Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projektträger
Forschungszentrum
Karlsruhe (PTKA)

Rahmenkonzept des BMBF „Forschung für die Produktion von morgen“
Themenfeld: „Zuverlässigere mechatronische Systeme“

Verbundprojekt
MIKADO

Mechatronik-Kooperationsplattform für anforderungsgesteuerte Prüfung und Diagnose

Abschlussbericht

Version 1.0

März 2009

Inhaltsverzeichnis

BETEILIGTE INSTITUTIONEN UND PERSONEN 7

1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG 9

2 ANWENDUNGSSZENARIEN 12

2.1 MULTIDISZIPLINÄRES ANFORDERUNGSMANAGEMENT 15

2.1.1 Kurzbeschreibung 15

2.1.2 Ist-Zustand 16

2.1.3 Soll-Zustand 16

2.2 ÄNDERUNGSDIENST 17

2.2.1 Kurzbeschreibung 17

2.2.2 Ist-Zustand 18

2.2.3 Soll-Zustand 19

2.3 SITZENTWICKLUNG 20

2.3.1 Ist-Zustand 21

2.3.2 Soll-Zustand 25

2.4 FMU FÜR SCHIEBEDACH 26

2.4.1 Umsetzung 28

2.4.2 Fazit 28

2.5 ERZEUGNISENTWICKLUNG AUTOMATISCHER VERSTELLEINRICHTUNGEN FÜR AUTOMOBILINTERIEURTEILE 29

2.5.1 Kurzbeschreibung 29

2.5.2 Einordnung 29

2.5.3 Ist-Zustand 30

2.5.4 Soll-Zustand 32

2.6 MULTIDISZIPLINÄRES SYSTEMKONFIGURATIONS-COCKPIT 33

2.6.1 Kurzbeschreibung 33

2.6.2 Ist-Zustand 34

2.6.3 Soll-Zustand Beschreibung 35

2.6.4 Defizite des Ist-Stand und Vorteile des Einsatzes der MIKADO-Kooperationsplattform 36

2.7 FOTOVOLTAIK-STEUEREINHEIT 37

2.8 PROTOTYP ZUR SOFTWAREGESTÜTZTEN PROJEKTIERUNG MECHATRONISCHER SYSTEME 40

2.8.1 Aufgabenbeschreibung 40

2.8.2 Umsetzung der Anforderungen 41

3 VORGEHENSWEISE UND UMSETZUNG 43

3.1 LÖSUNGSANSATZ 43

3.2 KOOPERATIONSPLATTFORM FÜR DIE MECHATRONISCHE PRODUKTENTSTEHUNG 44

3.2.1 Motivation und Ausgangssituation 44

3.2.2 Lösungsansatz 45

3.2.3 MIKADO-Datenmodell 47

3.2.4 Komponenten der Kooperationsplattform 54

3.2.5 Nutzung der Kooperationsplattform 56

3.3 ANFORDERUNGSGESTEUERTE PRÜFUNG UND DIAGNOSE 58

3.3.1 Motivation und Ausgangssituation 58

3.3.2 Anforderungen und deren Verifikation 58

3.3.3 Anforderungsmanagement und Validierung mechatronischer Produkte im Rahmen von MIKADO 60

3.3.4 Function Oriented Design (FOD) 61

3.3.5 Functional Mock-Up (FMU) 67

3.4 MODELLIERUNG UND BEWERTUNG MECHATRONISCHER PROZESSE 70

3.4.1 Referenzvorgehensbausteine für mechatronische Produktentwicklung .. 70

3.4.2 Verteilte Modellierung und Simulation von Prozessen der mechatronischen Produktentwicklung 75

3.4.3 Workflow-Engine 79

3.4.4 Einführungsstrategien und Leitfäden 84

3.5 INTEGRATIONSASPEKTE 86

3.5.1 Umsetzung der Anwendungsszenarien 86

3.5.2 Fotovoltaik-Steuereinheit 86

3.5.3 Sitzentwicklung 95

3.5.4 Integration der Systemlandschaft 97

4 EVALUATION 102

4.1 FRAGEBOGEN 103

4.2 GEWICHTUNG UND ZIELBEREICH 114

4.3 AUSFÜHRUNG UND AUSWERTUNG 115

5 VERWERTUNG DER ERGEBNISSE 121

5.1 ANWENDERNUTZEN 121

5.2 EINFÜHRUNGSSTRATEGIEN 122

5.3 VERWERTUNG DER ENTWICKELTEN SYSTEME 123

5.3.1 Mechatronik PDM 123

5.3.2 FOD 125

5.3.3 FMU 125

5.4 ENTWICKLUNG VON DIENSTLEISTUNGEN 126

5.4.1 Dienstleistung im Umfeld der entstandenen Werkzeuge 126

5.4.2 Mechatronik-Beratung 126

5.5 WISSENSCHAFTLICHE VERWERTUNG 127

6 ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE 130

LITERATURVERZEICHNIS 133

Beteiligte Institutionen und Personen

Koordination	**Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik** Pascalstraße 8-9 10587 Berlin www.ipk.fraunhofer.de	Dr. Haygazun Hayka *(Projektkoordination)* Qing Zhang Peter Krauß
	CADsys Vertriebs und Entwicklungs GmbH Carl-von-Bach-Straße 3 09116 Chemnitz www.cadsys.de	Frieder Swoboda Thommy Kühn
	InMediasP GmbH Neuendorfstraße 18a 16761 Hennigsdorf www.inmediasp.de	Tapani Hegewald Karsten Müller Dr. Stefan Dreher Martin Schäffler
	iNTEC Industrie-Technik GmbH & Co. KG Gruber Straße 50 85586 Poing www.inteckg.de	Ralf Franz Markus Hajtmar
	iPLON GmbH The Infranet Company Karl-Kurz-Str. 36 74523 Schwäbisch-Hall www.iplon.de	Victor Thamburaj Jochen Wieke Edgar Schneider
	ITQ GmbH Parkring 4 D-85748 Garching bei München www.itq.de	Dr. Rainer Stetter Dr. Bernhard Kausler Andreas Th. Prauß
	PDTec AG Albert-Nestler-Str. 10 D-76131 Karlsruhe www.pdtec.de	Dr. Günter Staub Dr. Oliver Hornberg Dr. Jörn Schlingen-siepen
	Institut fürWerkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb IWF Technische Universität Berlin Pascalstraße 8-9 D-10587 Berlin www.iwf.tu-berlin.de	Asmus Figge Robert Woll Dr. Chris Biantoro Dr. Zbigniew Ragan

Assoziierte Partner

	imk automotive GmbH Annaberger Straße 73 TLG Gewerbepark Wirkbau 09111 Chemnitz www.imk-automotive.de
	Liebherr-Verzahntechnik GmbH Kaufbeurer Strasse 141 D-87437 Kempten/Allgäu www.liebherr.com
	SITEC Industrietechnologie GmbH Bornaer Str. 192 D-09114 Chemnitz www.sitec-chemnitz.de
	Kompetenzzentrum - Das Virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH Inffeldgasse 21a 8010 Graz/Österreich www.vif.tugraz.at

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Mechatronik wird als das enge synergetische Zusammenwirken der Fachdisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik beim Entwurf und der Herstellung industrieller Erzeugnisse sowie bei der Prozessgestaltung definiert. Durch die verstärkte Zusammenarbeit dieser Fachdisziplinen bei der Herstellung industrieller Erzeugnisse können die bestehenden Leistungsgrenzen überwunden sowie die Funktionalität und Gestaltungsfreiheit der Systeme gesteigert werden. Eine Verbesserung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses gehört zu den Einsatzzielen der Mechatronik [1].

Die Funktionalität mechatronischer Systeme beruht auf der Wechselwirkung heterogener Subsysteme. Dies bietet ein großes Potenzial für Innovationen. Zugleich bedeutet es jedoch eine erhebliche Zunahme der Komplexität und Interdisziplinarität bei der Entwicklung von Produkten. Diese Komplexität stellt hohe Anforderungen an die Entwicklung und Produktion mechatronischer Systeme. Dabei wächst der Entwurfs- und Verifikationsaufwand mit der Anzahl der Komponenten exponentiell an. Die Folge ist eine Abnahme der Zuverlässigkeit der Produkte. Strategien wie frühe Fehlervermeidung und Entwicklung fehlertoleranter Produkte werden von den heutigen disziplinspezifischen Methoden und Werkzeugen nur unzureichend unterstützt. Damit verbunden sind zahlreiche Rücksprünge in den Entwicklungsschritten oder die Erkennung von Fehlern erst anhand von Prototypen bzw. beim Kunden [2].

Unternehmen, die diesen Herausforderungen begegnen, benötigen effektive Methoden und Werkzeugen, um die Komplexität zu beherrschen, die Zusammenarbeit der verschiedenen Fachdisziplinen effizient zu gestalten sowie die Zuverlässigkeit ihrer mechatronischen Produkte zu erhöhen.

Die an der Entwicklung mechatronischer Systeme beteiligten Fachdisziplinen verfügen heute jeweils über eigene Entwicklungsmethoden, Beschreibungsmittel und Werkzeuge. Häufig wird die Produktentwicklung von einer Wissensdomäne dominiert. So stellt die mechanische Grundstruktur meist die Basis dar und wird um Elektronik sowie Informationsverarbeitung ergänzt. Die durch diese Vorgehensweise entstehenden Defizite werden durch die Parallelität und Verteilung der Entwicklung noch verstärkt. Die Tatsache, dass die Änderung einer Teilfunktion mit ihren Auswirkungen auf andere Funktionen einen weit reichenden Einfluss auf die Arbeit in anderen Fachdisziplinen ausübt, spiegelt sich jedoch nicht in den heutigen Vorgehensweisen wider. Daher kämpfen die Hersteller mit zeitintensiven Entwicklungsprozessen und späten Änderungen sowie einer hohen Fehlerhäufigkeit bei den Produkten.

Der Kostendruck bei den Herstellern führt derzeit zu der Entwicklung, dass Gewährleistungskosten verstärkt an die Zulieferer weitergegeben werden. Die Zunahme der Fehler in mechatronischen Produkten verursacht daher besonders bei KMU (kleine und mittelständische Unternehmen) einen hohen Kostenfaktor, der die ursprünglichen Vorteile eines verbesserten Kosten/Nutzen-Verhältnisses durch Mechatronik

weitgehend aufhebt. Die Realisierung fehlerarmer Produkte dient direkt einer Entlastung der Zulieferer auf der Kostenseite und somit der Erhaltung ihrer Innovationskraft.

Für die Entstehung komplexer mechatronischer Produkte werden von den Unternehmen in steigendem Maße rechnerunterstützte Werkzeuge eingesetzt, die von hoher Heterogenität gekennzeichnet sind. Meist sind diese historisch gewachsen, als Insellösungen eingeführt und bieten nur punktuelle Unterstützung in der Gestaltung durchgängiger Arbeitsprozesse. Kooperationen werden derzeit durch verschiedene, inkompatible bzw. nicht abgestimmte Vorgehensmodelle, Prozesse und IT-Systeme erschwert.

Das Ziel des Vorhabens war es, Methoden und Werkzeuge bereitzustellen, die die heutige Vorgehensweise in der mechatronischen Produktentstehung zu einer fachübergreifenden Systementstehung ausbauen. Von der punktuell synchronisierten Entwicklung in den Domänen ist abzurücken, um zu einem neuartigen Systems Engineering zu gelangen, bei dem alle Domänen ihre Anforderungen wie beispielsweise technische, aber auch kundenbezogene, gesetzliche oder organisatorische in einem Anforderungsnetz ablegen. Dort werden sie funktional mit den Produkteigenschaften in Verbindung gebracht. So entsteht eine durchgängige und integrierte Basis für die Entwicklung mechanischer, elektrischer und regelungstechnischer Komponenten sowie Software.

Damit wird auch ein verbesserter Abgleich zwischen virtuellem und realem Gesamtsystem zu jedem Zeitpunkt möglich. Ein wichtiges Teilziel besteht basierend darauf in der Realisierung eines Funktionalen ‚Mock Up' (FMU) zur objektiven und kontinuierlichen Reifegradmessung im Gegensatz zu heutigen statischen Ansätzen. Die Vorhersagbarkeit des Gesamtsystemverhaltens steigt hierdurch wesentlich. Mit der erreichten Steigerung der Qualität des Entwicklungsprozesses gehen ein frühzeitiger hoher Produktreifegrad und damit eine hohe Gesamtsystemqualität und -zuverlässigkeit einher.

Für eine effiziente Zusammenarbeit, sowohl über Disziplinen als auch über Unternehmensgrenzen hinweg, sind Integrations- und Kooperationslösungen zwischen den Fachdisziplinen erforderlich, die gegenwärtig nur durch großen Anpassungsaufwand vorhandener Systeme und Prozesse realisiert werden können. Ein Hauptziel des Verbundprojekts besteht darin, die relevanten Entwicklungswerkzeuge zu einer Kooperationsplattform zusammenzuführen, um eine disziplin- und unternehmensübergreifende Zusammenarbeit informationstechnisch weitestgehend zu unterstützen.

Die Komplexität der mechatronischen Systeme muss bereits bei der Definition der Anforderungen mit allen Abhängigkeiten von den Fachdisziplinen berücksichtigt werden. Es ist daher nicht mehr ausreichend, Anforderungen in Textdokumenten wie Pflichten- und Lastenheft festzuhalten. Daher wurde ein Anforderungsmanagement-

System für die Entwicklung mechatronischer Produkte konzipiert und umgesetzt, welches eine ganzheitliche Sicht auf die Produkte ermöglicht. Durch geeignete Modellierungstechniken muss das Systemverhalten nachgebildet werden können. Ein hoher Bedarf existiert bei Strategien und Werkzeugen für die frühzeitige Testbarkeit der Anforderungen.

Bislang galt die Elektronik- bzw. Softwareentwicklung als “Dienstleister” für eine Mechanik-Entwicklung. Zukünftig muss ein die Fachdisziplinen integrierender, “mechatronischer” Produktentwicklungsprozess definiert werden. Aufgrund der fachdisziplinspezifischen Vorgehensweisen und Methoden ist hierzu eine wirksame Prozesskoordination der Teilprozessketten hinsichtlich Mechanik, Elektronik und Software erforderlich. Daher kommt im Verbundprojekt der disziplinübergreifenden Prozessmodellierung eine hohe Bedeutung zu.

In den folgenden Kapiteln werden die in MIKADO entwickelten Methoden und Werkzeuge näher erläutert. Das Dokument „Leitfaden und Einführung“ beschreibt die Funktionalität und Umgang der in MIKADO entwickelten Werkzeuge [3].

2 Anwendungsszenarien

Im Verbundprojekt MIKADO wurden Lösungen entwickelt, um die Komplexität der mechatronischen Systeme zu beherrschen und deren Zuverlässigkeit durch neuartige Entwicklungsmethoden und -werkzeuge zu steigern. Dabei wurden unterschiedliche Anwendungsbeispiele aus verschiedenen Branchen zu Grunde gelegt. Diese Branchen betreffen die Fahrzeug- und Energietechnik, Gebäudeautomatisierung und den Werkzeugmaschinenbau (Bild 1).

Bild 1: Anwendungsbeispiele in MIKADO

Fahrzeugtechnik

Im Entwicklungsprozess der Fahrzeugtechnik gewinnt die passive Sicherheit aufgrund zunehmender gesetzlicher Anforderungen und den realen Unfallereignissen zunehmend an Bedeutung. Ein wichtiger Bereich ist dabei (beispielsweise) die Sitzentwicklung. Wird der Fokus innerhalb der Sitzentwicklung auf die Belastung eines Sitzes durch einen Crash gerichtet, so hat man es mit einem hochdynamischen Prozess zu tun, bei dem der Dummy in komplexer Wechselwirkung mit der Sitzstruktur steht.

Dem gegenüber stehen Ergonomieanforderungen, die mit neuen Erkenntnissen Einfluss auf die Entwicklung nehmen. Das Ziel dieses Entwicklungsprozesses ist es, eine Sitzanlage zu schaffen, die alle Sicherheitsaspekte erfüllt und diese zusätzlich mit einem hohen Komfortwert verbindet. In MIKADO wurde die Sitzentwicklung als

Beispiel herangezogen, um die Validierung von Anforderungen mit Hilfe eines FMU (Functional Mock-Up) zu demonstrieren.

Weitere Anwendungsbeispiele hinsichtlich der mechatronischen Produktentwicklung in der Fahrzeugtechnik bestehen im Projekt bei der Schiebedachentwicklung, sowie bei der Verstelleinrichtung für Automobilinterieurteile. Bei dem letzteren handelt es sich um einen neuartigen Kleinantrieb, der durch eine intelligente elektronische Regelung in Verbindung mit einem kleinen Motor mit hoher Nenndrehzahl oberhalb der Nennleistung betrieben werden soll und dadurch eine hinreichende Antriebssteife ermöglicht. Dabei wird ein geräuscharmer Betrieb gewährleistet.

Energieeffizienz der Fotovoltaikanlagen

Für die Steigerung der Energieeffizienz von Fotovoltaikanlagen wird von einem Verbundpartner ein Fernüberwachungssystem entwickelt. Hierdurch können Fehlermeldungen und Ertragswerte ortsunabhängig direkt ausgelesen werden. Die Meldung zur zentralen Überwachung erfolgt über einen GPRS-Sender und wird per E-Mail und SMS an eine Datenbank weitergeleitet, die von allen Interessierten eingesehen werden kann. Die Verwaltung der Anlagen erfolgt über ein besonders gesichertes Webinterface.

Die Möglichkeiten, die hieraus entstehen, sind vielseitig: Da die Speicherung der Energie mit heutigen Mitteln schwierig zu erreichen ist, entstehen regelmäßig hohe Verluste. Die Vernetzung einer Vielzahl selbständiger Quellen erneuerbarer Energien könnte hier Abhilfe schaffen. Bisher wird diese Vernetzungstechnik ausschließlich zur Gewinnung von Daten genutzt. Als nächster Schritt ist die dezentrale intelligente Steuerung der einzelnen Anlagen geplant. Langfristiges Ziel ist eine Art virtuelles Kraftwerk, welches aus vielen kleinen Verbundkraftwerken gespeist wird. Der Schwerpunkt des Anwendungsbeispiels besteht hier im Prozess- sowie Anforderungsmanagement.

Gebäudeautomatisierung

Für die Gebäudeautomatisierung ist die Vernetzung von einzelnen Geräten auf Basis von intelligenten dezentralen Netzwerksystemen von entscheidender Bedeutung. Hierfür wird ein Intelligent Area Controller eingesetzt. In realen Anwendungen werden im Hinblick auf Komfort, Energiemanagement, Fernüberwachung oder erhöhter Sicherheit oftmals einige hundert solcher Controller mittels der Lonworks-Technologie zusammengeschaltet.

Die verteilte Entwicklung und Produktion sowie die virtuelle Absicherung dieser mechatronischen Produkte bedingt ein ausgereiftes Kooperationsmanagement sowie eine zentrale Systemversionsverwaltung, die eine einfache Rekonstruktion des Systemzustandes im Bedarfsfall sowie die Absicherung des Prozesses im Sinne eines Qualitätsmanagement möglich macht.

Werkzeugmaschinenbau

Ein weiteres Anwendungsbeispiel kommt aus der Kleinserienfertigung im Werkzeugmaschinenbau. Hier liegen die Schwerpunkte auf dem multidisziplinären Anforderungsmanagement und auf dem disziplinübergreifenden Änderungsmanagement.

Die Ziele der Szenarienbeschreibung sind die Folgenden:

Ziele	**Beabsichtigter Effekte**
Analyse und Erfassung des Ist-Zustandes bei Anwendungs- und assoziierten Partnern	Berücksichtigung bereits vorhandener Lösungen und Systeme Grundlage für Soll-Zustand-Definition
Entwicklung des Soll-Zustandes	Beschreibung der Wünsche der Partner an die Projektergebnisse, Grundlage der Anforderungsdefinition
Gegenüberstellung von Ist- und Soll-Zustand	Abschätzen der noch notwendigen Arbeiten, Grundlage der Anforderungsdefinition, Herausstellung der Vorteile von MIKADO
Herausstellen der Rolle des MIKADO für den Soll-Zustand und dadurch entstehende Vorteile	Basis für Handlungsempfehlungen

Tabelle 1: Ziele und beabsichtigte Effekte der Beschreibung der Anwendungsszenarien

Die spezifizierten Szenarien sind in der folgenden Tabelle aufgezählt.

Nr	**Szenario**	**Anwender**
1	Multidisziplinäres Anforderungsmanagement	Liebherr
2	Änderungsdienst	Liebherr
3	FMU fürSitzentwicklung	INTEC

4	FMU für Schiebedach	INTEC
5	Erzeugnisentwicklung automatischer Verstelleinrichtungen für Automobilinterieurteile	imk
6	Multidisziplinäres Systemkonfigurations-Cockpit	iPLON
7	Fotovoltaik Steuereinheit	iPLON
8	Prototyp zur softwaregestützten Projektierung mechatronischer Systeme	SITEC

Tabelle 2: spezifizierte Anwendungsszenarien

In den folgenden Kapiteln werden die in Tabelle 2 vorgestellten Szenarien beschrieben. Die ausführliche Beschreibung ist in dem Dokument „Beschreibung der Anwendungsszenarien“ zu finden [4].

2.1 Multidisziplinäres Anforderungsmanagement

2.1.1 Kurzbeschreibung

Anforderungsmanagement umfasst alle notwendigen Abläufe und Tätigkeiten zur Definition, Strukturierung und Verwaltung von extern (Kundensicht) oder betriebsintern vereinbarten Produkteigenschaften. Unter den Bedingungen der Entwicklung mechatronischer Systeme stellt das interdisziplinäre Anforderungsmanagement einen wesentlichen Teil der Methoden des Systems Engineering dar. Insbesondere die Vernetzung von Anforderungen aus den verschieden Disziplinen (Mechanik, Elektrik, Software usw.) steht dabei im Mittelpunkt.

Im Zusammenhang mit der Produktentwicklung einer Verzahnungsmaschine der Firma Liebherr-Verzahntechnik (LVT) beginnt die Definition der Produktanforderungen mit der Aufnahme der Kundenanforderungen und Erarbeitung der Spezifikation einschließlich aller Sonderausstattungen und -baugruppen. Ein Schwerpunkt bei LVT ist die Erfassung und Einarbeitung relevanter Liefervorschriften der Kunden.

Die Verwaltung und der Umgang mit dokumentierten Anforderungen umfasst:

- Eindeutige Dokumentation des aktuellen Anforderungszustands
- Dekomposition komplexer Anforderungen für Entwurfsdisziplinen

- Vernetzung durch Relationen zwischen den Anforderungen
- Dokumentation der Relevanz von Anforderungen auf Systemfunktionen und Systemkomponenten
- Nachvollziehbarkeit inhaltlicher und organisatorischer Änderungen
- Dokumentation des Erfüllungsstandes der Anforderungen.

2.1.2 Ist-Zustand

Die Auftragsspezifikation (AS) wird vom Vertrieb gemeinsam mit dem Kunden anhand von vorgegeben ‚Baukästen' zusammengestellt. Anforderungen, die nicht in diesen Baukästen enthalten sind, werden gesondert erfasst und im Angebots- und Auftragssystem verwaltet. Ebenso werden die aus Kunden-Liefervorschriften resultierenden Teile der AS als Datenbankpositionen dieses Systems verwaltet.

Die freigegebene Auftragsspezifikation (AS) wird im Intranet eingestellt. Die gesamte Planung des Auftrages basiert auf diesem Dokument.

Die Anforderungen der AS werden im Angebots-Auftrags-Spezifikationssystem (AAS) mit behandelt. In diesem System stellen Datenbankpositionen teilweise Baueinheiten der Baugrößen und Maschinen oder aber bspw. Abweichungen von Standardausführungen und Kundenanforderungen/ Lieferspezifikationen dar. Diese werden als Fließtext formuliert in dem Parameter nur implizit enthalten sind. Die Zusammenfassung mehrerer Anforderungen in Datenbankpositionen erfolgt pragmatisch ohne feste Regeln.

Die Auftragspezifikation wird aus Datenbankpositionen zusammengefügt. Sie ist grob in Standard-Baukasten, Zusatztechnologien (Sonderausführung) und Kundenvorschriften jeweils nach „Katalogbereichen" gegliedert. In Katalogpositionen können beteiligte Fachabteilungen eingetragen werden.

Dabei existiert immer ein jeweils aktueller Stand der Spezifikation. Bei Bedarf werden Änderungen an der Spezifikation (neue oder geänderte Anforderungen) als Link zur Spezifikation per Email an Beteiligte versandt.

2.1.3 Soll-Zustand

Die implizite Behandlung von Anforderungen soll durch ein zentrales Anforderungsmanagement für Auftragsabwicklung (von Angebot bis Auslieferung) und für das Änderungsmanagement ersetzt werden. Dabei sollen die Arbeitsabläufe durch die Realisierung des Anwendungsszenarios „Änderungsdienst" beeinflusst werden, so dass zwei Teilszenarien, mit und ohne Änderungsdienst, entstehen. Methoden und Softwarewerkzeuge sind für beide Fälle auszulegen und verwendbar.

Es sollen die folgenden Randbedingungen eingehalten werden:

- die Anforderungen sind weiter strukturiert, so dass Zuordnungen zu Fachabteilungen für Untergliederungen möglich sind
- Anforderungen können Komponenten bzw. Baueinheiten zugeordnet werden (n:m-Zuordnung)
- Anforderungen tragen mehrwertige Statusparameter
- Ableitungen neuer Anforderungen aus den im AAs abgelegten Informationen, die nur zur Kommunikation in der Firma verwendet werden, sind möglich

Es ergeben sich die folgenden Arbeitsweisen:

- Darstellung der Anforderungsgliederung in verschiedenen Views (unter verschiedenen Ordnungsgesichtspunkten) bspw. Fachabteilungen, Katalogbereiche, Sonder/Standard, ...
- Zentrale Statuskontrolle (Dokumentation der Erfüllung) für Anforderungen (in Arbeit, erledigt, in Diskussion, ...)
- Möglichkeit der Untergliederung komplexer Anforderungs-Sätze in Unteranforderungen (z.B. disziplinspezifische)
- Verfolgbarkeit von Anforderungen in der AS (wer, wann, warum, eingetragen am, geändert am, entfernt am).

Option: Anforderungen werde mit expliziten technischen Parametern in AAS versehen. Damit wird eine Prüfung ermöglicht, ob eine Sonderbehandlung notwendig ist.

2.2 Änderungsdienst

2.2.1 Kurzbeschreibung

Der Änderungsdienst umfasst alle notwendigen Abläufe und Tätigkeiten zur Durchführung technischer Änderungen. Er beginnt mit seiner Arbeit bei Auftreten der Notwendigkeit von Änderungen und endet mit der Umsetzung von Lösungen an Einzelteilen oder Baugruppen des Produktes ‚Verzahnmaschine', der Firma LVT.

Der Änderungsdienst tritt in Kraft, nachdem ein Dokument (Zeichnung, Spezifikation, Konfiguration, etc.) für andere Disziplinen relevant wird. In der Regel wird die Relevanz durch einen Status im Produktentstehungsprozess festgelegt und ist Basis für Freigabe- und Verteilungsprozesse. Disziplinen können parallel arbeitende, wie E/E und Software oder auch nachfolgende Disziplinen, wie Fertigung und Montage sein.

Neben der Abstimmung und Durchführung von Änderungen ist die Dokumentation eine wichtige Aufgabe des Änderungsdienstes.

Der Bereich des Änderungsdienstes ist für das Projekt MIKADO von höchster Relevanz. Die hier verwendeten Methoden und Werkzeuge dienen der Synchronisation

aller an der Entwicklung beteiligten Disziplinen. Er stellt den Bezug zur Produktdokumentation her und behandelt Ursachen und Auswirkungen von technischen Änderungen über die Disziplinen und Unternehmensgrenzen hinweg.

2.2.2 Ist-Zustand

Die Auftragsspezifikation wird vom Vertrieb gemeinsam mit dem Kunden anhand von vorgegeben ‚Baukästen' zusammengestellt. Anforderungen, die nicht in diesen Baukästen enthalten sind, werden gesondert erfasst und im Angebots- und Auftragssystem verwaltet.

