind jedoch nicht nur in der Luft- und Raumfahrtindustrie nutzbar, sondern auch im Bahn-, Automobil- und Industriebereich, wo durch den vermehrten Einsatz von Elektronik und eingebetteter Software sowie Vernetzung immer umfangreichere Systemabhängigkeiten geschaffen und gleichzeitig höhere Anforderungen an die funktionale Sicherheit gestellt werden.

Auf längere Sicht wird über diese prototypischen und internen Anwendungen hinaus die Entwicklung und Vermarktung eines Software-Werkzeuges auf dieser Grundlage erwogen. Über einen solchen Schritt kann jedoch erst dann entschieden werden, wenn hinreichend belastbare eigene Erfahrungen aus der Anwendung leistungsfähigerer Vorversionen vorliegen.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Wissenschaftliche Arbeiten bzw. Industrieprojekte zu einem kompakten, voll integrierten Engineering und Management im Rahmen verteilter Entwicklungen von Systemen für missions- und sicherheitskritische Anwendungen im Sinne des vorgestellten ganzheitlichen Ansatzes sind auch während und nach Abschluss des Projektes BRIST nicht bekannt geworden.

2.6 Veröffentlichungen des Ergebnisses

Insofern eine erfolgreiche Anwendung des Ergebnisses beim Systemhersteller noch aussteht, erfolgte die ursprünglich zusammen mit dem Systemhersteller vorgesehene Veröffentlichung des Ergebnisses zum Zeitpunkt der Ausgabe des vorliegenden Berichtes noch nicht.

3 ERFOLGSKONTROLLBERICHT

Der Erfolgskontrollbericht liegt dem Projektträger als separate Anlage vor.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Schlussbericht Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP): Verbundvorhaben BRIST: Brennstoffzelle, Integration und Systemtests - Teilvorhaben D	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Grimm, Rainer Götz, Ralph	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30. September 2014
	6. Veröffentlichungsdatum 24. April 2015
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Berner & Mattner Systemtechnik GmbH Erwin-von-Kreibitz-Str. 3 80807 München	9. Ber. Nr. Durchführende Institution BM/A2023/BR/SCHLBER
	10. Förderkennzeichen 03BV113D
	11. Seitenzahl 15
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) Invalidenstr. 44 10115 Berlin	13. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Jülich – Forschungszentrum Jülich GmbH	
18. Kurzfassung <p>1. Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik: Die modellbasierte Entwicklung komplexer Systeme [für missions- und sicherheitskritische Anwendungen] ist vornehmlich bestimmt vom Einsatz grafischer Modellierung, insb. mit SysML, oder vom Product Lifecycle Management (PLM), wobei in klassischer Betrachtung der Entwicklungsprozess im Sinne der Erfüllung gegebener Anforderungen im Vordergrund steht.</p> <p>2. Begründung/Zielsetzung der Untersuchung: Die praktikable <i>fächerübergreifende</i> Entwicklung komplexer Systeme in verteilten Projektorganisationen erfordert die Implementierung einer <i>fächerübergreifend einheitlichen Methode</i> für die Beschreibung und Bewertung betrachteter Systemarchitekturen <i>und</i> die Integration mit allen Aktivitäten des [technischen] Managements.</p> <p>3. Methode: Modellierung auf Basis einer <i>fächerübergreifend einheitlichen minimalen Ontologie</i>, welche die Beurteilung der Vollständigkeit des Modells in Bezug zur Menge der gestellten Anforderungen und die Ableitung frei definierbarer, untereinander konsistenter Darstellungen für jeweils relevante Zwecke ermöglicht.</p> <p>4. Ergebnis: Werkzeug-Framework für die effektive Unterstützung eines voll integrierten Engineerings <i>und</i> Managements gemäß vorstehend beschriebener Methode in verteilten Entwicklungsumgebungen.</p> <p>5. Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten: Ausbau des Frameworks zu einem effektiven Werkzeug für die voll skalierbare Anwendung in kleinsten und in [multinationalen] verteilten Projektorganisationen.</p>	
19. Schlagwörter: Entwicklung, Komplexität, Modellierung, Multidisziplinarität, Projektkoordination, System, Systemmodell, Systemtest, Technologischer Reifegrad (engl. <i>Technology Readiness Level, TRL</i>), Verteilung, Zugriffsregelung	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Schlussbericht Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP): Verbundvorhaben BRIST: Brennstoffzelle, Integration und Systemtests - Teilvorhaben D	
4. author(s) (family name, first name(s)) Grimm, Rainer Götz, Ralph	5. end of project 30. September 2014
	6. publication date 24. April 2015
	7. form of publication Report
8. performing organization(s) (name, address) Berner & Mattner Systemtechnik GmbH Erwin-von-Kreibitz-Str. 3 D-80807 Munich	9. originator's report no. BM/A2023/BR/SCHLBER
	10. reference no. 03BV113D
	11. no. of pages 15
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) Invalidenstr. 44 D-10115 Berlin	13. no. of references
	14. no. of tables
	15. no. of figures
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Jülich – Forschungszentrum Jülich GmbH	
18. abstract <p>1. Current State of the Scientific and Technical Knowledge: The methodology of model-based development of complex systems [for mission- and safety critical applications] is mainly determined by the application of graphical modelling, in particular with SysML, or by Product Lifecycle Management (PLM), in which, in classical treatment, the development process in terms of the fulfilment of given requirements is the prominent feature.</p> <p>2. Justification/Objective of the Study: The practical <i>multi-disciplinary</i> development of complex systems in distributed project organisations requires the implementation a <i>multi-disciplinarily uniform method</i> for the description and evaluation of considered system architectures <i>and</i> the integration with all activities of [technical] management.</p> <p>3. Method: Modelling on the basis of a <i>multi-disciplinarily uniform, minimal ontology</i>, which enables the judgment of the completeness of the model in relation to the set of given requirements and the derivation of representations being freely definable according to applicable purposes and consistent among each other by construction.</p> <p>4. Result: Tool framework for the effective support of a fully integrated engineering <i>and</i> management according to the method described above in distributed development environments.</p> <p>5. Conclusion/Prospects of Application: Further development of the framework to an effective tooling for the fully scalable application in smallest and in [multi-national] distributed organizations.</p>	
19. keywords: access control, complexity, development, distribution, modelling, multi-disciplinarity, project coordination, system, system model, system test, technology readiness level (TRL)	
20. publisher	21. price