Änderungen, die im weiteren Verlauf der Bearbeitung des Auftrages auftreten, werden im Rahmen des Änderungsdienstes bearbeitet. Änderungen an der Auftragsspezifikation (AS) werden in gesonderten Dokumenten verwaltet, so genannte Umbauaufträge, und sind in der Software ‚IntraPro' abrufbar. Die gültige AS in Kombination mit allen vorgenommenen Änderungen bilden den aktuellen Bauzustand der jeweiligen Maschine. Beispiele sind Änderungen aufgrund von Unstimmigkeiten von Komponenten, welche in der Montage auftreten.

Zur Kommunikation von Änderungen wird ein Formular auf dem Medium Papier verwendet, ein so genannter Laufzettel. Auf ihm sind Referenzen zum Bauteil (Teilenummer) und die notwendigen Änderungen eingetragen. Maßnahmen zur Umsetzung der Änderungen werden in Teamsitzungen besprochen. Die Bearbeitung der Maßnahmen kann mit der Software ‚TPL' verfolgt werden, indem dort Aufgaben definiert und einzelnen Mitarbeitern zugeordnet werden.

Beteiligte Institutionen

Beim Änderungsdienst ist grundsätzlich eine Einbeziehung jedes Bereiches möglich, der am Entwicklungsprozess beteiligt ist. Die Auswahl der für eine korrekte Bearbeitung notwendigen Personen ist von der Art und den Auswirkungen einer Änderung abhängig. Daher wird zu Beginn ein Verteiler festgelegt, der die betroffenen Personen identifiziert.

Der Datenaustausch wird durch das Papierdokument und das Senden von Emails erledigt.

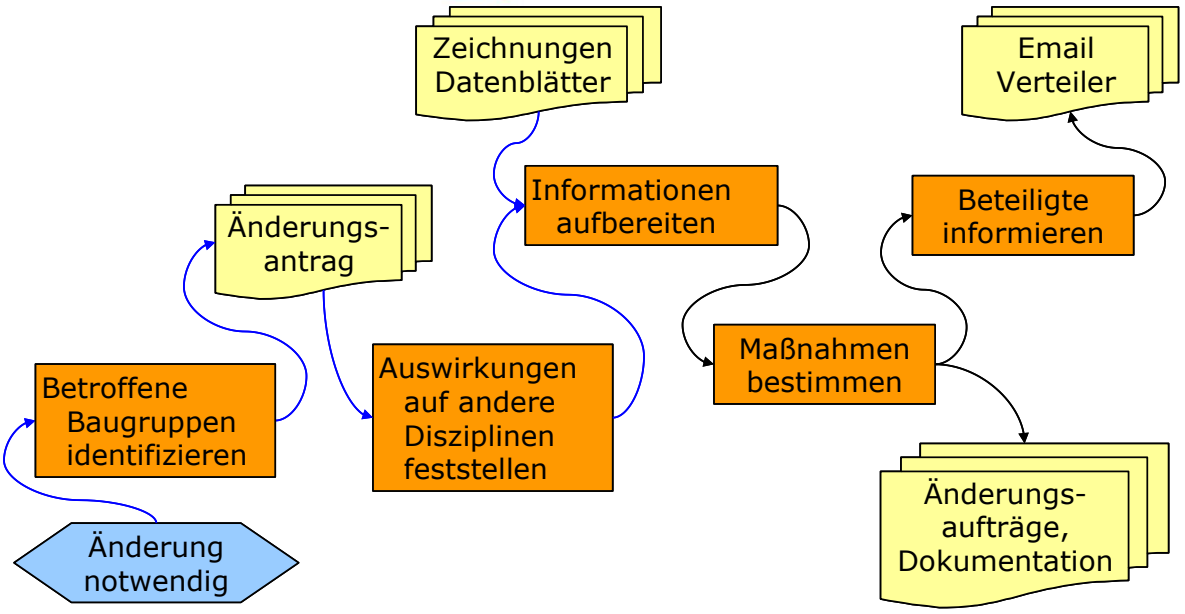


Bild 2: Skizze Ist-Zustand

2.2.3 Soll-Zustand

Im Änderungsdienst kommen zwei Schwerpunkte des Vorhabens zum Tragen. Zum einen ist dies die Workflowkomponente, die die Abarbeitung von Änderungen steuert.

Zum anderen können Auswirkungen von Änderungen über die im Anforderungsnetz dargestellten Zusammenhänge besser abgeschätzt werden. Die Kooperationsplattform sammelt alles Wissen, das zur Durchführung der technischen Änderungen notwendig ist (Bild 3). Es handelt sich sowohl um organisatorisches Wissen, notwendige Aufgaben, Zuständigkeiten etc., als auch spezifisches Wissen bezogen auf die konkrete technische Änderung, wie Umgebungsgeometrie, betroffene E/E-Komponenten, Auftragsdaten oder Datenblätter.

- Klares Konzept und Richtlinien für einen Mechatronik-orientierten Änderungsdienst
- Vorlagen zur eindeutigen Beschreibung von Änderungen
- Integrationskonzept zur Anbindung des Änderungsdienstes an vorhandene Systeme, Datenbanken und an MIKADO-Komponenten
- Systemunterstützung für die Auswirkungsanalyse bei technischen Änderungen über Disziplingrenzen hinweg. Systemunterstützung für die Planung und Überwachung der Durchführung von Änderungsaktivitäten
- Einführungs- und Schulungskonzepte

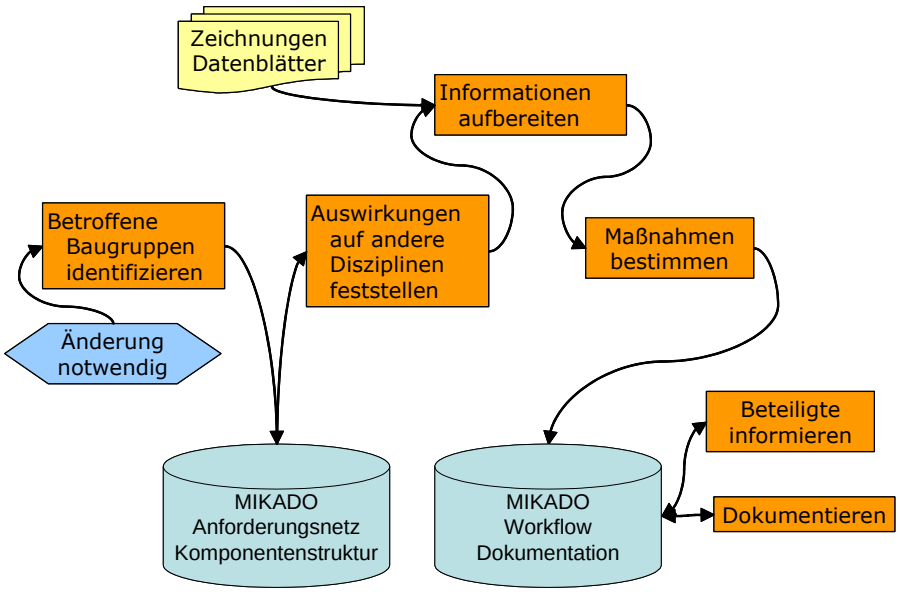


Bild 3: Soll-Zustand

2.3 Sitzentwicklung

Im Entwicklungsprozess von Automobilen gewinnt die passive Sicherheit aufgrund anspruchsvoller gesetzlicher Anforderungen und den realen Unfallereignissen zunehmend an Bedeutung. Ein wichtiger Bereich ist dabei die Sitzentwicklung. Wird der Fokus innerhalb der Sitzentwicklung auf die Belastung eines Sitzes durch einen Crash gerichtet, so entsteht ein hochdynamischer Prozess, bei dem der Dummy in komplexer Wechselwirkung mit der Sitzstruktur steht.

Der Sitz eines Fahrzeuges ist eines der wettbewerbskritischen Merkmale. Er trägt wesentlich zum Fahrerlebnis bei und prägt den Gesamteindruck optisch und haptisch. Dem gegenüber stehen Ergonomieanforderungen, die mit neuen Erkenntnissen Einfluss auf die Entwicklung nehmen. Das Ziel dieses Entwicklungsprozesses ist es, eine Sitzanlage zu schaffen, die alle Sicherheitsaspekte erfüllt und diese zusätzlich mit einem hohen Komfortwert verbindet. Da man Komfort nicht messen kann und Aussagen darüber immer subjektiv sind, werden ständig neue Wege gesucht, um zeitnah die Entwicklung mit neuartigen Simulationen und Testabläufen zu begleiten. Diese Entwicklung betrifft sowohl die Themen des Insassenschutzes, als auch die der Struktur des Schaums und aller elektrischen Komponenten, die erst in ihrer wechselseitigen Aktion zu einem „Komfortwert“ führen. Die Herausforderung bei der Entwicklung dieser komplexen Produkte besteht aus zwei Bereichen:

- Da die Fahrzeugsitze zunehmend aktive Elemente wie Airbags, Antriebe und Sensorik enthalten, sind sie in das Gesamtkonzept des Fahrzeugs zu integrieren.

- In virtuellen und physischen Tests wird das Sitzverhalten im Crash durch umfangreiche Messungen dokumentiert, deren Ergebnisse in die Entwicklung einfließen müssen. Die hierbei verwendeten Crash-Dummies sind ihrerseits als mechatronische Produkte in das Gesamtkonzept der Produktentwicklung einzubeziehen.

Die Sitzentwicklung vereinigt somit die klassische Mechanik mit der Elektronik. Im Zusammenspiel mit der heutigen Variantenvielfalt des Automobils ergibt sich ein schwer zu überblickender, komplexer Entwicklungsprozess.

Einordnung

In dem oben beschriebenen Szenario ist ein großes Maß an Abstimmung und Automatismus gefordert, um in möglichst wenigen Iterationen ein an die zahlreichen Randbedingungen angepasstes Produkt zu schaffen.

Für die Plattform MIKADO stellt das mechatronische System „Sitz“ eine sinnvolle Repräsentation für die Prozesse und Herausforderungen in der virtuellen Entwicklung dar.

Seinen Wert zieht das Verbundprojekt aus der Bewältigung der gesetzlichen Randbedingungen, der Vereinigung verschiedener Fachbereiche und der Kontrolle von komplexen Prozessen.

2.3.1 Ist-Zustand

Heute lässt sich der Sitzentwicklungsprozess in 4 grobe Schritte unterteilen:

1. Absteckung der Randbedingungen

In der ersten Phase erfolgt das Festlegen aller Vorgaben, die der Sitz erfüllen muss. Diese können gesetzlicher und technischer Natur sein. Hierbei liegt es in der Verantwortung mehrerer Abteilungen, diese zusammenzutragen und festzuschreiben.

2. Konzepterstellung Technikbereiche und Design

Die Konzepterstellung erstreckt sich über mehrere Iterationen, nach denen sich ein Sitzmodell entwickelt, das allen Ansprüchen der beteiligten Fachbereiche genügt.

3. Versuchsphase Vorserie

Dieses Modell wird danach in Hardware gefertigt und im dritten Schritt mehreren Funktions- und Crash-Tests unterzogen. In manchen Fällen können daraus Änderungen hervorgehen, die eine Neuerstellung des Sitzkonzeptes erfordern.

4. Serienwerkzeugherstellung und Produktionsanlauf

Befindet sich der Sitz in seiner letzten Entwicklungsphase, werden nach Tests bei Bedarf lediglich Werkzeugänderungen vorgenommen. Es geschieht sozusagen der „Feinschliff“.

Für das Verbundprojekt MIKADO empfiehlt sich die Konzentration auf den Punkt 2, da sich hier die eigentliche Entwicklung des Sitzes mit all den interdisziplinären Herausforderungen in der frühen Phase abspielt (Bild 4).

Defizite Ist-Stand:

- Festlegung und Sammlung der Randbedingungen nicht zentral
- Dokumentation der Randbedingungen nicht einheitlich ➔ festgelegte Randbedingungen können leicht übersehen werden
- Fehler oder Verletzungen von Randbedingungen geringerer Priorität können vorerst unbemerkt bleiben
- Änderungen teilweise nicht früh genug unter den Fachabteilungen abgestimmt
- Zu viele Iterationen in der Konzepterstellung aufgrund paralleler Abläufe ohne „quer“ verlaufendem Informationsaustausch
- Verlorene Zeit durch Iterationen könnte in ein teilparametrisches Modell investiert werden
- Änderung von Randbedingungen bedeuten einen enormen Zeit- und Geldaufwand, da der Konzepterstellungsprozess neu beginnt
- Unterschiedliche CAD-Tools werden in den beteiligten Institutionen eingesetzt ➔Schnittstellenproblematik
- Tools zum Austausch von Geometrien mit dem Dienstleister veraltet und nicht anwenderfreundlich
- Außer Geometrieaustausch besteht keine Anbindung des Dienstleisters an den OEM

Vorteile des Einsatzes von MIKADO:

- Eine Plattform als Informationsbasis für alle Beteiligten
- Automatisierte, definierbare Prüfungen, ohne CAD-System sichtbar zu starten
- Interdisziplinäre Kommunikation und damit schnelle Problemidentifikation
- Definition und Monitoring von Prozessen
- Anpassbarkeit an CATIA V5

Beteiligte Institutionen

Bei der Entwicklung des Fahrersitzes sind im Wesentlichen die folgenden Fachabteilungen beteiligt:

1. Konstruktion

Die Konstruktionsabteilung kümmert sich um die Umsetzbarkeit und Erstellung aller mechanischen Komponenten des Sitzes, sowie die Einhaltung des vorgegebenen Bauraums.

2. Ergonomie

Im Ergonomie-Bereich stehen die Proportionen des Sitzes im Vordergrund. Diese wirken sich auf das Wohlbefinden des Fahrers, vorgegebene Blickfelder und einfache Erreichbarkeit der Bedienelemente aus.

3. Design

Design muss für eine Durchgängigkeit des optischen Eindrucks sowohl bei der Außenhaut, als auch beim Interieur sorgen. Der Sitz muss demnach in das Gesamtkonzept passen.

4. Elektronik

Der Fachbereich Elektronik sorgt für die Einbindung der Elektronikkomponenten und deren Schnittstellen zum klassisch mechanischen Gebiet. Das Aufgabengebiet beinhaltet zudem die Entwicklung und Programmierung von Steuerungen.

5. Controlling

Um in der Gesamtplanung eines Fahrzeugs innerhalb sinnvoller finanzieller Aufwände zu bleiben, begleitet das Controlling überwachend den gesamten Sitzentwicklungsprozess.

6. Externe Dienstleister

Je nach Auftraggeber zeichnen sich externe Dienstleister für einen oder mehrere der oben beschriebenen Bereiche verantwortlich.

Aufgabe aller Institutionen ist die Einhaltung der aktuellen Gesetzesvorschriften in deren Bereich. Betrifft ein Gesetz mehrere Abteilungen, so ist eine gemeinsame Abstimmung nötig. Im Zuge der Globalisierung ist eine Menge an Vorschriften für alle belieferten Länder zu beachten.

In allen Institutionen sind die wichtigsten Verantwortungsebenen beteiligt:

- Management
- Bereichsleitung
- Qualitätsmanagement
- Konstruktion

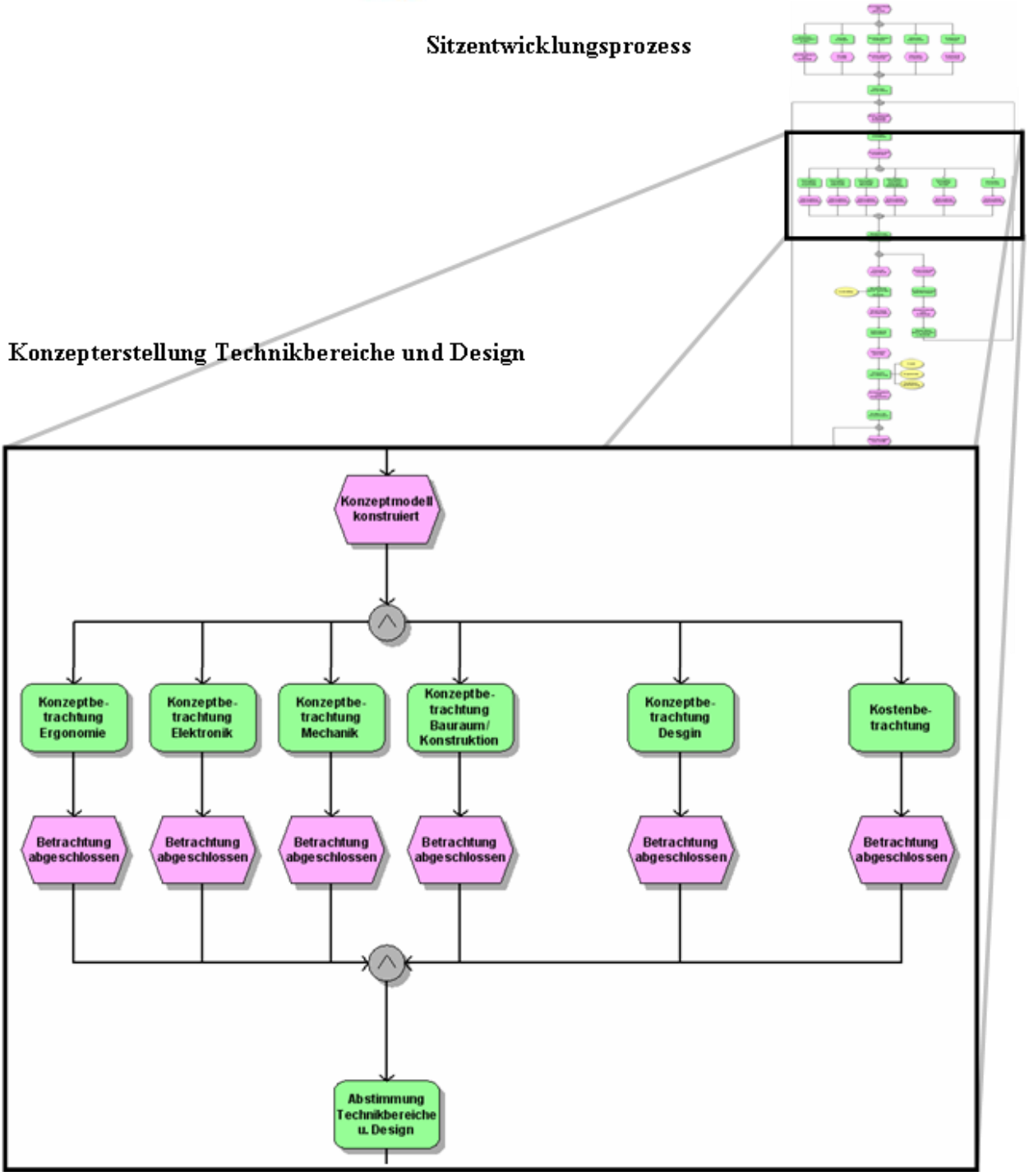


Bild 4: Skizze Ist-Zustand

2.3.2 Soll-Zustand

Im Verbundprojekt MIKADO wird für das Szenario Sitzentwicklung der Referenzvorgehensbaustein (RVB) Engineering Change Request (ECR) als Vorgabe verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass eine Neuentwicklung bzw. Änderung eines bestehenden Sitz-Modells erfolgen muss.

Da in einem Unternehmen immer mehrere Personen und Verantwortungsebenen an den Prozessen beteiligt sind, nutzt dieses Szenario ebenso die Möglichkeiten des Rechte- und Rollensystems der in der Plattform vereinigten Tools (Bild 5).

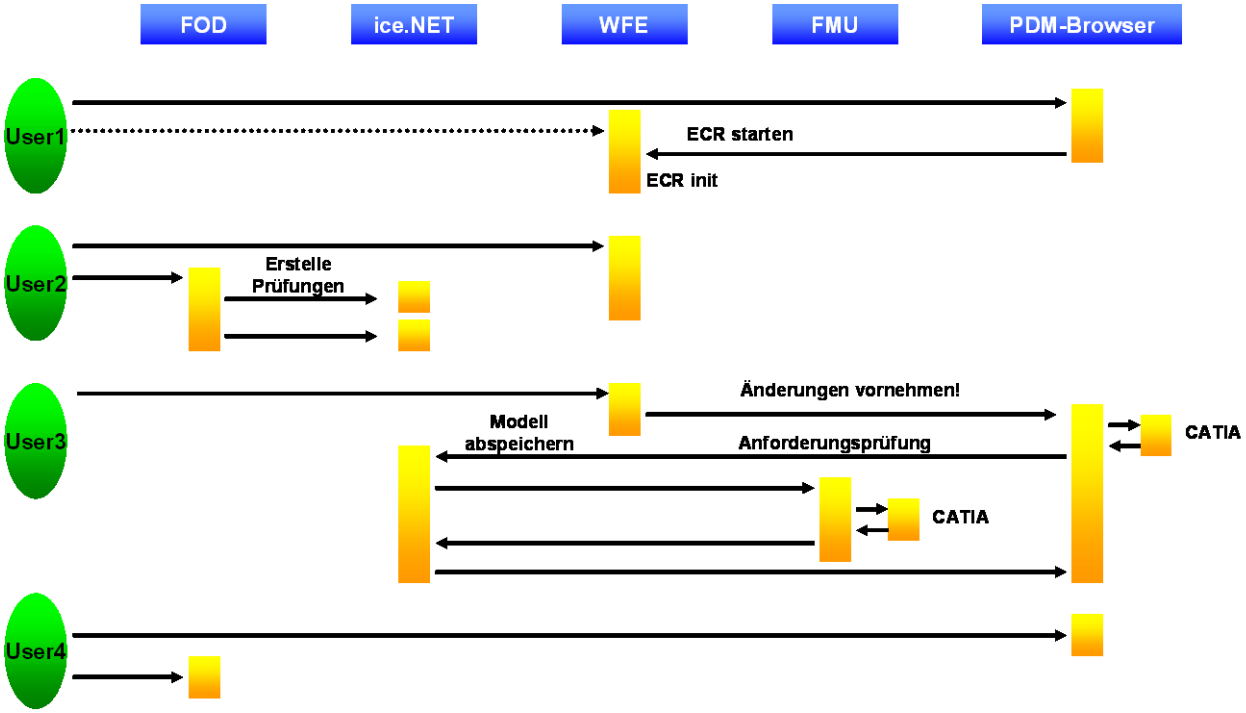


Bild 5: Skizze Soll-Zustand

Ausführliche Beschreibung

Ein Benutzer startet über den PDM-Browser den Workflow des ECR. Die Workflow-Engine von InMediasP verwaltet die einzelnen, im folgenden Text beschriebenen Teilschritte. Im zweiten Schritt erstellt ein weiterer Benutzer über FOD die Prüfszenarien, die der Sitz für seine Gültigkeit durchlaufen muss. Das sind in diesem Fall die Ampelsicht und die dynamische Clash-Untersuchung im Bauraum. Im folgenden Absatz sind diese Prüfungen beschrieben:

- Für die Ampelsicht wird der Sitz in Form eines CAD-Modells mit der Geometrie der Frontscheibe, des Innenspiegels, des Fahrers und dem im FOD hinterlegten Ampelpunkt lagerichtig in CATIA V5 geladen. Über den Sichtstrahl kann nun ermittelt werden, ob die Sicht des Fahrzeuglenkers auf die Ampel in irgendeiner Weise eingeschränkt ist.

- In der dynamischen Clash-Untersuchung wird die Einbaubarkeit des Sitzes in einen vorgegebenen Bauraum untersucht. Dazu nutzt man das entstehende Volumen, dass das Modell beim Abfahren sämtlicher Verfahrwege erzeugt. Dieses darf für eine erfolgreiche Prüfung die umgebenden Geometrien im Fahrzeug nicht berühren.

Sind die Prüfungen erstellt, erhält der nächste Benutzer über die Workflow-Engine die Aufgabe zur eigentlichen, geometrischen Änderung des Sitzes. Das CATIA V5-Modell der geänderten Geometrie kann nun in die ice.net-Datenbank übernommen werden. Der Vorgang geschieht über den PDM-Browser. Im Hintergrund führt das Modul FMU (Functional Mock-Up) in Kopplung mit CATIA V5 die früher erstellten Prüfungen durch und meldet die Ergebnisse an den FOD zurück.

Schließlich können alle berechtigten Benutzer die Rückmeldungen über den FOD oder den PDM-Browser einsehen.

2.4 FMU für Schiebedach

Ziel dieses Anwendungsszenarios war die Entwicklung eines Konzepts zur Beschleunigung der Abstimmungsprozesse bei der Entwicklung mechatronischer Produkte mit CATIA V5 als CAD-System und ASCET V5.2 als Software zur Programmierung von Steuergeräten, anhand des exemplarischen Anwendungsfalls eines Schiebe-/ Hebedachs.

Die virtuelle Prüfung mechatronischer Systeme scheitert meist an der mangelnden Integration der beteiligten Softwarekomponenten. In dem vorliegenden Szenario wurde das CAD-System CATIA V5 zur Erstellung der 3D-Geometrie und der Kinematiken eines PKW-Scheibe-/Hebedachs verwendet (Bild 6). Die Auslegung der Steuergeräte erfolgte in ASCET V5.2.

Beide Softwarekomponenten verfügen jedoch über keine direkte Schnittstelle zum Austausch von Informationen, so dass eine direkte Überprüfung des entwickelten Schiebe-/Hebedachs virtuell nicht möglich ist. Bisher werden Fehler in dem Gesamtsystem erst im physikalischen Mock-Up aufgedeckt.

ASCET (Advanced Simulation and Control Engineering Tool)

Als weitverbreitetes Entwicklungswerkzeug für Steuergeräte-Software, wird ASCET überwiegend von Funktions- und Software-Entwicklern sämtlicher namhafter Automobilhersteller und deren Zulieferer eingesetzt. ASCET dient zur Entwicklung eingebetteter Software für Steuerfunktionen und Regelalgorithmen.

Einsatzgebiete sind neben der Softwareentwicklung von Steuergeräten auch der Entwurf und die Modellierung von Applikationsfunktionen, speziell für Motorsteuerungen und zustandsbasierte Systeme (z.B. Fensterheber u. Schiebe-/ Hebedächer). ASCET ermöglicht auch die Verifikation der Funktionen durch Simulation zur Über-

prüfung der Verwendbarkeit im Fahrzeug. Weiterhin besitzt dieses Tool die Funktionalität, C-Code direkt aus den Modellen heraus generieren zu können, wodurch ein erheblicher Teil des manuellen Programmieraufwands entfällt.

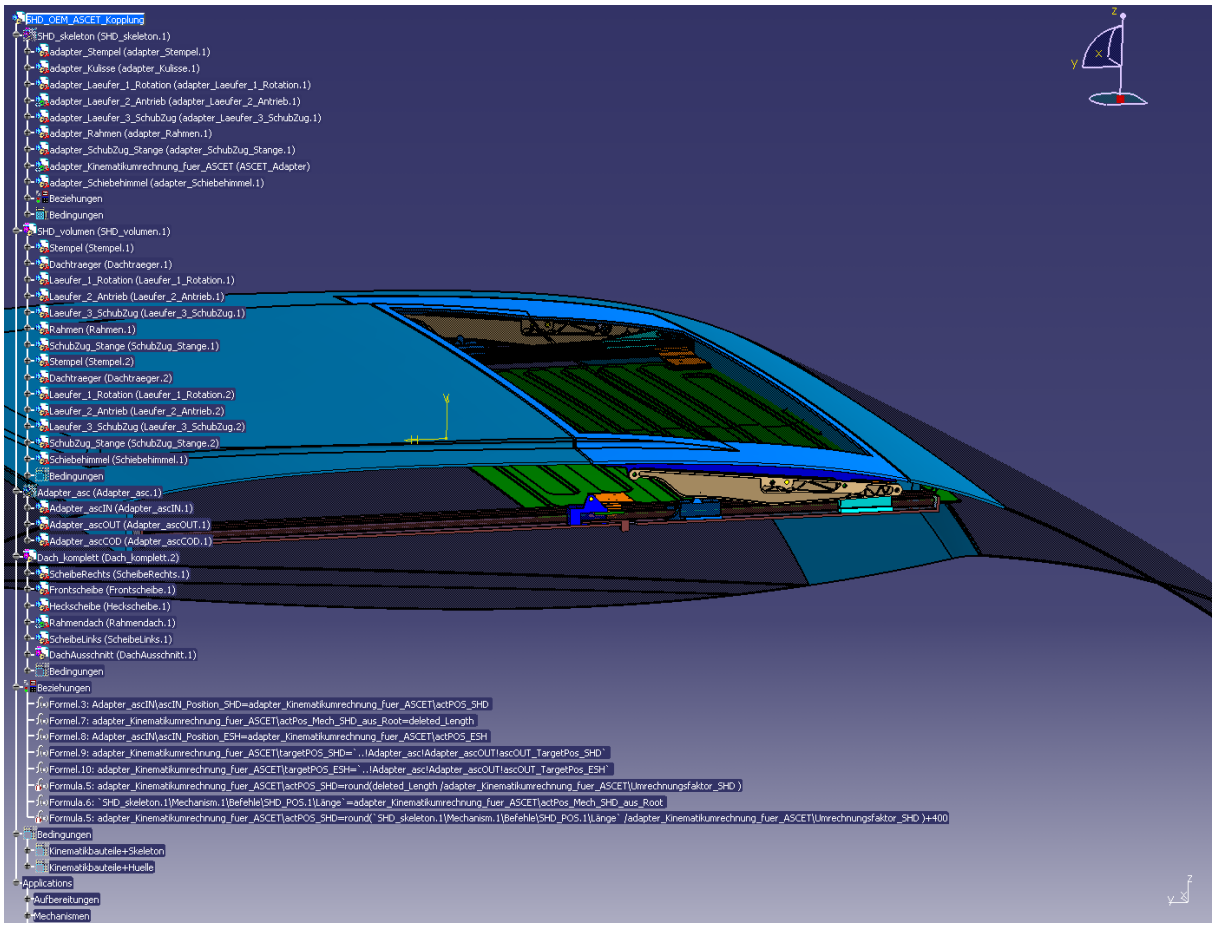


Bild 6: virtueller Prototyp des Schiebedaches

Vorteile von ASCET liegen in der klaren Strukturierung und Kapselung der Funktionen. Durch die Modularisierung ergibt sich eine leichte und schnelle Änderbarkeit. Weiterhin bietet ASCET die Möglichkeit, die erstellten Konzepte automatisch, anschaulich zu dokumentieren. Somit wird die Entwicklung in verteilten Systemen erleichtert.

CATIA V5

CATIA V5 wurde als CAD-System für die exemplarische Umsetzung gewählt, da es ein weitverbreitetes Werkzeug zur 3D-Geomtrieerzeugung ist und ausreichende Methoden und Möglichkeiten bereitstellt um die programmtechnische Kopplung zu bewerkstelligen. Neben den Funktionen für die Geometrieerzeugung stehen weitere Zusatzmodule zum Abbilden von Parametrik, Notifikationen Kinematik, Kollisionsanalyse und zur Makroprogrammierung zur Verfügung.

2.4.1 Umsetzung

Ascet bietet die Möglichkeit, die entworfene Steuerlogik als C-Quellcode zu exportieren. Um eine Simulation des Gesamtszenarios zu erreichen wurde ein Wrapper um den Ascet-C-Code entwickelt, der auf der anderen Seite die Schnittstelle zum CAD-System darstellt. Damit die benötigten Ein- und Ausgabe-Steuersignale für Ascet bereitgestellt werden können wurden in CATIA entsprechende Teilemodelle entwickelt, die als Signalgeber bzw. –nehmer fungieren wie beispielsweise Kippschalter oder Stellmotoren. Die Teilemodelle zur Signalgenerierung bzw. –verarbeitung werden in das CAD-Modell integriert und an den Ascet-Wrapper angeschlossen, so dass die Simulation des Gesamtszenarios aus der 3D-Szene heraus durchgeführt werden kann (Bild 7).

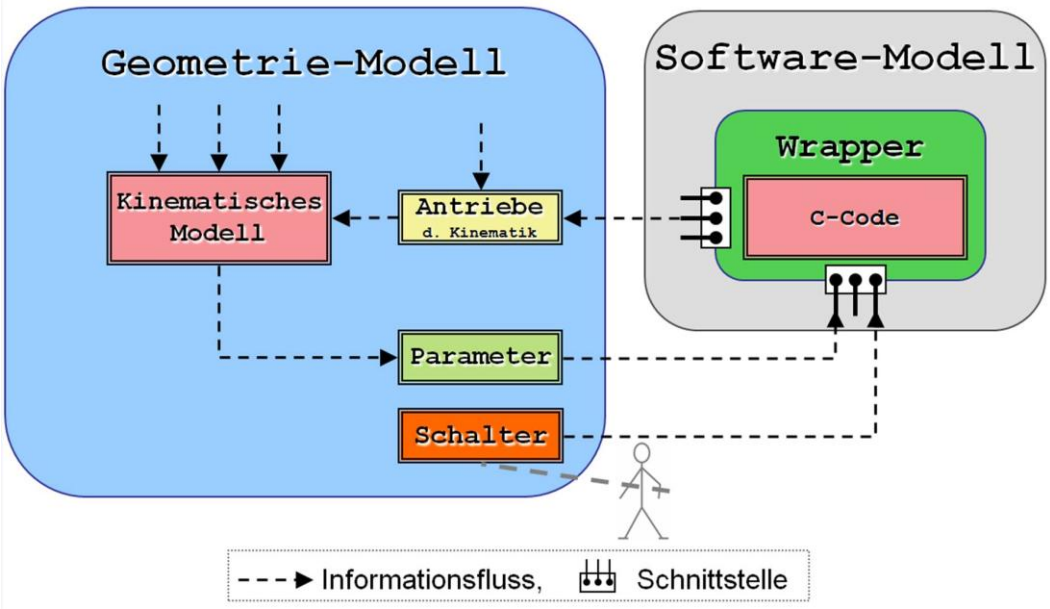


Bild 7: Gesamtkonzept der Simulationsumbebung

Dem Anwender wird so ermöglicht ohne detaillierte Kenntnisse der Umgebungen den virtuellen Prototypen zu bedienen. Die Tests an dem virtuellen Modell sind dadurch entwicklungsbegleitend durchführbar, was zu einer frühzeitigen Erkennung von Fehlern im Entwicklungsprozess führt und so zu einer Kostenersparnis führt.

2.4.2 Fazit

Durch das erstellte Konzept und den virtuellen Prototypen wurde eine Machbarkeitsaussage zur Kopplung zweier Systeme der Domänen Elektronik und Maschinenbau gegeben. Es wurden Wege aufgezeigt, über welche sich nicht nur CATIA und ASCET, sondern auch weitere Programme domänenübergreifend verbinden lassen. Der erstellte virtuelle Prototyp ist ein Beispiel der produktorientierten Prüfung und Diagnose und kann als Vorlage für weitere prototypische Umsetzungen dienen.

Der geplante weitere Einsatz des virtuellen Prototypen bietet Spielraum für die Kopplung zu weiteren Systemen. So kann eine eventuelle Integration von Systemen zur Berechnung von Finiten-Elementen, Aussagen über die Belastungen der Kinematik ermöglichen.

2.5 Erzeugnisentwicklung automatischer Verstelleinrichtungen für Automobilinterieurteile

2.5.1 Kurzbeschreibung

Im Rahmen des Szenarios soll für eine Verstelleinrichtung im automobilen Bereich ein Kleinstantrieb entwickelt werden. Hierfür sind hohe Anforderungen hinsichtlich der Überlast- und Blockadesicherheit zu erfüllen.

Bisher bekannte Antriebe arbeiten im Allgemeinen mit permanent erregten Gleichstrommotoren, welche für eine Überlast- und Blockiersicherung der Motoren überdimensioniert und überwickelt sind. Diese Überdimensionierung führt zu einer ausreichenden Antriebssteife, d.h., bei Lastwechseln bleibt die Motordrehzahl konstant, damit verbunden ändert sich das Motorgeräusch nicht. Antriebe mit nicht ausreichender Antriebssteife reagieren dagegen auf Lastwechsel wegen der Drehzahländerung mit einem jaulenden Geräusch, welches von Automobilherstellern nicht akzeptiert wird. Kleinantriebe neigen auch dazu, im Blockierfall, z.B. in Folge von Missbrauch, innerhalb kurzer Zeit durchzubrennen.

Ein deutlicher Nachteil der bisher eingesetzten Antriebe besteht jedoch darin, dass sie verhältnismäßig viel Platz benötigen und ein großes Gewicht aufweisen. Der zu entwickelnde Kleinantrieb, für den bereits eine europäische Patentanmeldung eingereicht wurde, soll durch eine intelligente elektronische Regelung in Verbindung mit einem kleinen Motor mit hoher Nenndrehzahl oberhalb der Nennleistung betrieben werden und dadurch eine hinreichende Antriebssteife ermöglichen. Dabei wird ein geräuscharmer Betrieb gewährleistet.

Die vorgesehenen kleinen Leistungsmotoren können die für die Antriebsaufgabe erforderlichen Drehmomente nur in Verbindung mit einem hoch übersetzenden Getriebe erzeugen. Wegen der guten Schwingungs- und Gleiteigenschaften bieten sich hierfür Kunststoffgetriebe mit schräg verzahnten Zahnrädern an.

2.5.2 Einordnung

Die Entwicklung innovativer Konzepte erfordert sehr viel Know-how in Grundlagenberechnung, Simulation, usw. Das nötige Know-how wird im allgemeinen erst im Zusammenschluss mit externen Partnern gebündelt. Das Zusammenspiel zwischen Auftraggeber, den einzelnen internen Fachbereichen, externen Entwicklungspartnern und Lieferanten ist außerordentlich komplex. Der Informations- und Erfahrungsaus-

tausch zwischen den Partnern hat dabei hohe Priorität. Die Steuerung des Austausches über eine gemeinsame Plattform kann den gesamten Projektablauf positiv beeinflussen.

Das Produktkonzept besteht u.a. aus den mechatronischen Konmponenten

- Elektromotor
- Getriebe
- Lageerkennungeinrichtung kontaktlos inkremental
- Prozessoreinheit zur Regelung/Steuerung und Referenzierung
- embedded Software
- Schnittstellen zu Fahrzeugelektronik.

Der Entwurfsprozeß umfaßt damit unterschiedlichste Disziplinen der Ingenieurwissenschaften. Die Entwicklung der elektronischen Komponenten wird nach Spezifikation von imk durch einen Zulieferer ausgeführt. Die Mikrospritzgußteile werden ebenfalls durch Zulieferer gefertigt.

Diese Kooperationen stellen erhöhte Anforderungen an das Management für Entwicklung, Funktionsprüfung und Testung.

2.5.3 Ist-Zustand

Der Ablauf der Entwicklung einer Verstelleinrichtung lässt sich grob in folgende Bereiche unterteilen:

1. Anfrage, Angebot, Auftrag
2. Analyse der Möglichkeiten und Anforderungen
    - Marktanalyse
    - Nachfragepotenzial
    - gesetzliche Vorschriften
    - technische Anforderungen
3. Konzepterstellung
    - Lastenhefterstellung
    - Erstellung mehrerer Konzeptvarianten
    - Bewertung der Varianten
    - Auswahl einer Vorzugsvariante
    - Lieferantenauswahl
    - Erarbeitung von Mess- und Prüfverfahren

4. Auslegung / Konstruktion
    - Grobauslegung der Vorzugsvariante
    - FEM – Berechnungen
    - Iterationsschleifen
    - Feinauslegung
    - Zeichnungserstellung
5. Musterbau / Erprobung
    - Prototypenfertigung
    - Funktionstests
    - Dauerlauferprobung
    - Crasherprobung
    - Verschleiß- und Schadensanalyse
6. Fertigung / Beschaffung
    - Klärung der Teile- und Lieferumfänge
    - Kapazitäts- und Personalplanung
    - Planung Fertigungs- und Betriebsmittel
    - Planung Fertigung / Montage
7. Serienbetreuung
    - Änderungsmanagement
    - Zeichnungspflege

Die Angebotserstellung (inkl. Kalkulation), Teilebestellungen, Rechnungslegung usw. erfolgen zentral mit dem ERP System P2Plus, die Ausgabe erfolgt wiederum als Word-Dokument. Für die Datenübermittlung werden E-Mail, Post bzw. Odette-FTP eingesetzt. Informationen über Änderungen, Termine, Teilefertigungsstatus usw. werden per Mail weitergeleitet.

In der Produktentwicklung sind bei imk eine Vielzahl disziplinspezifischer Entwurfs- und Simulationswerkzeuge im Einsatz, die bei der Evaluierung der im Projekt entstzehenden prozess- und produktorientierten Werkzeuge für mechatronische Entwurfsprozesse zu berücksichtigen sind.

Beteiligte Institutionen

An der Entwicklung der Verstelleinrichtungen sind neben internen Fachbereichen auch externe Partner als Entwicklungs- und/oder Teilelieferant beteiligt.

Je nach Projektphase sind intern die Fachbereiche Vorentwicklung, Entwicklung / Konstruktion, Planung, Versuch und Controlling involviert.

Externe Partner übernehmen die Teilefertigung und -lieferung oder auch die Entwicklung und Lieferung von Elektronikkomponenten.

2.5.4 Soll-Zustand

Es gestaltet sich schwierig, im Bereich Mechatronik für innovative Konzepte kompetente Entwicklungspartner zu finden bzw. das Zusammenspiel zu koordinieren. Weiterhin werden von den unterschiedlichen Partnern verschiedenen Systeme und Programme eingesetzt, was die Koordination zusätzlich erschwert. Ziel des Einsatzes der MIKADO-Werkzeuge ist es, eine übergeordnete Plattform zu schaffen, in der Informationen zentral abgelegt werden und von dort aus gezielt und lesbar an die jeweiligen Projektpartner übermittelt bzw. abgerufen werden können.

Es besteht die Notwendigkeit Terminpläne zu verwalten, damit jeder Projektpartner über Veränderungen im Ablauf rechtzeitig informiert wird.

Die Bearbeitung von Änderungen muss gesteuert werden, damit etwaige Probleme im Zusammenhang mit der Änderung von den Beteiligten sofort erkannt und behoben werden können. Weiterhin müssen Änderungen chronologisch abgelegt werden, um die Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten.

Um Lieferengpässe zu vermeiden, sollten Bedürfnisse, Lagerbestände und Produktionsläufe unter den Beteiligten abgefragt werden können.

3D-Daten sollten in einem für alle zugängigen Pool liegen (mit einzeln zuweisbaren Zugriffsrechten) oder zumindest über die MIKADO-Plattform austauschbar sein.

Kernstück der Realisierung dieser Forderungen ist die systematische Erfassung und Propagierung aller Produktanforderungen mit ihren Beziehungen sowohl untereinander als auch zu den Produktkomponenten.

Dabei werden die Versionen der Anforderungen mit Verantwortlichkeiten, Bearbeitungsstand und Zuordnungen zu den Entwurfsdisziplinen nachvollziehbar dokumentiert.

Für die virtuelle Prüfung wurde exemplarisch die Einbauuntersuchung (DMU) auf Kollision mit umgebenden Karosserieteilen realisiert und über die MIKADO-Infrastruktur an die entsprechenden Parameter der Anforderungen angebunden.

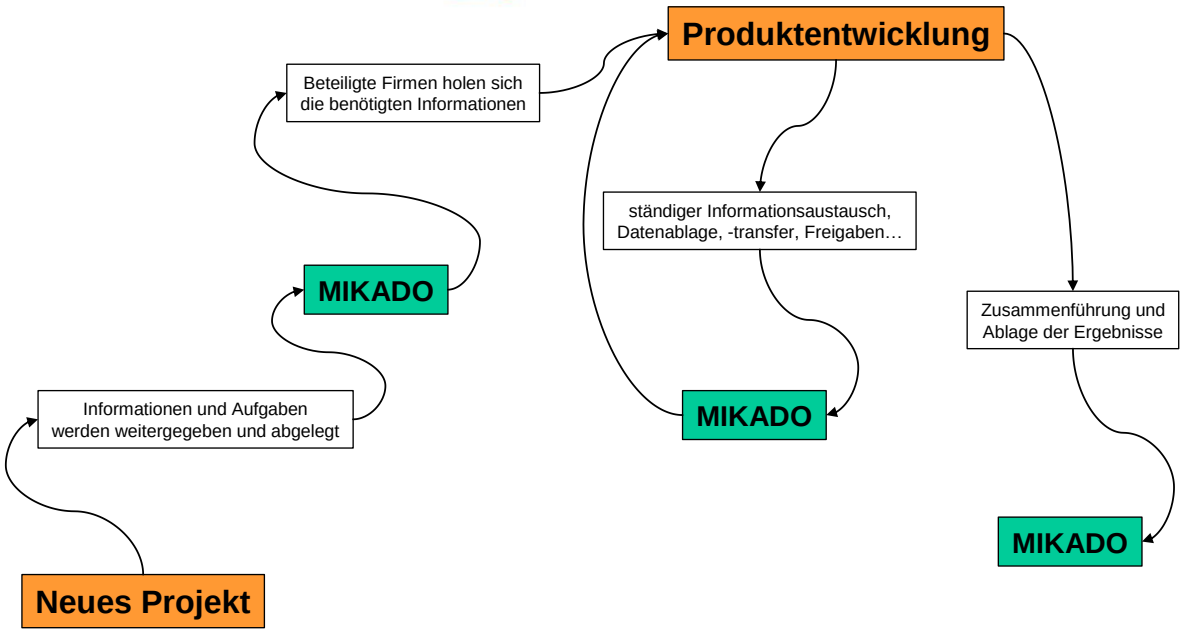


Bild 8: Skizze Soll-Ablauf

2.6 Multidisziplinäres Systemkonfigurations-Cockpit

Die Firma iPLON (vormals TLON) entwickelt u.a. multidisziplinäre Produkte für die Gebäudeautomation. Dabei steht die Entwicklung von Komponentenlösungen für industrielle Kunden im Vordergrund. iPLON versteht sich dabei als Denkfabrik, in der die Produkte erdacht und entwickelt werden. Die Fertigung und Montage der fertigen Komponenten übernehmen i.a. Produktionspartner, denen iPLON das Testequipment und die Testvorschriften bereitstellt.

2.6.1 Kurzbeschreibung

Bei den Produkten der Firma iPLON besteht der Kern zumeist aus elektrischen Schaltungen, die elektronische Komponenten zur Steuerung enthalten. Diese Schaltungen sind in elektromechanische Umgebungen (Aktoren, Gehäuse, etc.) integriert. Die Steuerung wird durch Mikroprozessoren, FPGAs (Field Programmable Gate Array / programmierbarer Halbleiterbaustein) und ASICs (Application Specific Integrated Circuit / Anwendungsspezifischen Integrierten Schaltung) realisiert. Daneben werden auch Applikationen zur Konfiguration komplexer Systeme als PC-Software realisiert. Die einzelnen Komponenten, also elektrische Schaltungen und Schaltungsblöcke, Softwarebausteine, Gehäuse und die Layouts der Platinen werden ständig weiter entwickelt und unterliegen daher einer Versionisierung. Produkte werden aus verschiedenen dieser Komponenten zusammengesetzt, so dass sich, je nach Konfiguration und Komponentenversionen, Produktversionen ergeben.

2.6.2 Ist-Zustand

Die Bereitstellung passender Komponenten zu einem Gesamtprodukt erfolgt durch den verantwortlichen Entwickler und wird durch diesen dokumentiert.

Die beteiligten Entwickler haben, bedingt durch verschiedliche Fachdisziplinen, verschiedene Produktentwicklungsprozesse, die nicht harmonisiert sind. Der Austausch von produktbeschreibenden Daten erfolgt nur auf Basis von freigegebenen Versionen der Funktionskomponenten.

Beteiligte Personen bzw. Rollen

- Der Produktverantwortliche …
  - kommuniziert mit dem Kunden,
  - nimmt die Anforderungen des Kunden auf
  - erstellt das Angebot
  - setzt die Kundenanforderung in Teilanforderungen um und kommuniziert diese mit den übrigen Beteiligten.
- Der Softwareentwickler
  - wählt die Basisarchitektur aus,
  - setzt die Teilanforderungen an die Steuerungslogik in Software um,
  - stellt für bestimmte Produktversionen bzw. Produktkonfigurationen Softwarekomponenten bereit und
  - dokumentiert die Zuordnung von Produktversion zur Version der Softwarekomponente.
- Der Schaltungsentwickler
  - wählt die Basistechnologie aus,
  - setzt die Teilanforderungen an die Schaltung in Schaltpläne um,
  - stellt für bestimmte Produktversionen bzw. Produktkonfigurationen Schaltpläne zur Verfügung und
  - dokumentiert die Zuordnung von Produktversion zur Version des Schaltplans.
- Der Testentwickler …
  - entwickelt parallel zum Schaltungsentwickler und Softwareentwickler das Testequipment und die Testvorschriften, aus denen sich ständig

neue Anforderungen an Schaltungsentwickler und Softwareentwickler ergeben,

  - setzt Teilanforderungen in Testfälle um,
  - stellt für bestimmte Produktversionen bzw. Produktkonfigurationen Testequipment und die Testvorschriften zur Verfügung und
  - dokumentiert für sich die Zuordnung von Produktversion zur Version der Testumgebung.

- Der externe Layouter
  - setzt die fertigen Schaltpläne in Boardlayouts der entsprechenden Technologie um,
  - bildet eine Einheit mit dem Mechanikentwickler, da diese Aufgaben von einem externen Partner übernommen werden, wobei beide sich mit dem Produktverantwortlichen abstimmen und
  - ordnet Layoutversionen Produktversionen zu.
- Der externe Mechanikentwickler
  - entwickelt – ausgehend von den Teilanforderungen und der Gestalt der Platinen – die Gehäuse und Aktoren.

Heute werden die einzelnen Komponenten von Fachentwicklern entwickelt, deren Anforderungen sich aus den Kundenanforderungen und den Anforderungen benachbarter Disziplinen ergeben. Der Austausch von produktbeschreibenden Daten erfolgt nur auf Basis von freigegebenen Versionen der Funktionskomponenten. Eine gemeinsame Konfigurations- und Versionsverwaltung des Gesamtsystems findet nicht statt.

Beteiligte Systeme und Systemarchitekturen

Bedingt durch die Beteiligung verschiedener Fachdisziplinen werden bei iPLON unterschiedliche Entwicklungssysteme eingesetzt. Es gibt kein übergeordnetes System, welches die Zusammenhänge zwischen den Entwicklungsständen verwaltet und allgemein zugänglich macht.

2.6.3 Soll-Zustand Beschreibung

Bedingt durch die lokale Dokumentation des Zusammenhangs zwischen Produktversion und Komponentenversion, ist eine zentrale Identifizierung in der Art „In Produkt 1 Version 5a ist Layout X Version 27 verbaut, dafür ist Herr xy Verantwortlich“ nicht möglich. Der Verweis auf die entsprechende Komponentenversion erfolgt immer über eine solche Identifizierung „Die Version der Komponente X in Produkt 1 Version 5a“ und muss bei der zuständigen Person abgefragt werden. Um im Bedarfsfall (z.B. bei Reklamationen oder in dringenden Supportfällen) schnell reagieren zu

können und ggf. anderen Entwickler mit einbeziehen zu können soll in Zukunft dieser Zusammenhang einer zentralen Verwaltung unterworfen und in einem sog. Systemkonfigurationscockpit zur Verfügung gestellt werden. Das Cockpit dient somit nicht nur dem Monitoring sondern ist das zentrale Instrument zur Ableitung von Handlungsanweisungen.

Grobes Ablaufdiagram

Die Zuordnung von Komponentenversion zu den Produktversionen erfolgt in der MIKADO-Kooperationsplattform. Dazu wird in der Plattform ein Modell des Gesamtsystems mit den abgeleiteten Teilanforderungen hinterlegt. Die Zuordnung der Versionen untereinander und den verantwortlichen Entwicklern, die heute implizit in den einzelnen Disziplinen gemacht wird, wird in der Plattform explizit gemacht. Dabei verbleiben die eigentlichen Dokumente und die Versionsverwaltung in den bewährten Werkzeugen der einzelnen Fachdisziplinen. Die Integrationsplattform verwaltet nur die Verweise auf die Dokumentenversionen. Der Aufwand zur Dokumentation soll dabei geringer werden.

2.6.4 Defizite des Ist-Stand und Vorteile des Einsatzes der MIKADO-Kooperationsplattform

Bedingt durch die lokale Dokumentation des Zusammenhangs zwischen Produktversion und Komponentenversion muss bei der zuständigen Person abgefragt werden, welche Version der Funktionskomponente in einem bestimmten Produkt verbaut ist. Um im Bedarfsfall (z.B. bei Reklamationen oder in dringenden Supportfällen) schnell reagieren zu können und ggf. andere Entwickler mit einbeziehen zu können soll in Zukunft dieser Zusammenhang einer zentralen Verwaltung unterworfen und in einem sogenannten Systemkonfigurationscockpit zur Verfügung gestellt werden. Das Cockpit dient somit nicht nur dem Monitoring sondern ist das zentrale Instrument zur Ableitung von Handlungsanweisungen.

Nachteile der aktuellen Lösung:

- Keine zentrale Systemversionsverwaltung
- Aufwendige Rekonstruktion des Systemzustands im Bedarfsfall
- Keine Absicherung des Prozesses im Sinne eines Qualitätsmanagements, da die dezentrale Dokumentation nicht überprüft werden kann

Vorteile einer Lösung mit MIKADO:

- Zentrale Systemversionsverwaltung
- Einfache Rekonstruktion des Systemzustandes im Bedarfsfall
- Einfache Übergabe der Verantwortlichkeiten im Bedarfsfall

- Absicherung des Prozesses im Sinne eines Qualitätsmanagements, die die explizite Dokumentation verpflichtend und nachprüfbar macht

2.7 Fotovoltaik-Steuereinheit

Die Firma iPLON hat gemeinsam mit der Wirtschaftsförderungsgesellschaft Schwäbisch-Hall ein Fernüberwachungssystem für Fotovoltaikanlagen entwickelt. Dabei können Ertragswerte gemessen und von den Anlagenbetreibern überwacht werden. In Bild 9 ist die Fotovoltaikanlage des Solarparks Krauß-Novatech zu sehen, für die die Firma iPLON ein solches Fernüberwachungssystem eingerichtet hat und die einen durchschnittlichen Ertrag von 1.28 MWp besitzt.

Bild 9: Solarpark Krauß-Novatech

Um die Ertragsdaten einer Fotovoltaikanlage zu erfassen, wird ein Messgerät, die sogenannte iBox an die Anlage angeschlossen, das dann die Messdaten über einen GPRS-Sender an einen zentralen Server sendet. Über eine gesicherte, webbasierte Benutzerschnittstelle können die Ertragsdaten von den Anlagenbetreibern ortsunabhängig, stets aktuell und grafisch aufgearbeitet eingesehen werden. In Bild 10 ist ein Screenshot dieser Benutzerschnittstelle dargestellt, auf der die Ertragsdaten für eine bestimmte Anlage abzulesen sind.

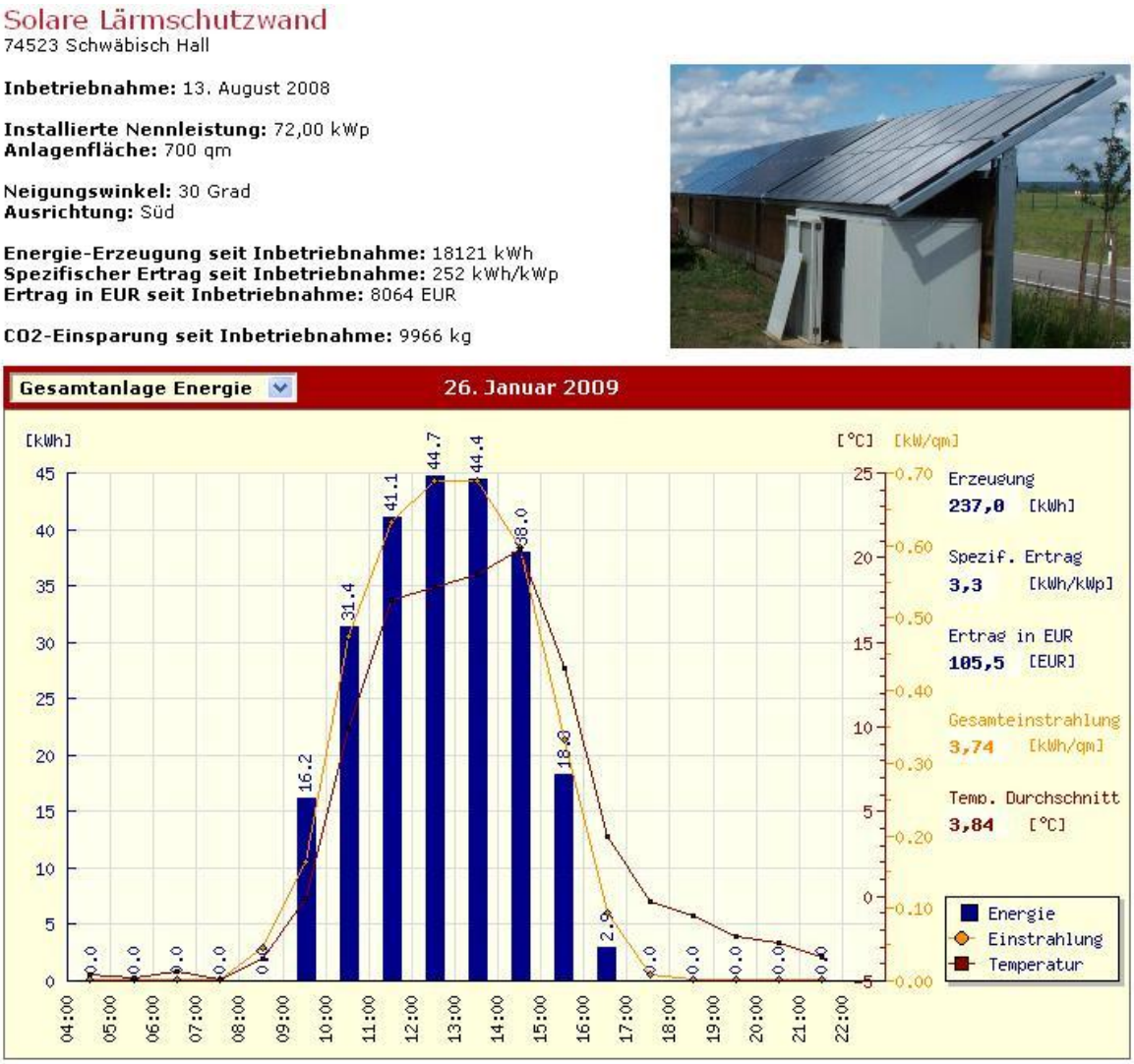


Bild 10: Ertragsdatendarstellung

Über die genannte Messung von Ertragsdaten hinaus bietet das Fernüberwachungssystem Funktionalitäten für die Fernwartung wie z.B. Konfiguration der iBox oder Systemupdates und Funktionalitäten für die automatische Benachrichtigung über unerwünschte Systemzustände, die z.B. durch den Ausfall einzelner Solarpanels entstehen können. In Bild 11 ist die Architektur noch einmal genauer dargestellt.

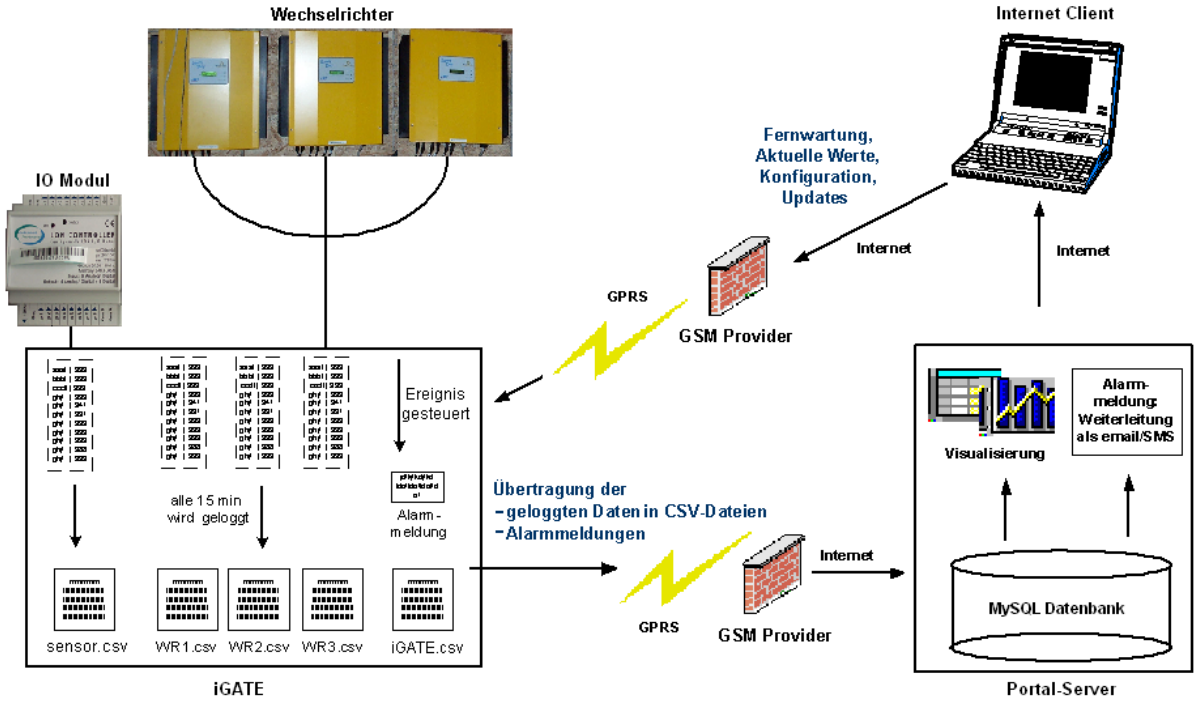


Bild 11: Fernüberwachungssystem Architektur

Im Rahmen des Verbundprojektes MIKADO soll eine neue Variante der iBox, die iBox Premium, entwickelt werden, mit der in Zukunft ein weitaus umfangreicheres Produkt-Service-System entstehen soll. Methoden und Werkzeuge aus dem Verbundprojekt sollen dabei dazu verwendet werden, den Entwicklungsprozess für die iBox Premium effektiver und effizienter zu gestalten. Dabei sollen insbesondere eingeführt werden:

- ein definiertes, werkzeugunterstütztes Vorgehen für das Anforderungsmanagement,
- ein Vorgehen für die Entwicklung von Produktfunktionen und Produktkomponenten und eine durchgängige Verknüpfung dieser Elemente mit Anforderungen,
- ein Vorgehen für das integrierte Testen und Verifizieren von Produktfunktionen und
- ein Vorgehen für die nahtlose Integration aller relevanten Entwicklungswerkzeuge.

2.8 Prototyp zur softwaregestützten Projektierung mechatronischer Systeme

In Zusammenarbeit mit der SITEC Industrietechnologie GmbH wurden die Ergebnisse des MIKADO-Projektes in einer alternativen Lösungsvariante für Kleine und Mittelständige Unternehmen umgesetzt.

Die SITEC Industrietechnologie GmbH ist ein Systemlieferant im Bereich flexibler Montage-, Laser- und ECM-Anlagen und realisiert kundenspezifische Produktionssysteme für verschiedene Branchen. Das Leistungsspektrum umfasst dabei den gesamten Produktlebenszyklus vom Engineering über Fertigung und Montage bis hin zum After-Sales-Service.

Das Ziel dieses Anwendungsszenarios war die Konzeption, Umsetzung, Integration und Validierung mechatronischer Methoden in der Produktentwicklung.

2.8.1 Aufgabenbeschreibung

Die bei der SITEC Industrietechnologie GmbH entwickelten Anlagen setzen sich aus vielen mechanischen und steuerungstechnischen Komponenten zusammen. Bei jeder neu zu entwerfenden Anlage muss entschieden werden, welche Komponenten mechanisch und welche steuerungstechnischen umgesetzt werden müssen, um die spezifizierten Randbedingungen wie Beispielsweise die Durchlaufzeiten zu erfüllen. Diese Entscheidungsprozesse werden von Projektleitern auf Grund ihrer langjährigen Erfahrung durchgeführt.

Da dieses Vorgehen sehr stark personengebunden ist, wird eine Prozess-, Methoden- und Systemunterstützung für die

- Spezifikation von Steuerungsaufgaben
- Entscheidung über mechanische oder steuerungstechnische Umsetzung
- Formalisierung und Nachverfolgbarkeit der Entscheidungsfindung

benötigt.

Nach einer Analyse der bisherigen Prozesse und Methoden wurden drei mögliche Varianten der Umsetzung vorgestellt und von der SITEC GmbH bewertet. Dabei wurde seitens SITEC großer Wert darauf gelegt, dass das Szenario auf der Basis von Standardsoftware realisiert wird und die Software im Anschluss von eigenen Mitarbeitern der SITEC GmbH gepflegt und erweitert werden kann.

Obwohl durchaus Möglichkeiten zur Integration des Anwendungsszenarios in die allgemeine Mikado-Softwarelösung bestand, wurde ein alternativer Lösungsweg gewählt, um so aufzuzeigen, dass die Projektergebnisse problemlos auch in weiteren Softwarelösungen realisiert werden können.

Dieses Vorgehen begünstigte auch die Eingliederung in die bestehenden Prozesse im Zusammenhang mit der Anforderung der eigenen Wart- und Erweiterbarkeit.

Die Umsetzung erfolgte als Erweiterung der Microsoft SharePoint Services (Bild 12). Dadurch wurde zum einen den Anforderungen des Anwenders Rechnung getragen als auch aufgezeigt, dass die MIKADO-Projektergebnisse durch alternative Software-implementierungen umgesetzt werden können.

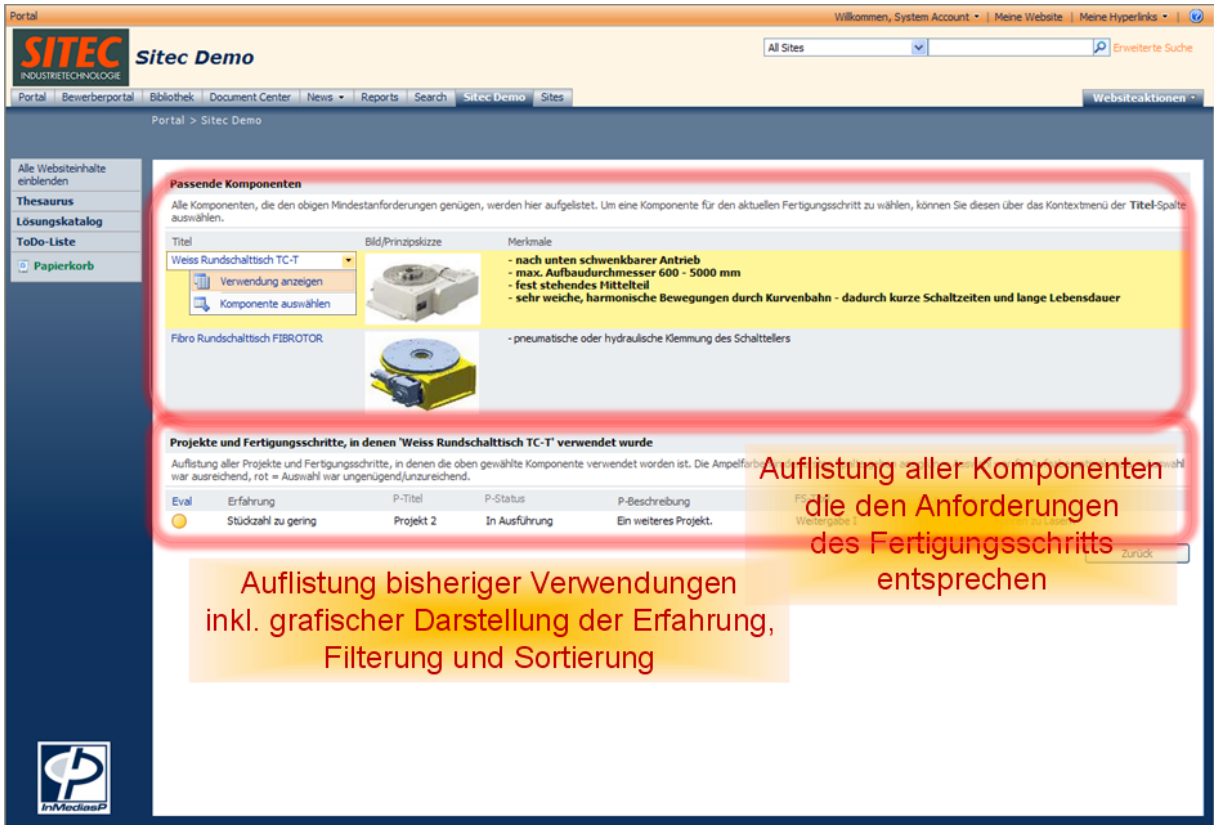


Bild 12: Bild von Erfahrungswissen

2.8.2 Umsetzung der Anforderungen

Aus den Anforderungen wurden drei Use Cases abgeleitet, die in der Softwarelösung umgesetzt wurden. Zwei weitere Use Cases wurden als Konzept beschrieben.

Archivierung von Entscheidungsprozessen

Um Erfahrungen aus früheren Projekte für spätere Entscheidungen nutzbar zu machen, ist es wichtig, die Entscheidungsprozesse in einer geeigneten Weise zu archivieren und zugreifbar zu machen. Dazu wurde es ermöglicht die rein technischen Beschreibungen von Komponenten um praktische Erfahrungen wie z.B. hohen Verschleiß oder zu geringe Durchlaufzeiten anzureichern und des weiteren Verknüpfungen zu den entsprechenden Projekten zu setzen um eine tiefer gehende Analyse der Umstände zu ermöglichen.

Archivieren von Umsetzungskonzepten und Inhalten in der Projektierung

Um bei neuen Beauftragungen ähnliche Lösungswege von bereits abgeschlossenen Projekten leichter zu finden und miteinander vergleichen zu können, wurde eine Möglichkeit geschaffen die Projekte in einer gemeinsamen Datenbasis zu archivieren um so nach bestimmten Eigenschaften suchen und filtern zu können und die Navigation in den Datenbeständen zu vereinfachen.

Thesaurus

Um das Auffinden von Informationen zu erleichtern wurde ein System zur Erstellung und Pflege eines technischen Synonymverzeichnisses implementiert. Dadurch ist es den Anwendern aus verschiedenen Domänen bei unterschiedlichem Vokabular möglich Informationen leichter zu ermitteln und auf einer gemeinsamen Datenbasis zu operieren. Auch wird so den jeweils anderen Bereichen ein Verständnis vom Vokabular der eigenen Abteilung vermittelt, was langfristig zu einer verbesserten Kommunikation innerhalb des Unternehmens führen kann.

Für zwei weitere Use Cases wurde die Umsetzbarkeit mit den Microsoft SharePoint Services evaluiert.

Verknüpfung Projekt/Produktstruktur

Die Microsoft SharePoint Services bieten Geschäftsdatenkataloge (BDC) zur Einbindung von Information aus Datenbanken und Web Services. Die Darstellung und Integration der Information in vorhandenen Datenquellen ist dabei einfach möglich. Durch die Einbindung sind die Informationen über die Standard-Suchfunktion erreichbar und stehen Recherchen zur Verfügung.

Workflow Sitec-Auftragsabwicklung

Die Microsoft SharePoint Services bieten Workflow-Unterstützung durch Nutzung der Windows Workflow Foundation und ermöglichen so die Umsetzung komplexer Geschäftsprozesse. Zum einen werden vorgefertigte Workflows angeboten die Standardgeschäftsprozesse abbilden, andererseits ist es möglich aus einem Satz vordefinierter Aktionen mit Hilfe des SharePoint Designer Workflows zu erstellen und sich verändernden Anforderungen interaktiv anzupassen.

Zusammenfassung

Die in Zusammenarbeit mit der Firma SITEC Industrietechnologie GmbH entwickelte Lösungsvariante zeigt eine weitere Integrationsmöglichkeit mechatronischer Disziplinen unter Berücksichtigung enger, praxisbestimmter Rahmenbedingungen auf. Durch die maßgeschneiderte Lösung für die adressierten Fragestellungen wurde eine starke Verzahnung mit den bestehenden Prozessen erreicht und den Bedürfnissen nach eigener Wartbarkeit und Erweiterbarkeit Rechnung getragen.

3 Vorgehensweise und Umsetzung

3.1 Lösungsansatz

Die Interdisziplinarität der Mechatronik verlangt eine übergreifende Koordination bei der Planung und der Durchführung von Entwicklungsvorhaben. Eine systematische und effektive interdisziplinäre Zusammenarbeit und ein vollständiger automatischer Austausch digitaler Daten sind wichtige Voraussetzungen für eine hohe Zuverlässigkeit der Produkte. Als zentrales Werkzeug entstand im Rahmen des Projektes eine disziplin- und unternehmensübergreifende Kooperationsplattform für die Mechatronikentwicklung. Sie schafft eine integrierte Informations- und Systemumgebung für die beteiligten Entwickler. Eine wesentliche Aufgabe der Plattform besteht daher in der Vernetzung der an der mechatronischen Produktentwicklung benötigten Systeme sowie in der Integration der heterogenen Teilmodelle der unterschiedlichen Fachdisziplinen [5].

Zur Schaffung von integrierten Prüf- und Diagnosewerkzeugen wird ein Anforderungsnetz entwickelt, in das alle Fachdisziplinen ihre Anforderungen wie beispielsweise technische, aber auch kundenbezogene, gesetzliche oder organisatorische ablegen. Dort werden sie funktional mit den Produkteigenschaften in Verbindung gebracht. So entsteht eine durchgängige und integrierte Basis für die Entwicklung mechanischer, elektrischer und regelungstechnischer Komponenten sowie der Software (Bild 13).

Durch Verknüpfung des Anforderungsnetzes mit allen mechatronischen Funktionen wurde auch ein verbesserter Abgleich zwischen virtuellem und realem Gesamtsystem zu jedem Zeitpunkt ermöglicht. Die Anforderungsmodellierung wird dadurch zum Bestandteil der kontinuierlichen Überprüfung des Produktreifegrades im Gegensatz zu heutigen statischen Ansätzen. Bereits in den frühen Phasen werden nahezu vollständige funktionale Prototypen erstellbar und die Auswirkungen von Entwicklungsentscheidungen untersuchbar. Die Vorhersagbarkeit des Gesamtsystemverhaltens steigt hierdurch wesentlich. Mit der erreichten Steigerung der Qualität des Entwicklungsprozesses gehen ein frühzeitiger hoher Produktreifegrad und damit eine hohe Gesamtsystemqualität und -zuverlässigkeit einher.

Für eine effiziente Zusammenarbeit zwischen OEM, Zulieferern und Dienstleistern ist es neben anderen Faktoren erforderlich, die Prozesse der kooperativen Entwicklung mechatronischer Systeme zu beherrschen. Eine modell- und simulationsunterstützte Entwicklungsprozessanalyse bietet die Möglichkeit, Verbesserungspotenziale zu erkennen und Prozessalternativen zu vergleichen. Im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO wurde ein innovatives Werkzeug zur verteilten Prozessmodellierung und Kennzahlensystem erarbeitet, um den Unternehmen die Planung und Analyse paralleler Entwicklungsprozesse in verschiedenen Disziplinen zu ermöglichen. Es werden mehrere voneinander getrennte autonome Modelle vorgeschlagen, d.h. jede Disziplin beschreibt ihre eigenen Entwicklungsaktivitäten, Ressourcen sowie Daten und führt

die eigenen Prozesse aus. Die Synchronisation erfolgt über eine Kommunikationsschnittstelle [6].

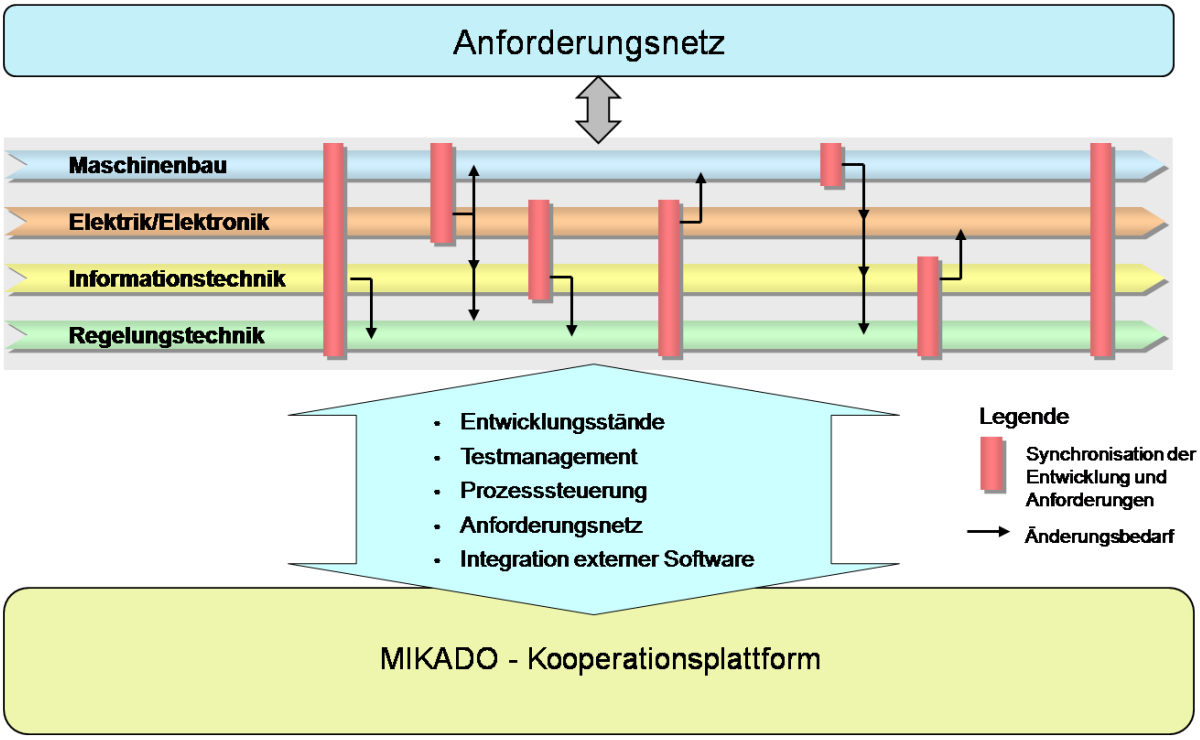


Bild 13: Synchronisation der mechatronischen Produktentwicklung

3.2 Kooperationsplattform für die mechatronische Produktentstehung

3.2.1 Motivation und Ausgangssituation

Im Rahmen der mechatronischen Produktentwicklung benötigen heutige Unternehmen nicht nur neuartige Methoden und Werkzeuge, sondern auch eine durchgängige Basis von Produktdaten und Prozessen für die integrative Entwicklung mechanischer, elektrischer sowie informationstechnischer Komponenten.

Im Rahmen des Verbundprojekts wurde eine Mechatronik-Kooperationsplattform konzipiert und prototypisch umgesetzt. Die Kooperationsplattform ermöglicht eine integrative und synchronisierte Systementwicklung im Sinne des Systems Engineering. Weiterhin dient die Plattform der Integration aller für die mechatronische Produktentwicklung relevanten Entwicklungswerkzeuge.

Die Kooperationsplattform bildet die Basis für die Absicherung der Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme sowie spezifische Prüf-, Test-, und Diagnoseverfahren und kann unterstützend bei Entwicklung, Produktion sowie Betrieb mechatronischer Systeme eingesetzt werden. Die Möglichkeit der bidirektionalen Kopplung mit Softwarekomponenten aus den einzelnen Disziplinen (z.B. Mechanik, E/E, Software) über geeignete Schnittstellen (z.B. WebServices) bzw. Integrationsmechanismen ermöglicht

den Zugriff auf sämtliche Informationsinhalte, die im Rahmen einer mechatronischen Produktentwicklung verwaltet und ggf. in Beziehung gesetzt werden müssen. Zur Verknüpfung der im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelten produkt- und prozessorientierten Prüf- und Diagnosewerkzeuge mit den (typischerweise in proprietären Systemen vorliegenden) Produktdaten der unterschiedlichen Domänen werden geeignete Schnittstellen bereitgestellt.

3.2.2 Lösungsansatz

Die zentrale Aufgabe der Kooperationsplattform kann in zwei Teilbereiche gegliedert werden:

- Die *Vernetzung* der an der mechatronischen Produktentwicklung beteiligten Systeme sowie
- Die *Integration* der heterogenen Teilmodelle der unterschiedlichen Fachdisziplinen.

Ein entscheidender Gesichtspunkt bei der Integration der heterogenen Teilmodelle, insbesondere der Vernetzung von Informationsobjekten zwischen den unterschiedlich strukturierten Datenmodellen der Mechatronik, ist die Sicherstellung der Konsistenz der abgebildeten Informationen.

Um hohe Implementierungsaufwände zur nachträglichen Anpassung der Plattform an konkrete Anforderungen heutiger Entwicklungs- und Instandhaltungsprojekte im Bereich Mechatronik zu vermeiden, wurde beim Entwurf der Plattform-Architektur eine ganzheitliche Betrachtung der Aspekte *Informationsmodell* und *Softwarekomponenten* angestrebt. Die auf Basis dieser Architektur entwickelte Software-Lösung ist hinreichend flexibel erweiterbar, da der Realisierungsaufwand auf den notwendigen Aspekt (z.B. Informationsmodell, Funktionalität, Technologie, Integration) begrenzt werden kann.

Basissoftware ice.NET

Zentrale Komponente der Kooperationsplattform ist die Basissoftware ice.NET. Sie setzt auf einem *Metamodell* auf, das die komponentenorientierte Softwarearchitektur nutzt. Die realisierbaren Komponenten lassen sich in vier Kategorien einteilen:

- **Modellpakete** repräsentieren Teilmodelle der einzelnen Anwendungsdomänen der Mechatronik sowie Teilmodelle für ein zentrales Anforderungsmanagement. Die Modellpakete stellen die Basis der zu entwickelnden und zu implementierenden Komponenten dar.
- **Business Objects** realisieren spezifische Softwarefunktionen, die im Rahmen der mechatronischen Produktentwicklung benötigt werden. Diese Funktionen sind entsprechend für die zu definierenden Modellpakete umzusetzen.

- Im Gegensatz dazu sind **generische Services** von konkreten Informations(teil)modellen unabhängige Softwarefunktionen. Hierzu zählen u.a. Services für die Verwaltung von Zugriffsberechtigungen, Konsistenzüberprüfung von Nutzdaten hinsichtlich der implementierten Teilmodelle sowie generische Visualisierungsfunktionalität für Clients.
- **Technologie-Bindings** sind Komponenten, die Basistechnologien (z.B. SQL-Datenbankpersistenz oder SOAP-basierende WebServices), realisieren. Auf diese Weise können sowohl die im Rahmen der mechatronischen Produktentwicklung eingesetzten Systeme als auch die zu entwickelnden Werkzeuge integriert werden.

Architekturkonzept

Die Plattform besteht aus einem Informations- und Datenmodell („MIKADO-Datenmodell“) sowie Komponenten, die auf Basis des Datenmodells spezifiziert und implementiert wurden. Das MIKADO-Datenmodell gliedert sich in die folgenden Teilmodelle (vgl. Kapitel 3.2.3):

- Informationsmodell,
- Kooperationsmodell und
- Prozessmodell.

Auf Basis des MIKADO-Datenmodells wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens die folgenden Komponenten definiert und implementiert (vgl. Kapitel 3.2.4):

- Basisdienst-Komponente,
- Datenmanagement-Komponente,
- Kooperationsmanagement-Komponente,
- Workflow-Engine,
- MIKADO Client sowie
- Schnittstellen zu anderen Systemen.

Bild 14 zeigt schematisch die Architektur der Mechatronik-Kooperationsplattform sowie die anzubindenden Systeme und Werkzeuge.

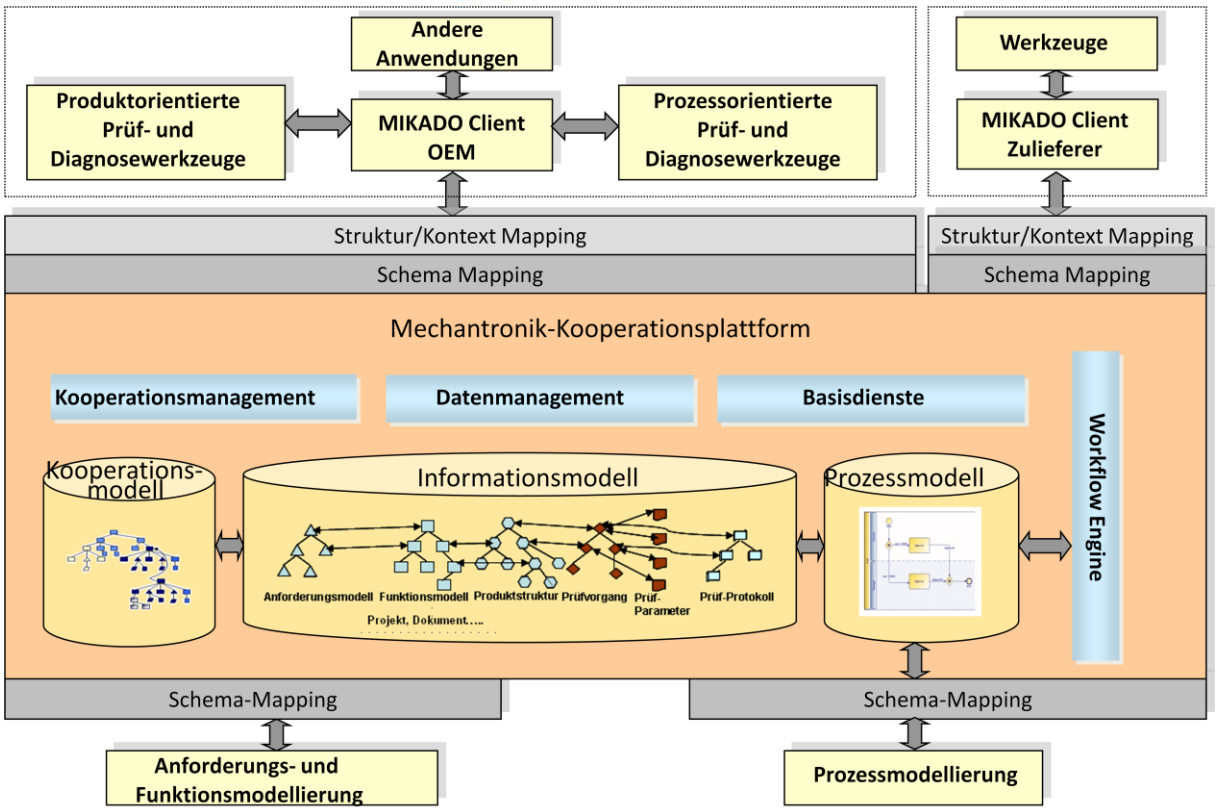


Bild 14: Architektur der Mechatronik-Kooperationsplattform

3.2.3 MIKADO-Datenmodell

Überblick

Das MIKADO-Datenmodell der Kooperationsplattform besteht aus den folgenden Teilmodellen (vgl. Bild 15):

- Informationsmodell,
- Kooperationsmodell und
- Prozessmodell.

Informationsmodell

Das Informationsmodell beinhaltet alle vernetzten Teilmodelle und disziplinspezifischen Sichten. Jeder Benutzer arbeitet an seinen spezifischen Teilmodellen, seine Änderungen werden wieder in das gesamte Informationsmodell übernommen. Die wesentlichen Bestandteile im Informationsmodell sind (vgl. Bild 15):

- die Produktstruktur,
- die Dokumentstruktur,
- die Anforderungsstruktur sowie

- die Funktionsstruktur.

Die *Produktstruktur* beschreibt ein mechatronisches Produkt oder Bauteil als hierarchische Struktur. Die versionierbaren Elemente *Mechanical Item, Electrical Item* und *Software Item* beschreiben jeweils die mechanische, elektrische bzw. Softwarestruktur des mechatronischen Produkts in einer hierarchischen Form. *System* beschreibt ein mechatronisches Bauteil oder eine Baugruppe und ermöglicht die Vernetzung von Teilstrukturen aus verschiedenen Disziplinen. Bei der Änderung einer Komponente (Bauteil oder Baugruppe) in einer Disziplin wird die Auswirkung der Änderung auf Komponenten anderer Disziplinen identifiziert, so dass betroffene Benutzer über die durchgeführten Änderungen gezielt informiert werden können.

Verknüpfungen zwischen Anforderungen, Funktionen und Bauteilen ermöglichen jederzeit die Überprüfung des Entwicklungsstandes von Funktionsträgern gegenüber den Anforderungen; so kann ggf. die Entwicklungsarbeit abgeglichen werden. Die systemspezifische Information für ein Anforderungsmanagementsystem oder FMU-System wird im Native-Format mit systemspezifischem Schema durch die Verlinkung in der Dokumentenstruktur gespeichert. Die Dokumentstruktur stellt die Ergebnisse, die während der Produktentwicklung entstehen, in einer hierarchischen Struktur dar.

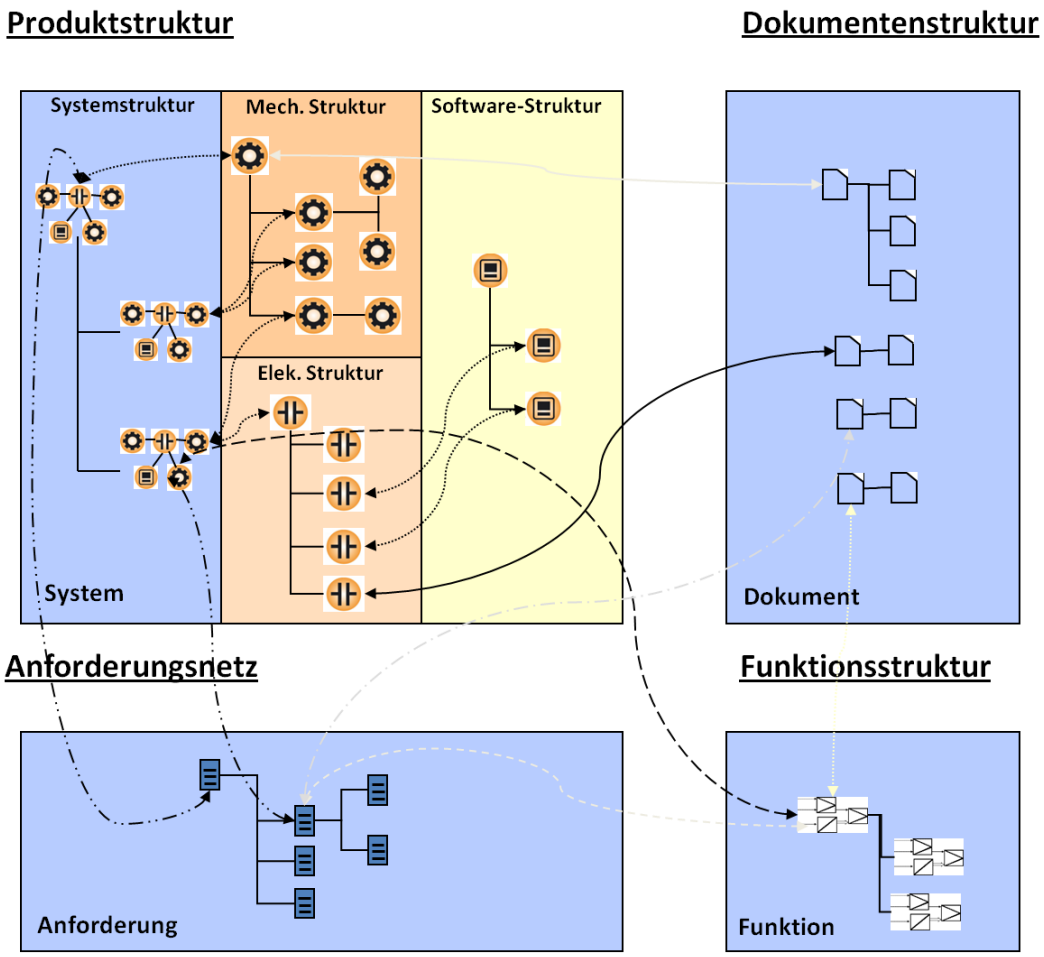


Bild 15: Bestandteile des MIKADO-Informationsmodells

Mit Hilfe des FOD-Modellers, der im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO weiterentwickelt wurde, können Anforderungsnetz, Funktionsstruktur, grobe Produktstruktur, Prüfvorgänge sowie Prüfparameter beschrieben und in der Kooperationsplattform im Informationsmodell abgelegt werden. Das Informationsmodell ist somit ein wesentlicher Bestandteil der Mechatronik-Kooperationsplattform und maßgeblich für die Integration der heterogenen Teilmodelle.

Kooperationsmodell

Das Kooperationsmodell beschreibt die Definition der Benutzer- und Rollenprofile mit dem Ziel, die Teilmodelle eindeutig zuzuordnen. Es stellt weiterhin Informationen über die Anwendungsprofile bereit. Auf diese Weise kann die Zuordnung von Datenschemata sowie Struktur- und Kontextansichten zu verschiedenen Benutzer- und Anwendungsprofilen geschaffen werden. Unterschiedliche Anwender können daher nur Teile des Informationsmodells und eine Anbindung an das Gesamtmodell (je nach Aufgabenbereich und Kontext) nutzen (Bild 16).

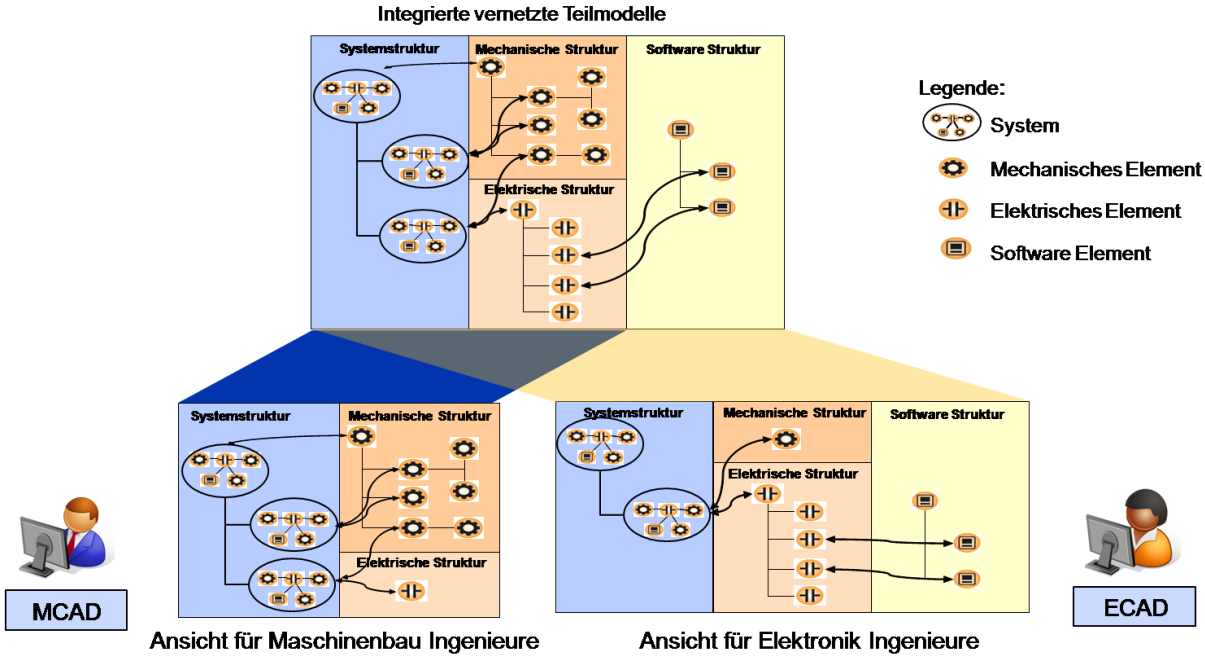


Bild 16: Spezifische Sicht auf das Gesamtmodell

Prozessmodell

Das Prozessmodell beinhaltet die Bausteine, mit denen die Prozesse in der mechatronischen Produktentwicklung beschrieben werden können. Eine konkrete Prozessinstanz bedient sich stets der Ressourcen des Informationsmodells. Die durchgeführten Prozessinstanzen und die zugehörigen Ergebnisse der Prozessinstanz sind ebenfalls Bestandteile des Prozessmodells.

Das Prozessmodell wird durch ein spezifisches Werkzeug (DimSimP) gefüllt. Eine konkrete Prozessinstanz bedient sich stets der Ressourcen des Informationsmodells.

Strukturierung des MIKADO-Datenmodells

Das MIKADO-Datenmodell ist in unterschiedliche Modell-Pakete (sog. *Packages*) strukturiert, die auf Basis der bestehenden ice.NET-Packages definiert wurden. Die Packages repräsentieren domänenspezifische Objekttypen und sind voneinander abhängig (vgl. Bild 17):

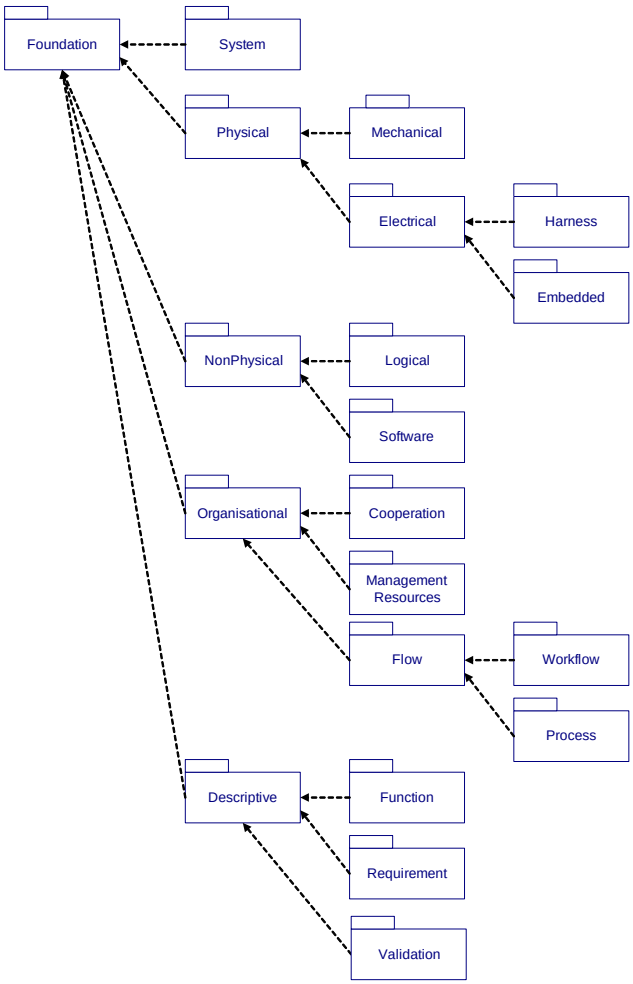


Bild 17: Packages des MIKADO-Informationsmodells

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Packages des MIKADO-Datenmodells:

Package	Beschreibung
Foundation	Repräsentation von Basisklassen zur Abbildung genereller Datenstrukturen und Funktionen

System	Repräsentation von Objekt- und Relationstypen zur Beschreibung von Systemstrukturen (u.a. Elektrik, Mechanik und Software), u.a. Basisklassen zum Aufbau einer Systemstruktur zur Repräsentation einer lösungsunabhängigen Sicht auf das Produkt.
Physical	Übergeordnetes Package zur Repräsentation der physikalischen Bestandteile der Produktstruktur (gegliedert in *Mechanical* und *Electrical*)
Mechanical	Repräsentation von mechanischen Bestandteilen bzw. Komponenten der Produktstruktur
Electrical	Repräsentation von elektronischen Bestandteile bzw. Komponenten der Produktstruktur (gegliedert in *Harness* und *Embedded*)
Harness	Repräsentation von Kabelbäumen
Embedded	Repräsentation von Embedded Komponenten
Non Physical	Übergeordnetes Package zur Repräsentation der nicht-physikalischen Bestandteile der Produktstruktur (gegliedert in *Logical* und *Software*)
Logical	Repräsentation von logischen Komponenten
Software	Repräsentation von Softwarekomponenten
Organizational	Übergeordnetes Package zur Repräsentation von organisatorischen Aspekten (gegliedert in *Cooperation, Management Resources* und *Flow*)
Cooperation	Repräsentation von zusammenarbeitsspezifischen Aspekten
Management Resources	Repräsentation von
Flow	Übergeordnetes Package zur Repräsentation von Prozessschritten und Workflows (gegliedert in *Process* und *Workflow*)
Workflow	Repräsentation von Prozessschritten
Process	Repräsentation von Workflows
Descriptive	Übergeordnetes Package zur Repräsentation von Anforderungs- und Funktionsstrukturen sowie Aspekten der Produktabsicherung (gegliedert in *Function, Requirement* und *Validation*)
Function	Repräsentation der Funktionsstruktur

Requirement	Repräsentation der Anforderungsstruktur
Validation	Repräsentation von Aspekten der Produktabsicherung

Grundlegende Modellierungskonzepte

Dieses Kapitel beschreibt grundlegende bei der Spezifikation des Datenmodells verwendete Modellierungskonzepte.

Versionierbarkeit

Versionierbare Objekte bilden die Basis für alle domänenspezifischen Produktstrukturen und bestehen jeweils aus einem Master- sowie einem Versionsobjekt. Das Master-Objekt (*ObjectMaster*) hält sämtliche nicht änderbaren Attribute des Objektes, während am Versions-Objekt (*ObjectVersion*) Attribute geführt werden, welche für eine spezifische Version gelten.

Versionierbare Objekte (d.h. Master- UND Versionsobjekt) werden von einer Objektinstanz (*ObjectInstance)* referenziert, welche eine „Verwendung“ eines best. Objektes innerhalb eines Assembly-Objektes beschreibt.

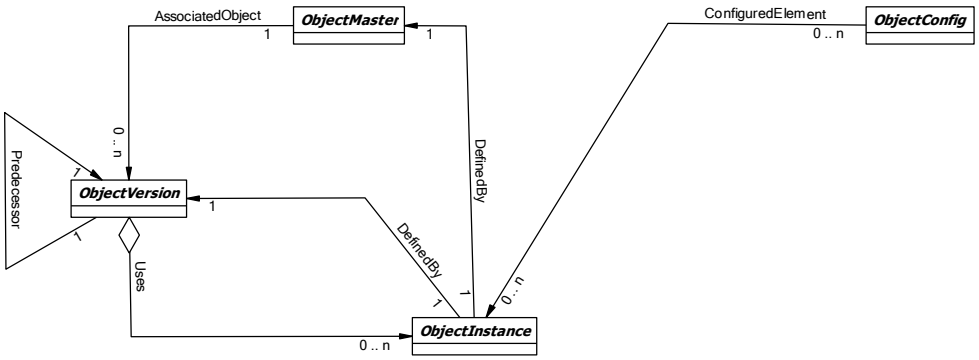


Bild 18: Konzept Versionierung

Um eine konfigurierbare Produktstruktur zu modellieren, kann eine *ObjectInstance* durch Objekte vom Typ *ObjectConfig* bzw. deren Untertypen konfiguriert werden (vgl. Bild 18).

Basis-Element “Item”

Ein *Item* stellt das Basis-Element aller produktdefinierenden Elemente (insbesondere der zusammenarbeitsspezifischen Anteile) dar. Dieser Ansatz wird nicht durch einen eigenen Objekttyp unterstützt, sondern durch die einzelnen Elemente der Produktdefinition (bzw. der für die Zusammenarbeit relevanten Anteile) repräsentiert.

Der beschriebene Ansatz folgt der im Rahmen der ProSTEP-iViP-Arbeitsgruppe *E-CAD-M-CAD-Collaboration* erarbeiteten Definition.

Objekt-Bezeichner (Designator)

Dieses Konzept erlaubt die Definition mehrerer Bezeichner für ein Objekt, welches in verschiedenen Zusammenhängen (*Context*) gültig ist.

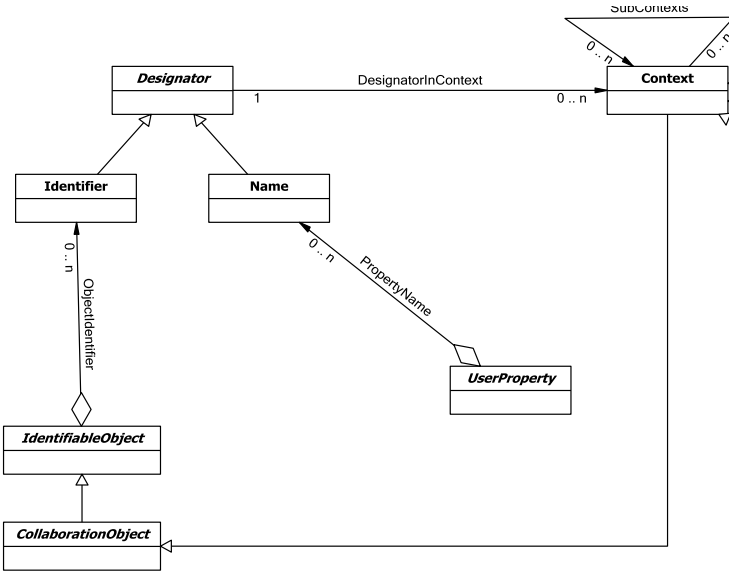


Bild 19: Konzept Bezeichner

Bild 19 zeigt exemplarisch Objekttypen, die dieses Konzept implementieren. Der Identifikator (*Identifier)* muss im Gesamtkontext einheitlich (unique) sein. Der Name (*Name)* muss im Kontext einer Liste von Objekten einheitlich (unique) sein.

Repräsentation von Dokumenten

Als Subtyp von *VersionableObject* kann ein Dokument versioniert werden und aus mehreren (Einzel-) Dokumenten zusammengesetzt sein. Der Inhalt ist als *DigitalFile* definiert; dies kann entweder

- eine Referenz auf ein in einem externen System abgelegtes Dokument sein (*ExternalDigitalFile*) oder
- ein internes Dokument sein, welches in der Kooperationsplattform abgelegt ist.

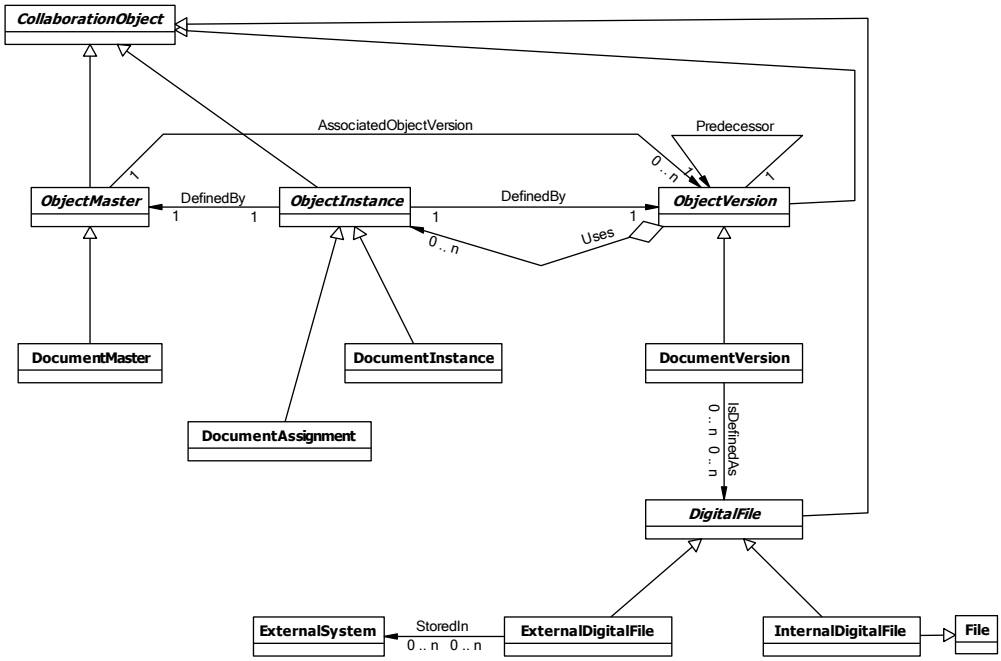


Bild 20: Konzept zur Beschreibung von Dokumenten

Das Konzept ist in Bild 20 dargestellt.

Benutzerdefinierte Properties

Um eine flexible Nutzung von Objekten zu ermöglichen, wurden benutzerdefinierte Properties modelliert, die einem spezifische Objekt zugeordnet werden können.

3.2.4 Komponenten der Kooperationsplattform

In Bild 14 wurden schematisch die Architektur der Mechatronik-Kooperationsplattform sowie die anzubindenden Systeme und Werkzeuge dargestellt. Auf Basis des Kooperations-, Informations- und Prozessmodells (vgl. Kapitel 3.2.3) sind folgende Komponenten definiert:

- Basisdienst-Komponente,
- Datenmanagement-Komponente,
- Kooperationsmanagement-Komponente,
- Workflow-Engine,
- MIKADO Client sowie
- Schnittstellen zu anderen Systemen.

Die einzelnen Komponenten sollen im Folgenden kurz beschrieben werden.

Basisdienst-Komponente

Zu den *Basisdiensten* gehören unter anderem die Sitzungsdatenverwaltung, das User-Management, die Datenpersistenz, und die Objektverwaltung.

Datenmanagement-Komponente

Das Management der multidisziplinären Produktdaten wird durch die *Datenmanagement-Komponente* realisiert. Sie verwaltet und ermöglicht die effiziente Nutzung aller relevanten Daten aus den vernetzten Teilmodellen der unterschiedlichen Fachdisziplinen. Zu diesem Zweck stellt die Komponente grundlegende Funktionen wie Suchen, Navigieren, Versionsverwaltung, Verlinkung von Teilmodellen, Erstellen von Sichten und Konfigurationen sowie Datenaustausch bereit.

Kooperationsmanagement-Komponente

Die *Kooperationsmanagement-Komponente* übernimmt die Gestaltung des Zusammenspiels zwischen den zuständigen Rollen und ihren Rechten innerhalb eines Projekts sowie die Zuordnung von Datenschemata, Struktur- und Kontextansichten zu verschiedenen Benutzer- und Anwendungsprofilen. Auf diese Weise wird eine personalisierte und anwendungsbezogene Sicht des Informationsmodells und seiner Anbindung an das Gesamtmodell je nach Aufgabenbereich und Kontext möglich. Die Kooperationsplattform adaptiert die Datenschemata für verschiedene Werkzeuge, wie z.B. für M-CAD und E-CAD.

Die Kooperationsmanagement-Komponente sorgt zudem dafür, dass bearbeitete Teilmodelle anhand ihrer Verbindungsinformationen in das Gesamtmodell integriert werden können.

Workflow-Engine

Die *Workflow-Engine* instanziiert die im Prozessmodell gespeicherten Referenzvorgehensbausteine (RVB), die individuell modelliert und an die Prozesse angepasst wurden, weist den Prozessen die Ressourcen aus dem Informationsmodell zu und steuert die Entwicklungsprozesse. Nach dem Prozessablauf werden die zugehörigen Ergebnisse im Prozessmodell gespeichert. Diese bilden eine Ausgangsbasis für die Prozessoptimierungswerkzeuge.

MIKADO Client

Der *MIKADO Client* ermöglicht dem Anwender, durch die spezifischen, strukturierten Ansichten des Informationsmodells zu navigieren sowie Informationen an externe Anwendungen weiterzuleiten.

Schnittstellen zu anderen Systemen

Die Kooperationsplattform stellt WebService-Schnittstellen bereit, über welche die Ansichten des Informationsmodells zur Verfügung gestellt werden. Dadurch ist eine Anbindung verschiedenster CAx-Lösungen möglich. Ebenso können auf diese Weise die unterschiedlichen produkt- und prozessorientierten Prüf- und Diagnose- sowie Zuliefererwerkzeuge an die Kooperationsplattform angebunden werden.

3.2.5 Nutzung der Kooperationsplattform

Allgemeines

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Kooperationsplattform im Rahmen der mechatronischen Produktentwicklung genutzt werden kann. Bild 21 zeigt exemplarisch den grundsätzlichen Ablauf eines typischen Anwendungsfalles.

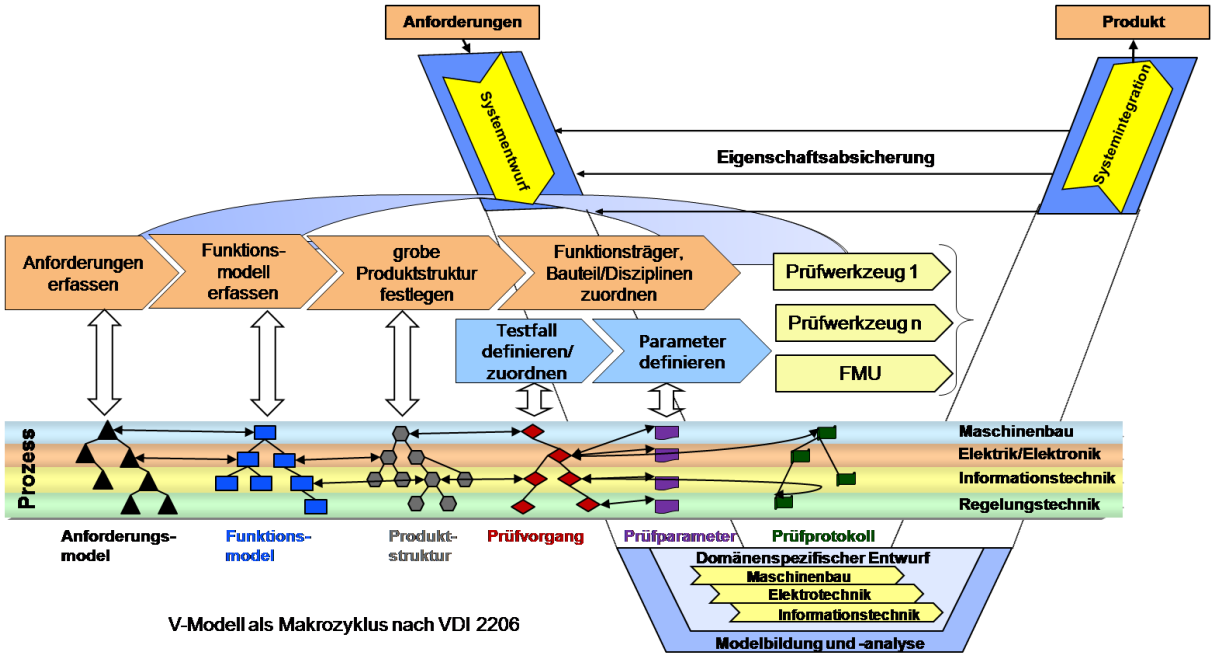


Bild 21: Nutzung der Kooperationsplattform

Die Darstellung basiert auf dem durch die VDI-Richtlinie 2206 „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“ [7] vorgegebenen Vorgehensmodell. Das Vorgehensmodell ist geprägt durch eine iterative Vorgehensweise und gliedert sich in die folgenden Phasen:

- *Systementwurf* auf Basis der festgelegten bzw. abgeleiteten Anforderungen (domänenübergreifende Prinziplösung). Hierzu zählt u.a. die Zerlegung der Gesamtfunktionen in Teilfunktionen, die Zuordnung von Wirkprinzipien zu Lösungselementen sowie die Prüfung der Funktionserfüllung im Systemzusammenhang.

- *Domänenspezifischer Entwurf* (Konkretisierung des Lösungskonzepts getrennt in den beteiligten Domänen). Hierzu werden ggf. detailliertere Auslegungen und Berechnungen durchgeführt, um die Funktionserfüllung kritischer Funktionen sicherzustellen.
- *Systemintegration* (Ergebnisse aus den einzelnen Domänen werden zu einem Gesamtsystem integriert, um das Zusammenwirken untersuchen zu können). Hierzu wird eine Eigenschaftsabsicherung durchgeführt, d. h., es wird überprüft, ob die tatsächlichen mit den gewünschten Systemeigenschaften übereinstimmen.

Die beschriebenen Hauptphasen werden flankiert durch die Modellbildung und -analyse, d. h. die Abbildung und Untersuchung der Systemeigenschaften

Beispielszenario

Auf Basis des in Kapitel 3.2.5 beschriebenen Vorgehensmodells wird ein typischer Ablauf eines mechatronischen Entwicklungsprojektes beschrieben.

Zunächst werden *Anforderungen* für das zu entwickelnde mechatronische Produkt erfasst und (z.B. mit Hilfe des im Rahmen des MIKADO-Projektes weiterentwickelten FOD-Werkzeugs) im Anforderungsnetz abgebildet. Das Netz wird als Anforderungsmodell in der Kooperationsplattform abgelegt.

Anschließend werden die Anforderungen verfeinert und konkretisiert sowie eine dem Anforderungsmodell zugeordnete *Funktionsstruktur* festgelegt. Das Funktionsmodell repräsentiert die *Funktionsstruktur* des mechatronischen Produktes. Zwischen den Elementen des Funktions- und des Anforderungsmodells werden zu diesem Zweck innerhalb der Kooperationsplattform spezifische Verknüpfungen definiert.

Im nächsten Schritt wird eine *Produktstruktur* erstellt, schrittweise in die Kooperationsplattform eingefügt und mit den einzelnen Elementen der Funktionsstruktur verknüpft.

In der Kooperationsplattform wird im Anschluss die Zuordnung zwischen Funktionsträgern, Funktionen und Disziplinen vorgenommen. Es folgt die Definition von Testfällen und Prüfparametern sowie deren Zuordnung zu entsprechenden Bauteilen. Dem schließt sich die Planung der Prüfung inklusive der Auswahl von Prüfwerkzeugen an. Die disziplinspezifisch entworfenen Teillösungen werden zu einer Gesamtlösung integriert.

Die Durchführung und Protokollierung der Testfälle mit Hilfe der im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO entwickelten Prüfwerkzeuge wie z.B. FMU bilden den Abschluss dieses Anwendungsszenarios.

Die Kooperationsplattform dient als integrierte Informationsbasis und ermöglicht die Verknüpfung der einzelnen Disziplinen bzw. Anwendungen. So wird eine wesentliche

Grundlage für die Kommunikation und Kooperation von Fachleuten aus den beteiligten Disziplinen geschaffen (vgl. VDI-Richtlinie 2206) [7]. Insbesondere beim parallelen disziplinenspezifischen Entwurf und der Absicherung sowie der (Teil-) Systemintegration ist eine konsistente Basis für die Abstimmung und Synchronisation von hoher Bedeutung.

3.3 Anforderungsgesteuerte Prüfung und Diagnose

3.3.1 Motivation und Ausgangssituation

Bei Neuentwicklungen im Maschinenbau handelt es sich heute überwiegend um mechatronische Produkte, die eine starke Vernetzung der heterogenen Subsysteme und damit eine hohe Komplexität aufweisen [6, 8]. Schon bei der Definition der Anforderungen muss die Komplexität mit allen Abhängigkeiten betrachtet werden, da eine Nichtberücksichtigung möglicherweise mit erheblichen Mehrkosten und dem Verlust an Wettbewerbsfähigkeit einhergeht [9]. Bisherige Ansätze die eine softwaretechnische Unterstützung für die Erfassung und Verwaltung der Anforderungen bieten, beziehen sich meist auf die einzelnen Disziplinen, so dass ein fortlaufender und effizienter Informationsfluss nicht zu realisieren ist [9]. Folglich besteht die Herausforderung darin, Verknüpfungen innerhalb und über die Domänengrenzen hinweg darzustellen und die teilweise divergierenden Optimierungsgrößen zu koordinieren [6, 9].

Neben der Verwaltung besteht die wichtigste Aufgabe des Anforderungsmanagements darin, entwicklungsbegleitend die zu Beginn oder während des Projektes definierten Anforderungen mit den technischen Lösungen im Projekt zu vergleichen. Dieser Prozess weist heute meist einen sehr geringen Grad der Automatisierung auf, was zeitaufwändige manuelle Iterationen bei der Überprüfung zur Folge hat. Der Bedarf an einer Lösung zur Verwaltung und Verifikation der Anforderungen mit Hilfe von integrierten und funktionalen DMUs ist somit groß und eine Umsetzung würde eine hilfreiche Unterstützung der Entwicklung mechatronischer Produkte darstellen [9].

3.3.2 Anforderungen und deren Verifikation

Bereits die Phase der Anforderungsdefinition ist maßgeblich entscheidend für den Projekterfolg, da in diesem Stadium eine große Anzahl von Freiheitsgraden existiert und somit ein großer Einfluss auf den späteren Entwicklungsprozess und das Ergebnis besteht [10]. Durch die sorgfältige Bearbeitung dieser frühen Arbeitsschritte und die Aufnahme realistischer Anforderungen besteht die Möglichkeit die Gesamtentwicklungszeit zu verringern [6].

Die im Maschinenbau klassischerweise angewandte Erfassung von Anforderungen in Lasten- und Pflichtenheften in Form von Textdokumenten erweist sich bei mechatronischen Produkten als limitierend. Durch das Vorhandensein von unterschiedlichen Domänen nimmt die Komplexität bereits bei der Anforderungserfassung stark zu [9].

Zusätzlich sind die Anforderungen über Beziehungen miteinander verknüpft, was die Übersichtlichkeit weiter mindert.

Aus dieser Notwendigkeit heraus, wurde das Anforderungsmanagement, welches zunächst Anwendung in der Softwareentwicklung gefunden hat, an die Bedürfnisse in der mechatronischen Produktentwicklung angepasst. In der Literatur gibt es zahlreiche Definitionen und Umsetzungen, die sich jedoch teilweise stark unterscheiden und sogar widersprüchlich sind [10]. Prinzipiell stellt das Anforderungsmanagement jedoch das Bindeglied zwischen der Definition der Anforderungen und den einzelnen Disziplinen dar und liefert die für den Entwicklungsprozess benötigten Informationen. Durch die Darstellung der Beziehungen der Anforderungen untereinander wird die Verfolgbarkeit sichergestellt, was bei der Weiterentwicklung, Pflege oder Wiederverwendung unabdingbar ist [11].

Zum Stand der Technik bei der Kontrolle der Anforderungserfüllung gehört heute neben realen Prototypen und manuellen Freigaben die Anwendung von Digital Mock-Ups (DMUs). Sie stellen eine virtuelle Attrappe dar und repräsentieren die Struktur bzw. die Geometrie eines Produktes mit dem Ziel, Iterations- und Änderungsschleifen bei der Konstruktion zu vermeiden sowie zeit- und kostenintensive Versuche mit realen Modellen zu ersetzen. Ihr Anwendungsbereich sind vor Allem Bauraum- und kinematische Untersuchungen sowie die Überprüfung auf Montierbarkeit [12].

Eine Weiterentwicklung des DMU stellt der Functional Mock-Up (FMU) dar. In Ergänzung zum DMU werden beim FMU zusätzlich die Funktionen des Produktes repräsentiert. Durch die Integration von Simulationsmodellen und entsprechenden Werkzeugen ist es möglich, das Verhalten und die Gebrauchseigenschaften eines Produktes realitätsnah zu simulieren und damit einen Abgleich zwischen Kundenwunsch und Entwicklungsstand durchzuführen [6]. Durch diesen bereits in frühen Entwicklungsphasen vorhandenen nahezu vollständig funktionalen Prototyp sind die Auswirkungen von Entwicklungsentscheidungen deutlich genauer zu untersuchen und die Vorhersagbarkeit des Gesamtsystemverhaltens zu verbessern [12].

Der FMU befindet sich in der heutigen Anwendung jedoch im Anfangsstadium, und es werden nur Teilaspekte der Validierung abgedeckt. Diese sind außerdem nur lose in den Produktentwicklungsprozess eingebunden und nicht, wie für die optimale Erstellung der benötigten Simulationsmodelle notwendig, nahtlos integriert. Folglich ist weder der Zugriff auf die Produktdaten aller Domänen noch eine automatisierte Interpretation der Simulationsergebnisse hinsichtlich funktionaler Anforderungserfüllung möglich [12].

3.3.3 Anforderungsmanagement und Validierung mechatronischer Produkte im Rahmen von MIKADO

Bei der Validierung mechatronischer Produkte ist es zunächst notwendig, die Informationsinhalte der unterschiedlichen Domänen zu erfassen und zu synchronisieren. Dazu wird im Rahmen des Verbundprojektes MIKADO die FOD-Applikation von CADsys [13] erweitert und, im Gegensatz zum heute meist üblichen dokumentenzentrierten Ansatz, ein modellbasierter verfolgt. Anforderungen können erfasst, den jeweiligen Domänen zugeordnet und miteinander verknüpft werden. Durch diese Vorgehensweise entsteht sukzessiv ein Anforderungsnetz, welches die Grundlage für die Abstimmung zwischen den Disziplinen darstellt und dessen Zusammenhänge informationstechnisch auswertbar sind.

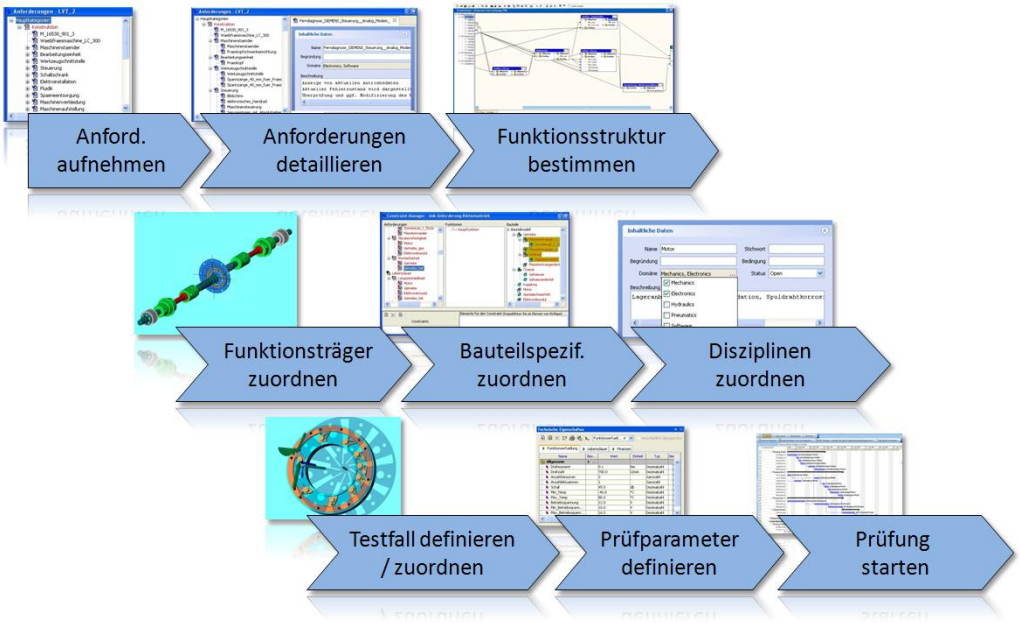


Bild 22: Ablauf der Produktentwicklung von Anforderungserfassung bis Prüfung

In den folgenden Bearbeitungsstadien des Entwurfes wird auf dieser Basis ein parametrisches Funktionsmodell aufgebaut, detailliert und mit Lösungskonzepten bzw. CAD-Modellen der Produktkomponenten hinterlegt. Im weiteren Verlauf des Prozesses der synchronen Weiterentwicklung von Anforderungsnetz, Funktions- und Komponentenstruktur kommen zunehmend domänenspezifische Entwurfsmethoden, Werkzeuge und Modelle zum Einsatz. Die Relationen innerhalb und zwischen den unterschiedlichen Modellen können bis auf Parameterebene abgebildet werden. Dadurch gelingt es, einen domänenübergreifenden und auswertbaren Zusammenhang zwischen den bisher unterschiedlichen und unabhängigen Sichtweisen der Entwurfsdisziplinen herzustellen und die Erfüllung einer Anforderung zu garantieren bzw. kontinuierlich den Produktreifegrad zu überprüfen (Bild 22).

Diese Kontrolle wird durch die Bildung eines digitalen Functional Mock-Ups (FMU) unterstützt bzw. ausgeführt. Der FMU ist dabei als abgestimmter Umfang von Maßnahmen zur virtuellen Absicherung der gewünschten Produktfunktionen und der Bereitstellung der dafür benötigten Informationen zu verstehen. In Abhängigkeit der Funktionalität ist also zu entscheiden, welche Softwaresysteme für eine Verifikation geeignet sind. Dies können beispielsweise DMU-Viewer für statische Analysen oder Berechnungsprogramme für Bewegungs- und Verformungs-Simulationen sein. Die im jeweiligen System prüfbaren Anforderungen werden mit den Produktdaten importiert und dem Anwender dargestellt. So wird eine Abarbeitung aller Aufgabenstellungen garantiert. Im Anschluss an die FMU-Sitzung sendet das Diagnosesystem den Status jeder Anforderung und Funktion an die Kooperationsplattform. Diese unterstützt den Gesamtprozess durch Anlegen und Verwalten von FMU-Paketen und stellt die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch Verwendung von Baselines und eine integrierte Verwaltung der Ergebnisdokumentation sicher.

3.3.4 Function Oriented Design (FOD)

Die Softwareentwicklung baut auf dem FOD-Modeller der Firma CADsys auf, der eine Unterstützung der einzelnen Konstruktionsphasen nach VDI 2222 [14] bietet. Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung in MIKADO ist dessen Funktionalität zur Verknüpfung von Anforderungsparametern, Funktionsflüssen und CAD-Parametrik durch ein mathematisches Constraint-Management.

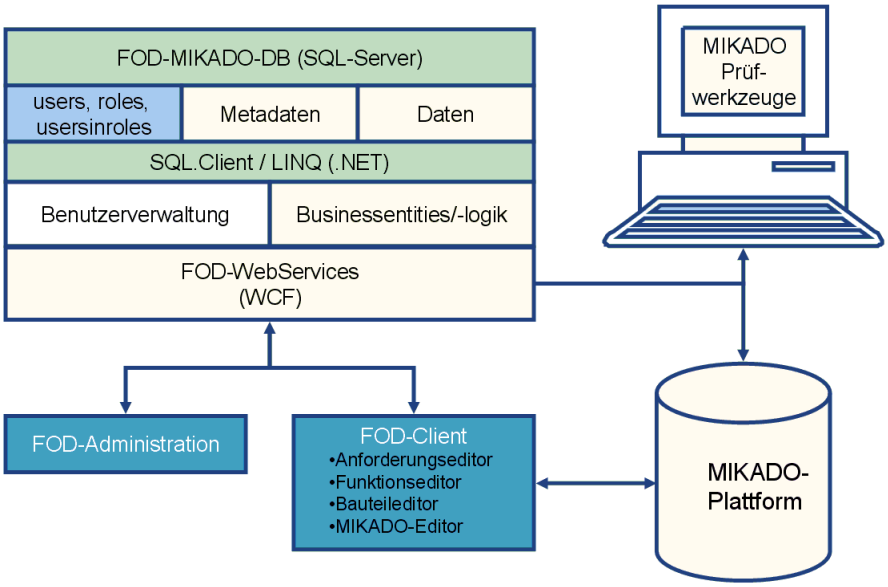


Bild 23: Function Oriented Design im Rahmen von MIKADO

Während diese grundlegenden Funktionalitäten erhalten bleiben, wurde die Datenverwaltung neu implementiert und von einer Dateisystembasierten auf eine Datenbanklösung umgestellt, um die nahtlose Integration in die MIKADO-

Kooperationsplattform zu realisieren. Die Kommunikation erfolgt über ein Web-Service-Interface über das auch beliebige andere externe Applikationen integriert werden können und über das z.B. der FMU angesteuert wird (Bild 23).

Diese Architektur bietet den Vorteil, dass Datensicherungsmechanismen sowie Sicherheitsmechanismen der Datenbank genutzt werden können und die zeitliche kooperative Zusammenarbeit mehrerer Nutzer an einem Projekt ermöglicht wird. Aufgrund der Möglichkeiten (z.B. Clustering, Backup) moderner Datenbanksysteme wird eine hohe Ausfallsicherheit garantiert. Die Nutzung von in der Datenbank integrierten Reportmodulen sowie die Protokollierung der Benutzeraktivitäten ermöglichen eine optimale Nachvollziehbarkeit und Auswertung der Daten.

Der während der Projektlaufzeit von MIKADO entwickelte FOD Client greift über Web-Services auf die zentral verwalteten Daten zu und ermöglicht somit das ortsungebundene kooperative Arbeiten ohne notwendige Installationen. Das umfassende Rechtemanagement, mit dem Rechte auf einzelne Entity-Gruppen, wie beispielsweise Bauteile, Anforderungen, Funktionen oder Domänen angewendet werden können, ermöglicht eine effektive Nutzungskontrolle und zugleich die personengebundene Filterung der Informationen zur Steigerung der Übersichtlichkeit.

Zur Erstellung und Interaktion mit den Anforderungs-, Funktions- und Strukturmodellen (Bild 24) werden unterschiedliche Editoren bereitgestellt.

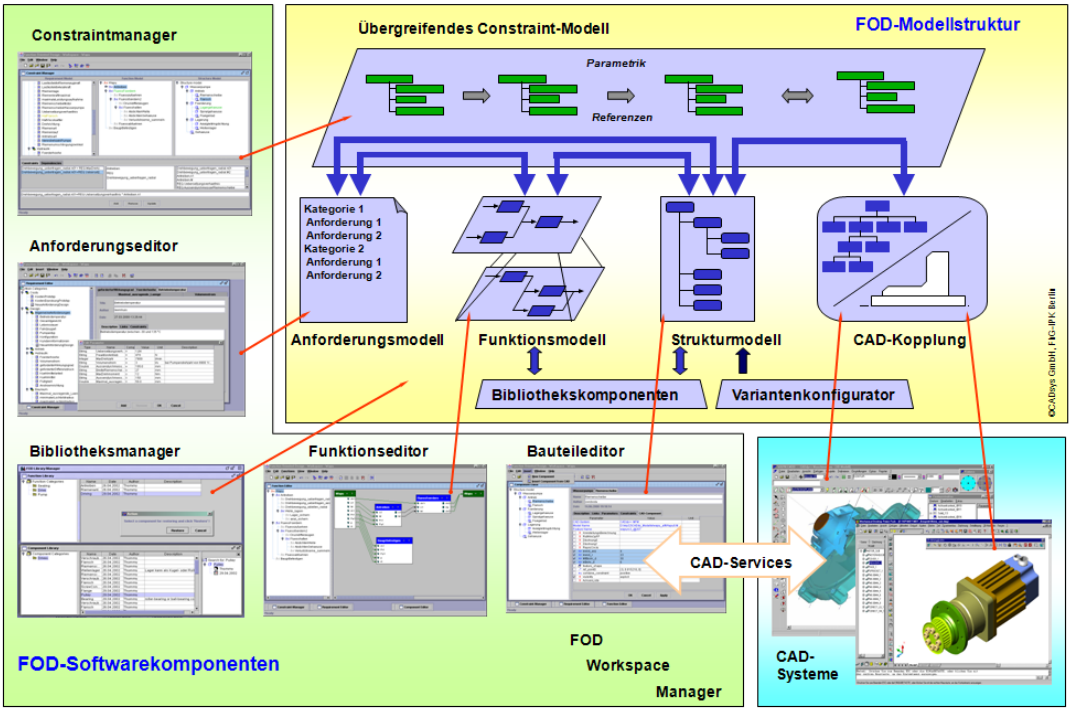


Bild 24: Konzeptionelle Architektur des FOD-Modellers

Der *Anforderungseditor* stellt dabei die Nutzerschnittstelle zur Erfassung von Produktanforderungen dar. Anforderungen werden in Form von Objekten in nutzer- oder

produktspezifischen Anforderungskategorien hierarchisch in einer Baumstruktur abgelegt. Die nähere Detaillierung erfolgt textuell in Eingabefenstern, die zur Steigerung der Übersichtlichkeit getrennt in Bereichen für inhaltliche und verwaltungsbezogene Daten angeordnet sind. Zusätzlich können mit Hilfe des FOD-Administrationswerkzeuges weitere firmenspezifische Bereiche und darin enthaltene Felder definiert werden. Dadurch ist es möglich, FOD optimal an die Bedürfnisse eines Unternehmens anzupassen (Customizing). Ergänzend können für die Beschreibung der Anforderungen relevante Dokumente direkt verknüpft werden. Konkrete Kriterien (z.B. Abmessungen, Drehzahlen) werden im Anforderungsmodell als Parameter definiert und die Einhaltung von in den Anforderungen festgelegten Grenzwerten durch die Erstellung von Constraints überwacht.

Um ein interdisziplinäres Anforderungsmanagement bieten zu können, werden die Anforderungen über ein Auswahlmenü einer oder mehreren Domänen zugeordnet, somit deren eindeutige Identifikation für die unterschiedlichen Entwicklungsabteilungen ermöglicht und die Grundlage für eine integrierte und effiziente Entwicklung mechatronischer Produkte gelegt. Erweitert wird diese Funktionalität durch die Möglichkeit Filter zu definieren, die neben der Domänenzuordnung beliebige weitere Metadaten analysieren und nur die jeweils relevanten Anforderungen darstellen. Dadurch kann speziell bei der Entwicklung komplexer mechatronischer Produkte mit einer großen Anzahl von Anforderungen die Übersichtlichkeit signifikant gesteigert werden. Darüber hinaus ist es beispielsweise möglich, aus der Sicht des Managements die Anforderungen nach Solltermin oder Erfüllungsgrad zu sortieren und somit eine unmittelbare und domänenunabhängige Einschätzung des Projektfortschritts zu erlangen (Bild 25).

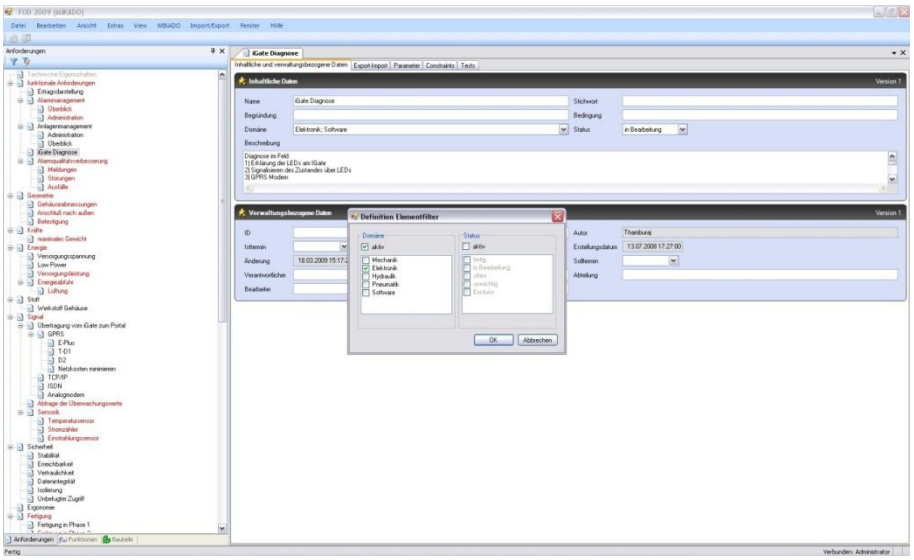


Bild 25: Definition von Filtern in FOD

Um den Verlauf des Entwicklungsprozesses nachvollziehen und mit Iterationen verbundene Rückschritte ermöglichen zu können sind alle Objekte in der Software „Function Oriented Design“ versionierbar. Jede Version erhält eine eindeutige Bezeichnung, wird mit Informationen des Nutzers, des Änderungsdatums sowie einem Kommentar ergänzt und kann jederzeit über die Historie wieder aufgerufen werden (Bild 26).

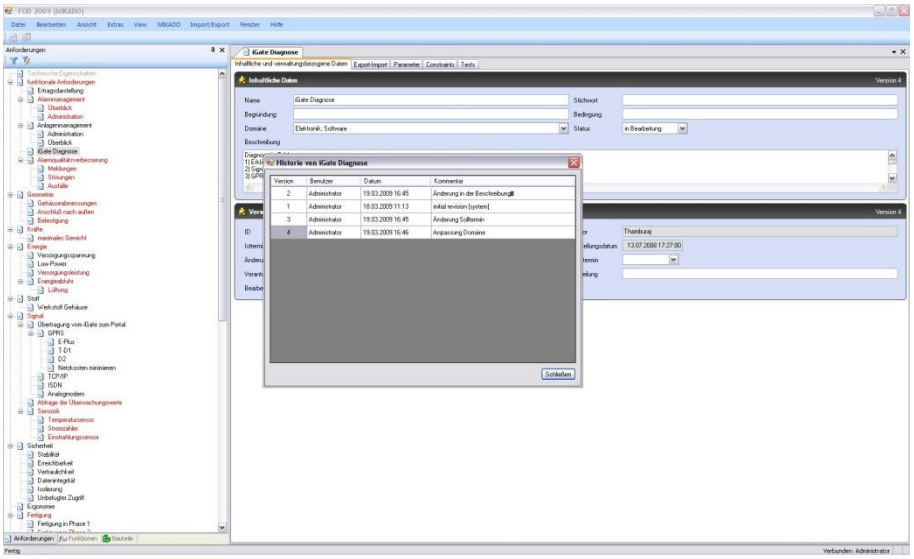


Bild 26: Versionierung von Anforderungen in FOD

Die in der Konzeptionsphase zu entwickelnden Funktionszusammenhänge werden in dem *Funktionseditor* modelliert. Die Haupt- und Unterfunktionen werden hierarchisch in einer Baumstruktur und zusätzlich zur Visualisierung des Funktionsflusses graphisch dargestellt. Dabei werden Produktfunktionen über den Zusammenhang ihrer parametrischen Ein- und Ausgangsgrößen definiert und mit Hilfe mathematischer Zusammenhänge und logischer Operationen in den Eingabefenstern der jeweiligen Funktionen beschrieben.

Wie im Anforderungseditor stehen darüber hinaus Möglichkeiten zur Versionierung der Funktionen, zur erweiterten Beschreibung der Funktionen durch verwaltungsbezogene Daten sowie der Zuweisung von Tests zur Verfügung.

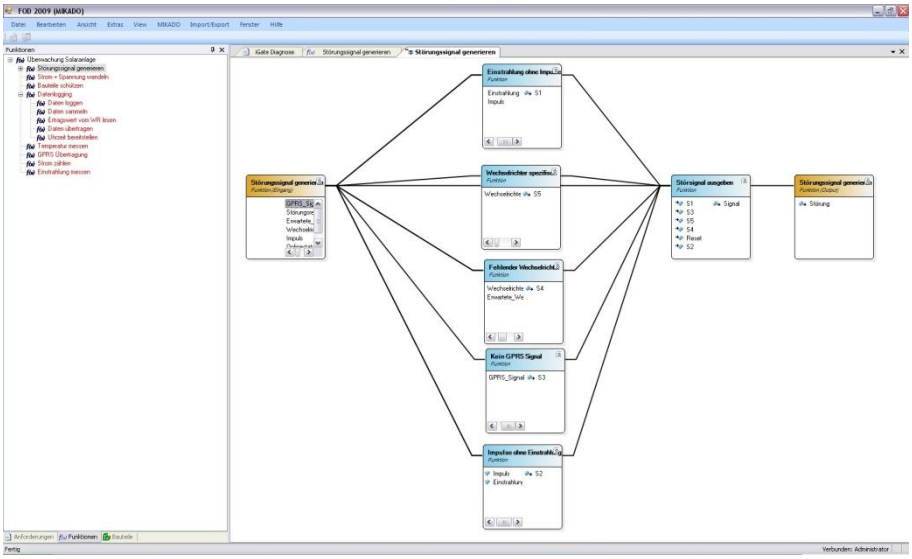


Bild 27: Darstellung des Funktionsflusses in FOD

Mit Hilfe des Bauteileditors lassen sich Baugruppen, Bauteile und Bauteilparameter gestalten. Die so definierte Baustruktur dient als Schnittstelle zwischen dem Anforderungs- und Funktionsmodell und dem CAD-Modell (Bild 28).

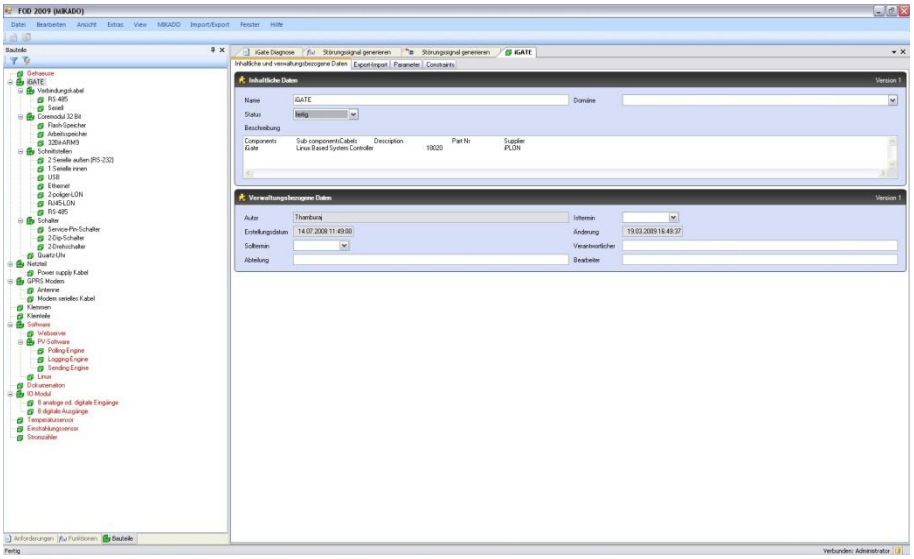


Bild 28: Darstellung des Bauteileditors in FOD

Jedes der zuvor beschriebenen Partialmodelle stellt für sich einen abgeschlossenen Teil der Produktbeschreibung dar. Anforderungen, Funktionen und Baustruktur eines Produktes können somit unabhängig voneinander modelliert und bearbeitet werden. Logische oder wertmäßige Beziehungen zwischen den einzelnen Modellen werden im übergreifenden Constraint-Modell definiert und im Relations-Manager bearbeitet (Bild 29).

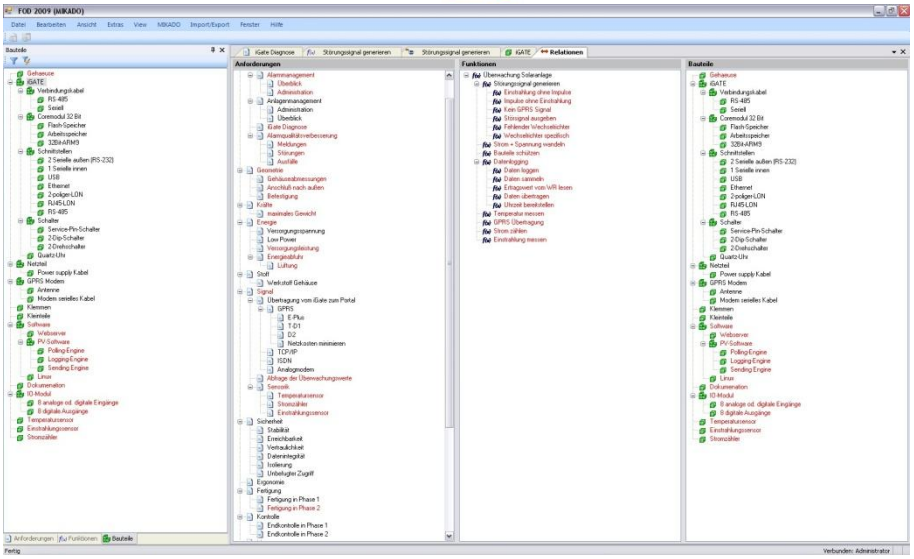


Bild 29: Darstellung des Relations-Managers in FOD

Diese auswertbaren Verbindungen zwischen Produktanforderungen, Produktfunktionen und Bauteilstruktur stellen in der Praxis einen großen Mehrwert dar, da sie einen indirekten Zusammenhang zwischen den Kundenwünschen und dem späteren Bauteil realisieren. Dabei wird zwischen drei unterschiedlichen Arten der Constraint-Modellierung unterschieden:

- Modellierung von Berechnungsconstraints auf Parameterebene
- Modellierung von Checkconstraints auf Parameterebene
- Modellierung von qualitativen Constraints, d.h. Relationen zwischen Anforderungen, Funktionen und Bauteilen

Bei Modellierung der Constraints auf Parameterebene können Änderungen der Anforderungen bei durchgängiger Modellierung direkte Anpassungen am CAD-Modell zur Folge haben und somit die Erfüllung der Anforderung garantiert werden. Werden die Verknüpfungen zwischen den unterschiedlichen Modellen hingegen qualitativ ausgeführt sind bei Änderungen der Anforderungen die Auswirkungen auf die Funktions- und Baustruktur durch Auswertung des Constraint-Netzes übersichtlich nachvollziehbar. Darüber hinaus werden die Beziehungen der Anforderungen über die Domänengrenzen hinweg definiert, was eine sofortige Visualisierung von Eingriffen in Aufgabenbereiche anderer Disziplinen ermöglicht.

Wenn für die Verifikation der Anforderungen komplexere Überprüfungen benötigt werden als manuelle Analysen oder die Abbildung der Funktionszusammenhänge auf Parameterebene, können diese direkt im FOD-Client den betroffenen Anforderungen zugewiesen. Dazu werden auf der MIKADO-Kooperationsplattform angebotene FMU-Tests ausgewählt (siehe 3.3.5 Functional Mock-Up (FMU)) und die für die Durchführung erforderlichen Parameter an den FMU übergeben (Bild 32). Die Tests

werden automatisch über die Kooperationsplattform gestartet, durchgeführt und die Ergebnisse an den FOD-Client zurückgegeben.

3.3.5 Functional Mock-Up (FMU)

Die Erfüllung von Anforderungen muss im Rahmen von MIKADO digital verifiziert werden. Diese Absicherung verfügt über mehrere Dimensionen, die sich sowohl in ihrer Komplexität als auch in dem Grad ihrer Automatisierbarkeit stark unterscheiden (Bild 30). Ihnen gemeinsam ist, dass sie aus dem FOD-Modeller gestartet und verwaltet werden (3.3.4 Function Oriented Design (FOD)). Dazu werden die Ergebnisse nach Abschluss der Überprüfungen aus der Kooperationsplattform geladen und zusammen mit den zu erfüllenden Anforderungen gespeichert. Eine integrierte Dokumentation des Entwicklungsprozesses ist somit sicher gestellt.

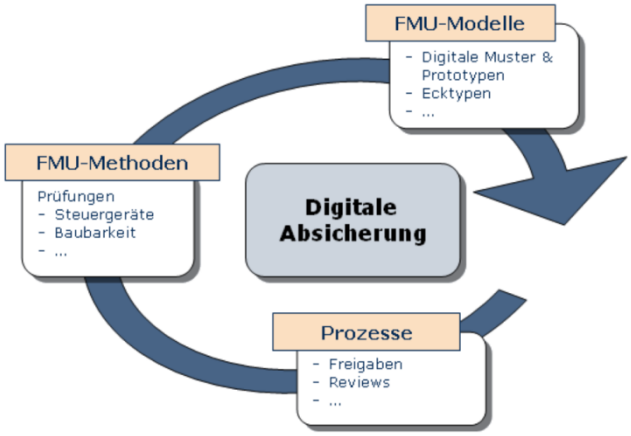


Bild 30: Dimensionen des Functional Mock-Up

Um einen hohen Qualitätsstandard der Produkte gewährleisten zu können, ist vermehrt der Einsatz von Methoden des FMU erforderlich. Die Umsetzung erfolgt im Verbundprojekt mit Hilfe von Regressionstests, die sich speziell bei häufigen Änderungen des Entwicklungsobjektes sehr gut eignen.

Zur erfolgreichen Anwendung und Dokumentation ist es notwendig, einen wiederhol- und nachvollziehbaren Ablauf der Prüfungen zu realisieren. Um dies zu erreichen gliedern sich die Prüfungen in drei Teile (Bild 31):

- Prüftemplates
- Prüfobjekte
- Prüfvorgänge

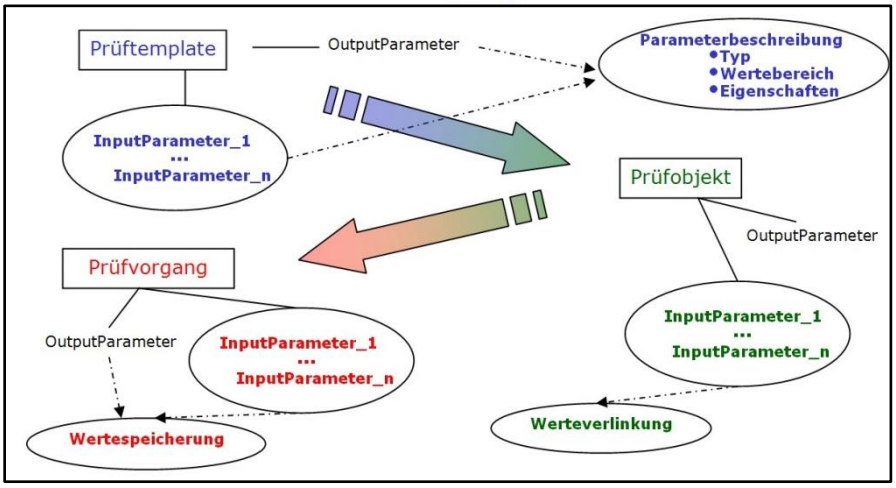


Bild 31: Zusammenspiel der Prüftemplates, -objekte und -vorgänge

Die FMU-Prüfsoftware stellt für jeden bereitgestellten Prüfungstyp entsprechende Prüftemplates innerhalb der Kooperationsplattform zur Verfügung. Diese werden vom Anforderungsmanagement- sowie Funktions-Modul des FOD genutzt, um die durchzuführenden Prüfungen als Prüfobjekte zu definieren und in der Kooperationsplattform abzulegen. Diese Prüfobjekte beinhalten dabei keine konkreten Parameterwerte sondern Referenzen auf die entsprechenden Parameter-Objekte. Erst bei der Durchführung werden die zu diesem Zeitpunkt aktuellen Werte ermittelt und im Prüfvorgang gespeichert (Bild 32). Da sämtliche Prüfelemente versioniert werden, wird sichergestellt, dass die Prüfungen wiederhol- und nachvollziehbar sind und gleichzeitig den aktuellen Stand der Arbeiten reflektieren ohne das die Prüfungen manuell aktualisiert werden müssen.

Die konkrete Durchführung der Prüfungen erfolgt je nach Aufgabenverteilung entweder ebenfalls im Rahmen der Anforderungsmanagement-Software oder jeder beliebigen anderen an die MIKADO-Plattform angeschlossenen Komponente.

Exemplarisch umgesetzte Prüfungen zeigen die Möglichkeiten der Automatisierung von Prüfungen in CATIA V5 sowie der Integration mechatronischer Komponenten auf. Dazu wurden geometrische Tests umgesetzt und Methoden entwickelt, die es ermöglichen, in Steuergeräte eingebettete Software, die mit Ascet (Advanced Simulation and Control Engineering Tool) entwickelt wurde, in CATIA V5 im Zusammenspiel mit der virtuellen Geometrie zu prüfen.

Weiterhin wurden vier vollautomatische Prüfungen implementiert, die einen Überblick über die Möglichkeiten der automatisierten Steuerung von CATIA V5 geben. Diese Prüfungen umspannen einen sehr großen Bereich an Prüfszenarien und reichen von einer automatisierten Ausdehnungsermittlung über eine Ampelsichtprüfung bis hin zu einer kinematik-basierten dynamischen Kollisionsanalyse.

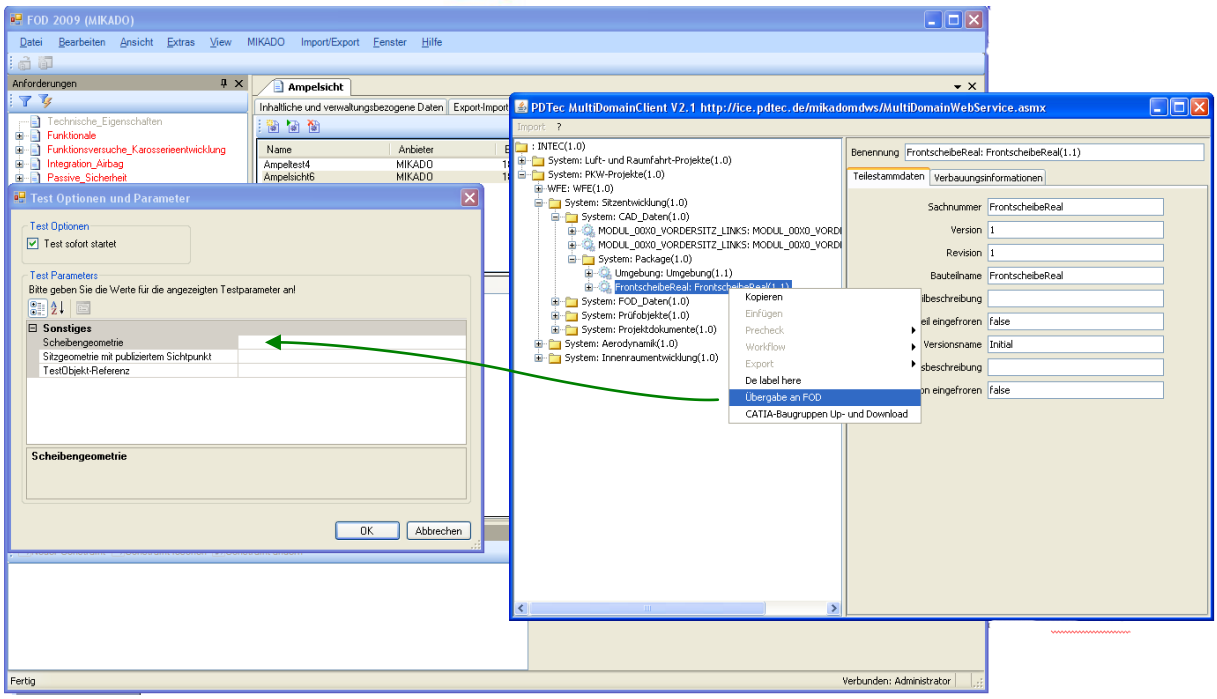


Bild 32: Übergabe der Parameter in FOD

Am Beispiel der dynamischen Kollisionsanalyse wurde gezeigt, dass selbst hochkomplexe Prüfungen automatisiert durchgeführt werden können. Die Prüfung ermittelt, ob ein Fahrersitz in seiner aktuellen Einbaulage in jeder möglichen Verfahrposition kollisionsfrei ist. Um die Kollisionsfreiheit zu überprüfen müssen die Kinematiken ineinander verschachtelt abgefahren werden. Dazu muss erst die erste Kinematik in ihren Grenzen abgefahren werden und die Kollisionsfreiheit überprüft werden. Danach wird die zweite Kinematik einen Schritt bewegt und die erste Kinematik erneut in ihren Grenzen betrachtet und dieser Vorgang solange wiederholt bis die zweite Kinematik vollständig abgearbeitet wurde. Anschließend wird die dritte Kinematik einen Schritt weiterbewegt und die beiden ersten Schritte wiederholt. Die Aufgabe wächst somit exponentiell mit der Anzahl an Kinematiken. Dadurch kann eine solche Prüfung mehrere Tage in Anspruch nehmen.

Um dieses Problem zu beschleunigen wird die Komplexität reduziert indem aus den Einzelbewegungen Hüllvolumen erstellt werden, die sich dann zu dem Gesamtbewegungsvolumens zusammensetzen (Bild 33). Die Reihenfolge, in der die einzelnen Bewegungsvolumen zu erstellen sind, lässt sich leicht an der Anzahl der bewegten Teile automatisch ermitteln. Im Anschluss muss nur eine statische Kollisionsanalyse zwischen der Umgebungsgeometrie und dem Bewegungsvolumen durchgeführt werden. Dieses Verfahren erlaubt so schnell und automatisiert festzustellen ob eine Kollision vorliegt. Die genauen Stellungswerte der Kinematiken müssen dabei in einem nachgelagerten Prozess ermittelt werden.

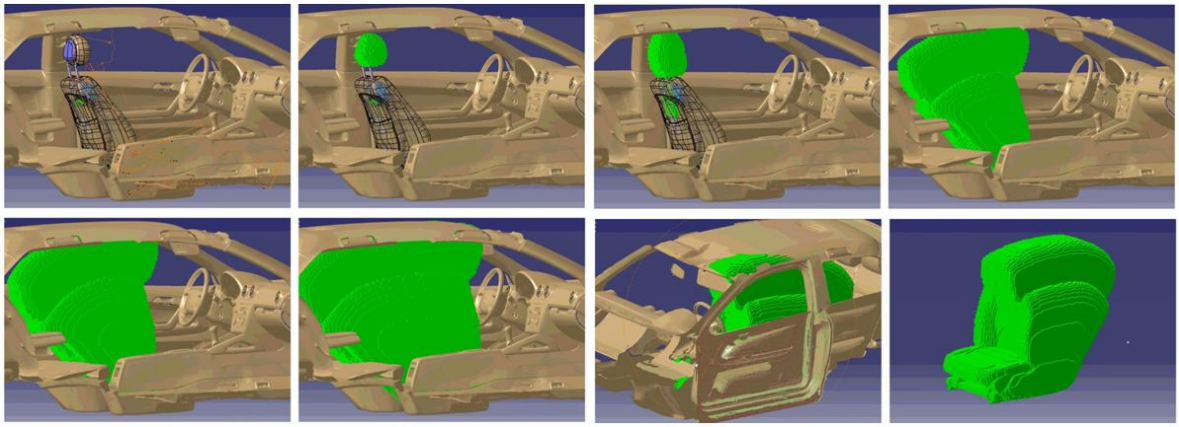


Bild 33: Erstellung eines Gesamtbewegungsvolumens für die dynamische Kollisionsanalyse

Weitere Prüfungsszenarien für die gekoppelte Prüfung von mechanischen und steuerungstechnischen Aspekten am Beispiel des Fahrzeugsitzes wurden entwickelt (Bild 34), konnten in der vorhandenen Zeit jedoch nicht mehr implementiert werden.

Mit der vorgestellten Implementierung des FMU wurden die Möglichkeiten der Automatisierung von Prüfungen durch die Kopplung der beteiligten Systeme aufgezeigt und die sich daraus ergebenen Möglichkeiten für Regressionstests, die eine Verbesserung der Qualität und eine Verkürzung der Entwicklungszeit nach sich ziehen.

Weiterhin wurde gezeigt wie sich eine verbesserte Prozesssteuerung und Nachvollziehbarkeit durch die Integration des FMU in die angrenzenden Systeme erreichen lässt.

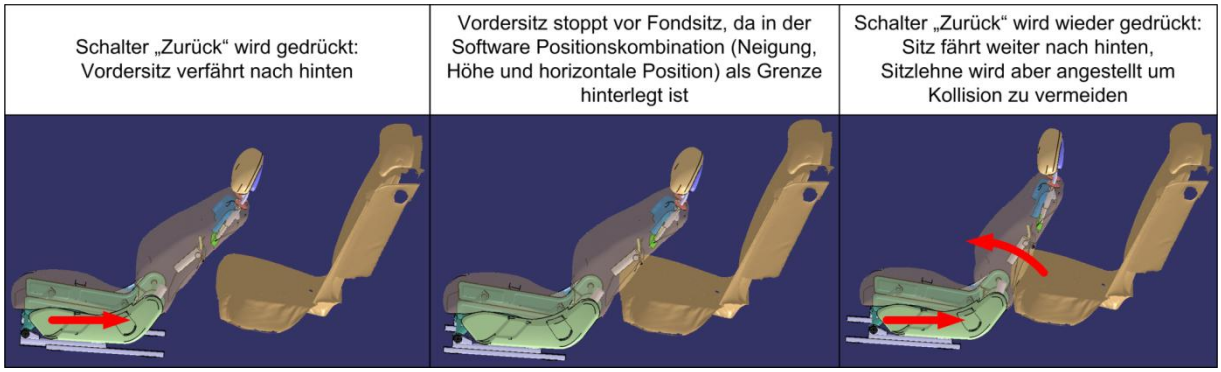


Bild 34: Komplexe Bewegungssteuerung unter Berücksichtigung von Kollisionen

3.4 Modellierung und Bewertung mechatronischer Prozesse

3.4.1 Referenzvorgehensbausteine für mechatronische Produktentwicklung

Referenzvorgehensbausteine (im Folgenden RVBs genannt) sollen Unternehmen dabei unterstützen, ihre Entwicklungsprozesse für mechatronische Prozesse bewer-

ten und verbessern zu können. Bei der Entwicklung der RVBs wurden zwei wichtige Zielstellungen verfolgt:

- Die mechatronischen Produktentwicklungsprozesse in einem Unternehmen sollen auf einer Reifegradskala bewertet werden können, welche die Fähigkeit der Prozesse beschreibt, mechatronische Produkte hervorzubringen, die die an sie gestellten Anforderungen erfüllen.
- Die Gestaltung und Verbesserung mechatronischer Produktentwicklungsprozesse soll mithilfe eines Prozessbaukastens, einer Sammlung von RVBs, unterstützt werden.

Ein RVB besteht, wie auf der linken Seite in Bild 35 zu sehen ist, aus einer Reihe von Dokumenten, die sich auf einen bestimmten Unterprozess innerhalb der mechatronischen Produktentwicklung beziehen. Diese umfassen

- ein Prozessdiagramm, welches den Prozess in seiner Idealform graphisch darstellt,
- ein Textdokument mit Erklärungen und Erläuterungen zu allen Elementen des Prozessdiagramms,
- einen Fragenkatalog, der dazu eingesetzt werden kann, existierende Prozesse zu bewerten und Schwachstellen offen zu legen und
- eine zu dem Prozessdiagramm passende Prozessdefinitionsdatei, welche die Weiterverwendung der Prozessbeschreibung in vielen gängigen Prozessmodellierungs- und Simulationswerkzeugen und Workflow-Engines ermöglicht.

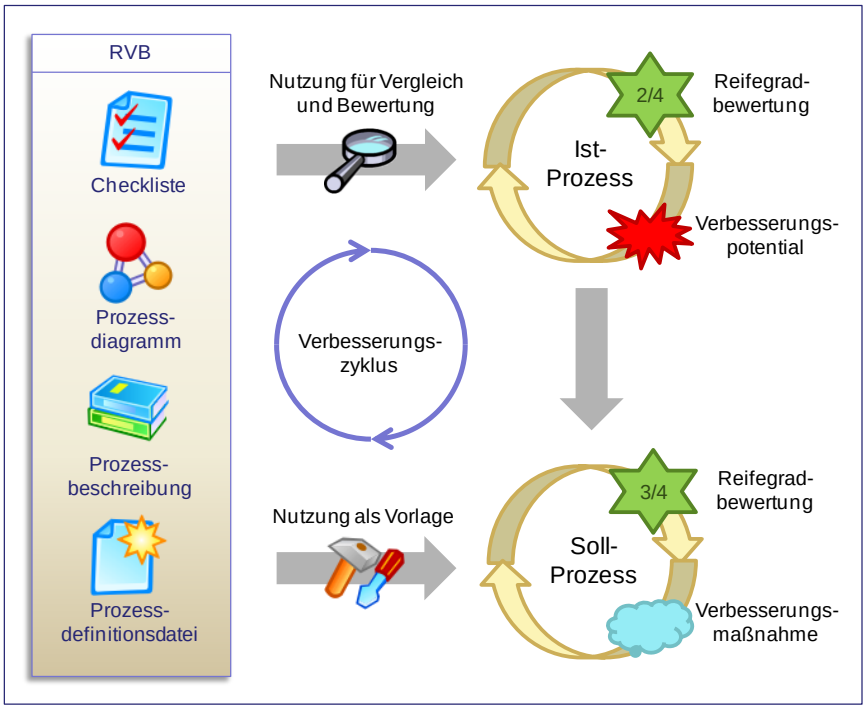


Bild 35:Aufbau und Einsatz eines Referenzvorgehensbausteins (RVB)

Insgesamt wurden im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO Referenzvorgehensbausteine für die folgenden 16 Teilprozesse der mechatronischen Produktentwicklung entwickelt:

1. Anforderungsmanagement – Anforderungen sammeln
2. Anforderungsmanagement – Anforderungen prüfen
3. Systemspezifikation – Anforderungen spezifizieren
4. Systemspezifikation – Lösungen spezifizieren
5. Systemspezifikation – Strukturbaum
6. Systemspezifikation – Zeitplan erstellen
7. Änderungsmanagement
8. Konfigurationsmanagement
9. Projektmanagement – Projekt planen
10. Projektmanagement – Stücklisten erstellen
11. Projektmanagement – Risikoanalyse
12. Projektmanagement – Projekt verfolgen
13. Qualitätssicherung – Testplan erstellen
14. Qualitätssicherung – Integrationsplan erstellen
15. Lieferantenmanagement
16. Realisierung / Abnahme

Da es sich jeweils nur um Beschreibungen von Teilprozessen in einer generischen Idealform handelt und nicht um eine, die gesamte mechatronische Produktentwicklung umfassende Vorgehensweise, lassen sich diese Prozessbausteine mit Best Practice Bausteinen des V-Modells XT vergleichen, allerdings mit einer sehr spezifischen Ausrichtung auf die Mechatronik.

Die Anwendung der RVBs ist in einer Methodik definiert. Dabei wird ein existierender Prozess, zunächst mithilfe des Fragenkataloges aus dem entsprechenden RVB hinsichtlich seines Reifegrades bewertet. Der Reifegrad setzt sich dabei aus den folgenden 4 Einzelfaktoren zusammen:

- Formalisierung - Ein hoher Grad an Formalisierung wird durch eine gezielte, strukturierte und standardisierte Erfassung und Dokumentation der zu erzielenden Ergebnisse eines Prozesses (wie beispielsweise der Anforderungsanalyse) erreicht.
- Automatisierung - Ein hoher Grad an Automatisierung wird durch einen gezielten Einsatz von IT-Werkzeugen und/oder automatisierungstechnischen Anlagen erreicht.
- Institutionalisierung - Ein hoher Grad an Institutionalisierung wird durch eine vollständige und praxistaugliche Integration der Prozesse in die Unternehmensabläufe erreicht. Dazu gehören die klare Definition von Verantwortlichkeiten sowie die konsequente Anwendung der definierten Prozesse.

- Interdisziplinarität - Ein hoher Grad an Interdisziplinarität wird durch eine gezielte, gesteuerte Miteinbeziehung aller Stakeholder (aus allen Geschäfts- und Technologiebereichen und ggf. verschiedenen Unternehmen) in die Durchführung der Prozesse erreicht. Wichtig ist hier insbesondere die Koordination der an der Entwicklung beteiligten Disziplinen Mechanik, Elektronik und Informatik.

Je Einzelfaktor wird eine Wertung zwischen 1 und 4 vergeben, wobei der Reifegrad 4 die höchste mögliche Stufe ist. Die Wertungen für die genannten Einzelfaktoren werden anschließend mit dem angestrebten Gesamtreifegrad abgeglichen. Daraus lassen sich direkt Verbesserungspotentiale ableiten. Ist bspw. ein Prozess in Bezug auf den Faktor Formalisierung mit dem Reifegrad 2 bewertet worden, so gehen aus den in dem RVB formulierten Voraussetzungen für die Erfüllung des Reifegrades 3 und 4 die zu realisierenden Zielzustände des Prozesses hervor. Die Ableitung konkreter, unternehmensspezifischer Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele ist nicht Bestandteil des entwickelten Ansatzes.

Die ebenfalls in dem RVB enthaltene Beschreibung des Idealprozesses (Prozessdefinitionsdatei) kann als Hilfestellung eingesetzt werden, um die aufgedeckten Verbesserungspotentiale in der Praxis umzusetzen. Dabei kann der Idealprozess auf zwei unterschiedliche Arten genutzt werden:

- wichtige Aktivitäten oder Prozesspassagen aus dem Idealprozess können in den existierenden Prozess übernommen werden, um diesen zu verbessern, oder
- der existierende Prozess kann vollständig durch den Idealprozess ersetzt werden.

Bild 36 stellt noch einmal dar, wofür RVBs eingesetzt werden können.

Wird die in einem RVB enthaltene Beschreibung eines Idealprozesses eingesetzt, um einen existierenden Prozess zu verändern oder zu ersetzen, müssen die verwendeten Bestandteile des Idealprozesses auf unternehmens- und anwendungsfallspezifische Randbedingungen angepasst werden. Dazu muss das Prozessdiagramm eines solchen Idealprozesses zunächst im Detail betrachtet werden. Im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO wurde für die Erstellung von Prozessdiagrammen die standardisierte Prozessmodellierungsnotation "Business Process Modelling Notation" (BPMN) ausgewählt, die zudem mit der "XML Process Definition Language" (XPDL) über ein ebenfalls standardisiertes Daten(speicherungs)format verfügt. Die Kernmodellierungselemente der BPMN sind Aktivitäten, Subprozesse, Artefakte (d.h. Daten und/oder Dokumente) die in Aktivitäten gelesen, erstellt und/oder verändert werden, und Rollen (Akteure). Pfeile zwischen den Elementen und ihre grafische Anordnung beschreiben die Abfolge der Aktivitäten und Subprozesse und deren Zusammenhänge mit Artefakten und Akteuren.

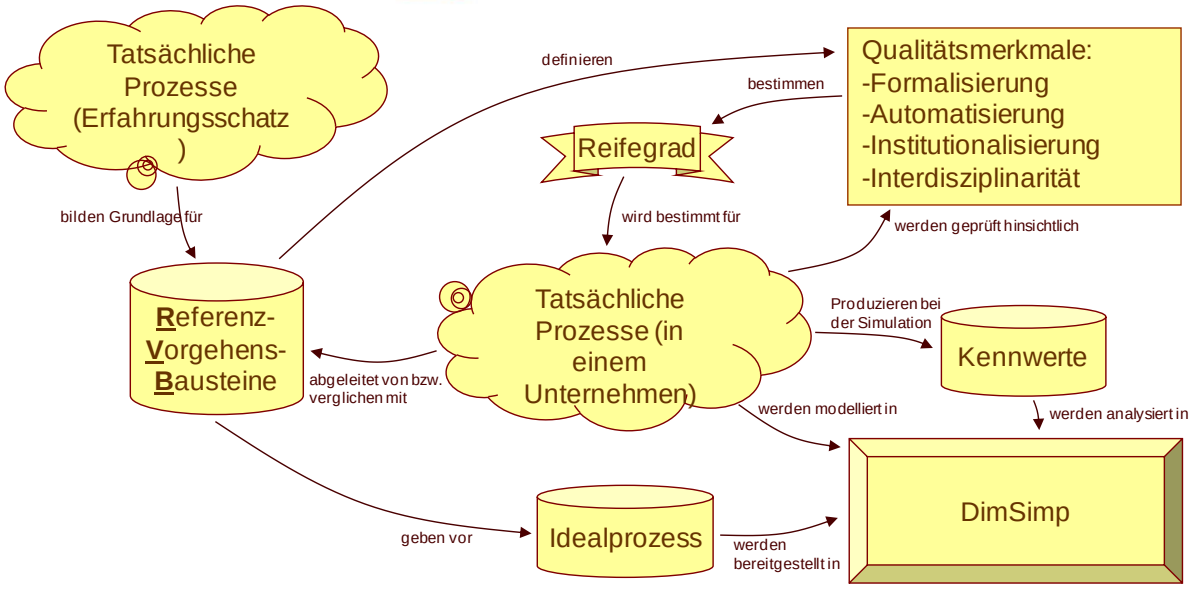


Bild 36: Einsatz von RVBs

Soll ein auf diese Art und Weise modellierter Prozess angepasst werden, müssen die folgenden Arbeitsschritte vorgenommen werden:

- Die im Idealprozess definierten Rollen müssen an die Rollen in dem betroffenen Unternehmen angepasst werden. Beispiel: nicht jedes Unternehmen besitzt eine spezifische Rolle für einen "Mechanik-Entwickler", andere Unternehmen wiederum unterscheiden hingegen zwischen einer großen Menge sehr spezifischer Rollen, die bspw. eine besondere Qualifikation im Umgang mit einem spezifischen CAD-Werkzeug oder Fachwissen im Bereich ganz bestimmter mechanischer Baugruppen besitzen und somit alle in die grob formulierte Rolle "Mechanik-Entwickler" passen würden. Es muss also die Frage gestellt werden, welchen unternehmensspezifischen Rollen die Rollen aus dem Idealprozess entsprechen.
- Einzelne Aktivitäten im Prozess können ggf. entfernt werden, wenn diese in dem spezifischen Anwendungsfall nicht notwendig oder nicht realisierbar sind. Ebenso müssen dem Idealprozess oftmals einzelne Aktivitäten hinzugefügt werden, wenn diese in dem spezifischen Anwendungsfall wichtig oder notwendig sind. Besonders häufig hinzugefügte Aktivitäten sind produktspezifische Zwischenprüfvorgänge.
- Die in einem Idealprozess beschriebenen Artefakte, die in dem Prozess verwendet, erstellt und bearbeitet werden, beschreiben meist nur einen Bruchteil der tatsächlich in einem spezifischen Prozess relevanten Daten und Dokumente. Die bereits existierenden Artefakte müssen fast alle spezifisch umbenannt werden und es müssen eine Vielzahl weiterer Artefakte hinzugefügt werden.

- Die Abfolge von Aktivitäten und Subprozessen in einem Prozess muss ggf. auch anwendungsfallspezifisch angepasst werden. Ein besonders häufiger Fall ist das Hinzufügen zusätzlicher Iterationsschleifen in einem Prozess.

Die zuvor genannten Änderungsmöglichkeiten sollten in Zusammenarbeit zwischen Mitarbeitern des betroffenen Unternehmens und einem externen Spezialisten, der den Idealprozess kennt, diskutiert werden. Eine starre Vorgehensweise, mit der ein Unternehmen auch ohne einen externen Spezialisten die notwendigen Anpassungen ermitteln könnte, ist aufgrund der Komplexität der unternehmens- und anwendungsfallspezifischen Randbedingungen nicht möglich. Durch unbedachte oder nicht geeignete Änderungen des Prozesses könnten die Vorteile, die ein Idealprozess mit sich bringen soll, vollständig verloren gehen.

Die im Kapitel 3.4.2 beschriebene, im Rahmen des Verbundprojektes bereitgestellte Anwendung DimSiMP ermöglicht die werkzeuggestützte Verwendung und Anpassung der in RVBs enthaltenen Idealprozessbeschreibungen. Dabei ist es auch möglich den Idealprozess und den angepassten Prozess separat zu simulieren und so die Auswirkungen der vorgenommenen Anpassungen auf Dauer, Kosten und Ressourcenbelastung eines Prozesses zu analysieren, was sich unbedingt empfiehlt.

Das Fachwissen, welches als Grundlage der RVBs dient, stammt aus der industriellen Praxis. Die Firma ITQ hat innerhalb des Verbundprojektes hier ihre mehrjährige Erfahrung im Bereich der Prozess- und Qualitätsberatung für produzierende Unternehmen eingebracht.

Alle RVBs sind auf der Kollaborationsplattform abgelegt.

3.4.2 Verteilte Modellierung und Simulation von Prozessen der mechatronischen Produktentwicklung

Im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO wurde die Prozessmodellierungs- und simulationssoftware DimSimP (Distributed Modeling and Simulation of Mechatronical Product Development Processes) entwickelt. DimSiMP erlaubt es, reale Prozesse zu modellieren und dabei präzise abzubilden, diese dann zu simulieren und anschließend eine Analyse der Simulationsergebnisse durchzuführen, welche mögliche Schwachstellen in den Prozessen der mechatronischen Produktentwicklung aufdeckt und die Grundlage für Verbesserungsmaßnahmen bildet.

Die oben beschriebenen Funktionen, die von DimSiMP angeboten werden, sind typisch für sogenannte Business Process Management (BPM) Systeme. Für die Modellierung und Simulation mechatronischer Produktentwicklungsprozesse ergeben sich allerdings besondere Anforderungen an die eingesetzten Werkzeuge, die von gängigen Lösungen im Bereich des BPM nicht erfüllt werden [15, 16]. Im Gegensatz zu diesen zeichnet sich DimSiMP unter anderem dadurch aus, dass einige typische Charakteristika mechatronischer Produktentwicklungsprozesse geeignet modelliert

werden können. So können in Prozessmodellen in DimSiMP Iterationen und Synchronisationspunkte und der Parameteraustausch zwischen Subprozessen dargestellt werden. Desweiteren kann ein gemeinsamer Ressourcenpool für eine Menge von Prozessen definiert werden, der die Grundlage für eine Simulation von parallel ablaufenden, um die gleichen Ressourcen konkurrierenden Prozessen bildet [17, 18].

In Bild 37 ist die grafische Benutzerschnittstelle von DimSiMP abgebildet, wobei im rechten Teil des Bildes der Prozesseditor und in dessen unteren Bereich die verfügbaren Modellierungselemente zu erkennen sind. Auf der linken Seite ist eine baumartige Ansicht aller Prozesse, Simulationsdurchläufe und modellierten Ressourcen zu sehen. Mithilfe dieser Ansicht kann der Benutzer alle modellierten Daten durchsuchen und über Kontextmenüs gewünschte Funktionalitäten für diese anfordern.

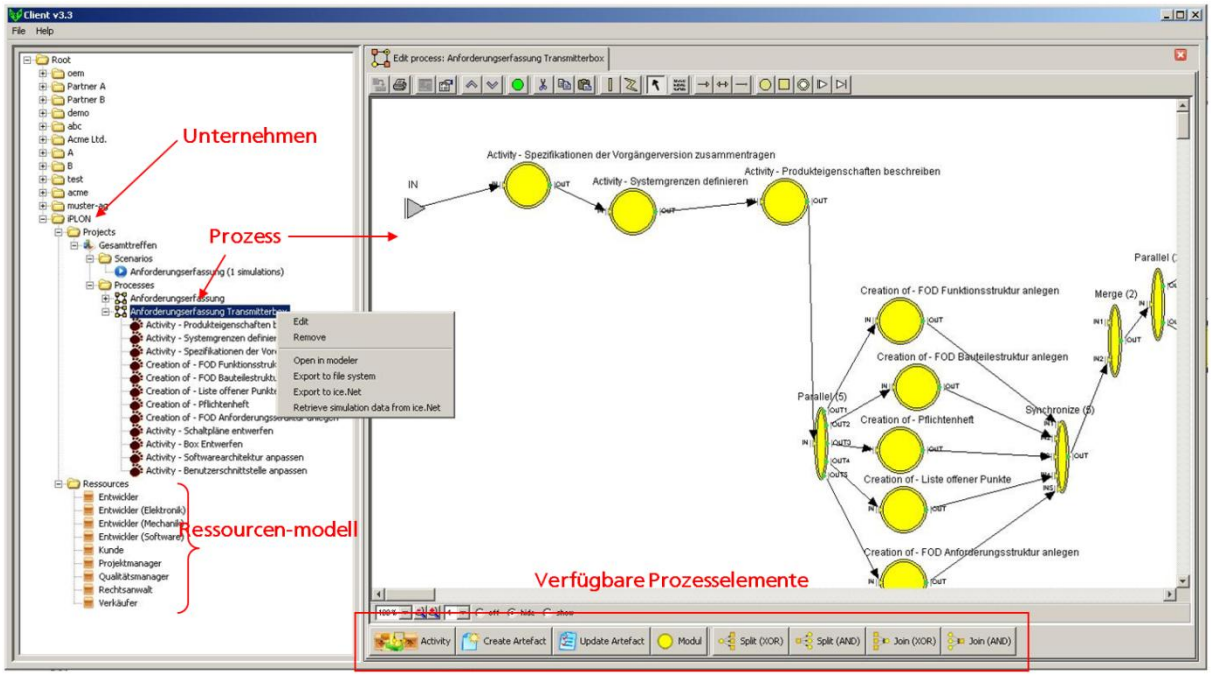


Bild 37: DimSiMP - Übersicht und Modellierungseditor

Durch die Simulation paralleler Prozesse, die an verschiedenen Stellen synchronisiert werden, Parameter austauschen, teilweise wiederholt werden müssen und gleichzeitig auf einen gemeinsamen Ressourcenpool zugreifen, können eine Vielzahl möglicher Schwachstellen in mechatronischen Produktentwicklungsprozessen aufgedeckt werden. So kann es zum Beispiel sein, dass mehrere parallele Prozesse gleich lange dauern würden, aber die Synchronisationspunkte oder Stellen, an denen sie Ergebnisse austauschen, so ungünstig gewählt sind, dass die Prozesse abwechselnd aufeinander warten müssen und so insgesamt deutlich länger als erwartet dauern. Ebenso passiert es in der Praxis oft, dass parallele Prozesse die gleichen Ressourcen nutzen müssen, diese dann temporär blockieren und so wieder andere Prozesse ausbremsen. Solche Probleme können anhand einer Simulation aufgedeckt werden.

Die Ergebnisse eines oder mehrerer Simulationsdurchläufe können so visualisiert werden, dass für verschiedene Teilprozesse sofort sichtbar wird, an welchen Stellen sie auf Ergebnisse oder die Erreichung bestimmter Synchronisationspunkte anderer Teilprozesse oder die Freigabe bestimmter benötigter Ressourcen warten mussten. In solchen Fällen können die Prozesse in der Modellierungsoberfläche von DimSiMP virtuell angepasst und verbessert werden. Die erneute Simulation der veränderten Prozesse kann anschließend genutzt werden, um aus den Ergebnissen die Wirksamkeit der angedachten Maßnahmen abschätzen zu können. Die Umsetzung solcher Prozessänderungen in der Praxis ist nicht Bestandteil der hier vorgestellten Ergebnisse.

Um einen modellierten Prozess simulieren zu können, müssen im Prozessmodell Angaben über die erwartete Dauer und die erwarteten Kosten einzelner Aktivitäten innerhalb des Prozesses gemacht werden. Mithilfe geeigneter Algorithmen können so die Gesamtdauer und -kosten berechnet und die längsten Prozesspfade, sogenannte kritische Pfade, identifiziert werden.

In Bild 38 ist die Darstellung zweier unterschiedlicher Prozesse und der für sie ermittelten Dauer in DimSiMP zu sehen. Dabei ist bspw. zu erkennen, dass der Prozess, der in blauer Farbe dargestellt wird, insgesamt kürzer dauert als der andere (rote dargestellte) Prozess und außerdem eine geringere Streubreite aufweist. Da hier Prozessvarianten verglichen wurden, wird deutlich, dass der blau dargestellte Prozess in Bezug auf den Faktor Dauer die Prozessvariante ist, die man wahrscheinlich eher in der Praxis befolgen sollte. Es könnte allerdings bei einer Betrachtung der Kosten herauskommen, dass diese zeitlich günstigere Variante deutlich kostspieliger ist. Solche Informationen lassen sich mithilfe einer Prozesssimulation also noch bevor ein Prozess tatsächlich durchgeführt wird abschätzen.

Eine besondere Herausforderung, die typisch für Produktentwicklungsprozesse ist und oftmals noch deutlicher bei der Entwicklung mechatronischer Produkte ausfällt, ist die Zusammenarbeit unterschiedlicher Unternehmen bei der Entwicklung. Dazu müssen die kooperierenden Unternehmen ihre Prozesse so einplanen, dass unternehmensübergreifende Synchronisationspunkte eingehalten werden können. So ist bspw. denkbar, dass zwei Unternehmen, die Komponenten entwickeln, welche Schnittstellen zueinander besitzen, sich auf einen Termin einigen, zu dem der Entwicklungsstand der Komponenten ausgetauscht werden soll, damit ein Abgleich stattfinden kann. Während die Software DimSiMP es einem einzelnen Unternehmen bereits ermöglicht, die eigenen Prozesse zu modellieren, gibt es zusätzlich die Möglichkeit, Prozesse, die von einem anderen Unternehmen entworfen wurden, explizit mit den eigenen Prozessen zu verknüpfen und dann deren Zusammenspiel zu simulieren, so dass eine bessere Abstimmung erreicht werden kann. Um dies zu ermöglichen besitzt die Software DimSiMP eine Client-Server-Architektur. Der Benutzer bedient dabei die Software über eine Client-Software, während die Prozessdaten, die er

erstellen und simulieren kann, auf einer Server-Software gespeichert werden. So ist es möglich, dass mehrere Benutzer von verschiedenen Orten aus die von ihnen entworfenen Prozesse an demselben Ort speichern und sich diese dort auch gegenseitig zur Verfügung stellen. Dadurch wird nicht nur eine kollaborative Produktentwicklung unterstützt, sondern auch eine kollaborative Prozessentwicklung und -abstimmung ermöglicht. Dies ist ein Merkmal, welches die wenigsten BPM-Systeme besitzen.

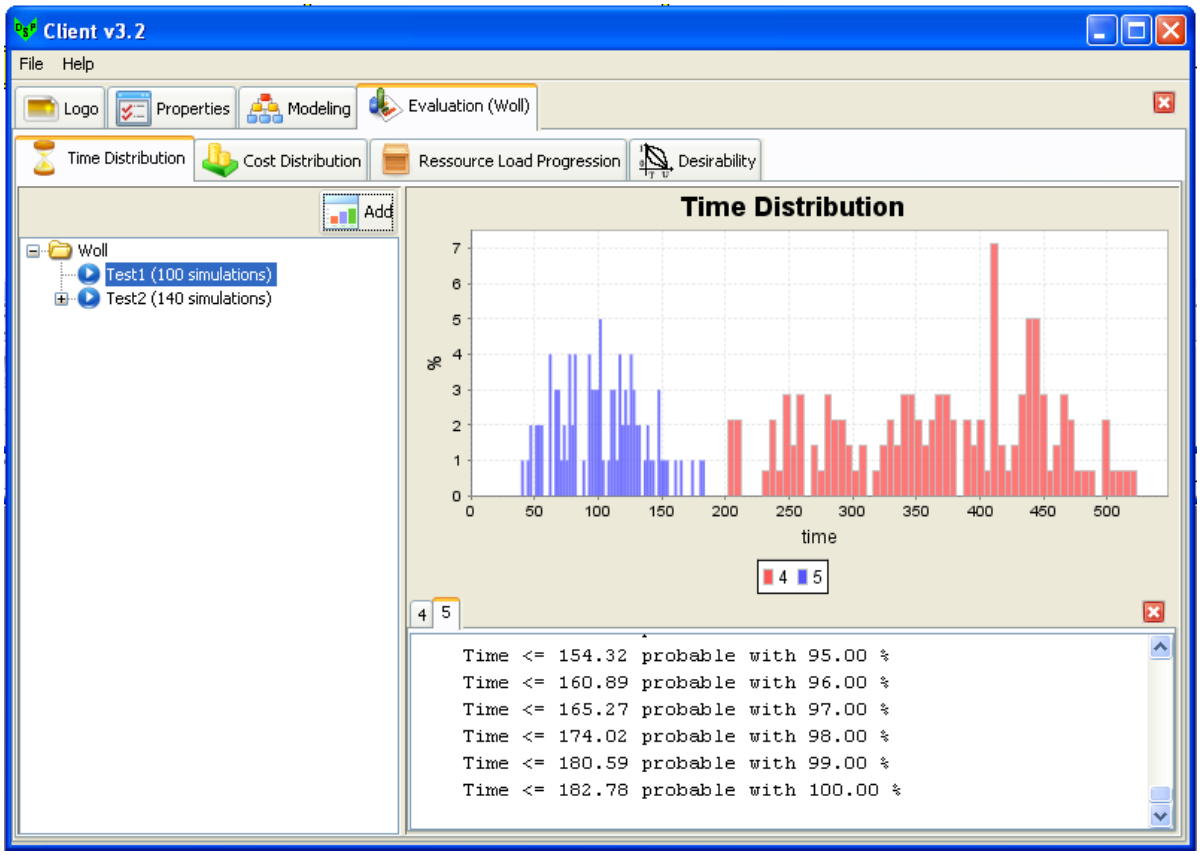


Bild 38: DimSiMP - Ansicht von Simulationsergebnissen

Eine besondere Herausforderung, die typisch für Produktentwicklungsprozesse ist und oftmals noch deutlicher bei der Entwicklung mechatronischer Produkte ausfällt, ist die Zusammenarbeit unterschiedlicher Unternehmen bei der Entwicklung. Dazu müssen die kooperierenden Unternehmen ihre Prozesse so einplanen, dass unternehmensübergreifende Synchronisationspunkte eingehalten werden können. So ist bspw. denkbar, dass zwei Unternehmen, die Komponenten entwickeln, welche Schnittstellen zueinander besitzen, sich auf einen Termin einigen, zu dem der Entwicklungsstand der Komponenten ausgetauscht werden soll, damit ein Abgleich stattfinden kann. Während die Software DimSiMP es einem einzelnen Unternehmen bereits ermöglicht, die eigenen Prozesse zu modellieren, gibt es zusätzlich die Möglichkeit, Prozesse, die von einem anderen Unternehmen entworfen wurden, explizit mit

den eigenen Prozessen zu verknüpfen und dann deren Zusammenspiel zu simulieren, so dass eine bessere Abstimmung erreicht werden kann. Um dies zu ermöglichen besitzt die Software DimSiMP eine Client-Server-Architektur. Der Benutzer bedient dabei die Software über eine Client-Software, während die Prozessdaten, die er erstellen und simulieren kann, auf einer Server-Software gespeichert werden. So ist es möglich, dass mehrere Benutzer von verschiedenen Orten aus die von ihnen entworfenen Prozesse an demselben Ort speichern und sich diese dort auch gegenseitig zur Verfügung stellen. Dadurch wird nicht nur eine kollaborative Produktentwicklung unterstützt, sondern auch eine kollaborative Prozessentwicklung und -abstimmung ermöglicht. Dies ist ein Merkmal, welches die wenigsten BPM-Systeme besitzen.

Um den Einsatz der in Kapitel 3.4.1 beschriebenen RVBs zu unterstützen, besitzt DimSiMP eine entsprechende Funktionalität, mit der die Prozessdefinitionsdatei aus einem RVB direkt in DimSiMP importiert werden kann. Da DimSiMP aber ein proprietäres Datenformat für Prozessbeschreibungen besitzt, was vor allem darauf zurückzuführen ist, dass die Prozessmodelle auf einem eigens weiterentwickelten Petri-Netz-Modell basieren, wurde eine Funktionalität entwickelt, die es ermöglicht Prozessdefinitionsdateien mit dem standardisierten Datenformat XPDL in das interne Datenformat von DimSiMP umzusetzen und so zu importieren. Auf diesem Wege können nicht nur die Prozessdefinitionsdateien aus den RVBs, sondern auch aus allen anderen Prozessmodellierungswerkzeugen, die Prozesse in dem Datenformat XPDL speichern, importiert werden.

Damit Prozesse, die in DimSiMP modelliert wurden, nicht nur für die Dokumentation, sondern auch für die tatsächliche Steuerung von Prozessen eingesetzt werden können, müssen sie auf einem Workflow-Management-System (Workflow-Engine) ausführbar sein (siehe Kapitel 3.4.3). Da XPDL auf vielen Workflow-Engines ausführbar ist, wurde eine Funktionalität entwickelt, die es ermöglicht Prozesse, die in DimSiMP entwickelt wurden, in das Datenformat XPDL umzusetzen und in einem Ordner auf dem Computer, auf dem der DimSiMP Client installiert ist, zu speichern. Von dort aus, kann man die XPDL-Datei in eine Workflow-Engine hochladen, falls dies erwünscht ist.

Um die Bereitstellung von modellierten Prozessen für eine (oder mehrere) Workflow-Engines zu erleichtern, ist zudem eine Funktionalität entwickelt worden, die es erlaubt, modellierte Prozesse als XPDL auf der MIKADO Kollaborationsplattform abzulegen. Dazu wird die Funktionalität des zuvor erwähnten XPDL-Exporters und ein WebService der Kollaborationsplattform genutzt.

3.4.3 Workflow-Engine

Eine Workflow-Engine (oft auch Workflow Management System genannt) ist eine Softwareanwendung, die für die Steuerung von Prozessen eingesetzt wird. Sie benö-

tigt eine Prozessdefinitionsdatei als Eingabe und durchläuft den darin beschriebenen Prozess, führt dabei aber die Aktivitäten innerhalb eines Prozesses nicht selbst aus, sondern delegiert diese als Aufgaben an die Personen (oder Maschinen), die in der Prozessdefinitionsdatei für die Ausführung dieser Aktivitäten festgelegt sind. Dadurch soll sichergestellt werden, dass Prozesse in exakt der Reihenfolge durchgeführt werden, in der sie konzipiert wurden. Eine weitere, zentrale Zielstellung einer Workflow-Engine ist es, die Daten und Dokumente, die innerhalb eines Prozesses eingesetzt werden und entstehen können, so durch den Prozess zu leiten, dass sie an den jeweils benötigten Stellen sofort zur Verfügung stehen und stets an der richtigen Stelle abgespeichert werden. Dabei speichert eine Workflow-Engine Daten nie selbst, sondern entweder in einer Datenbank oder auf dem Computer, auf dem sie installiert ist. Im Verbundprojekt MIKADO werden alle Daten auf der MIKADO-Kollaborationsplattform gespeichert (Bild 39).

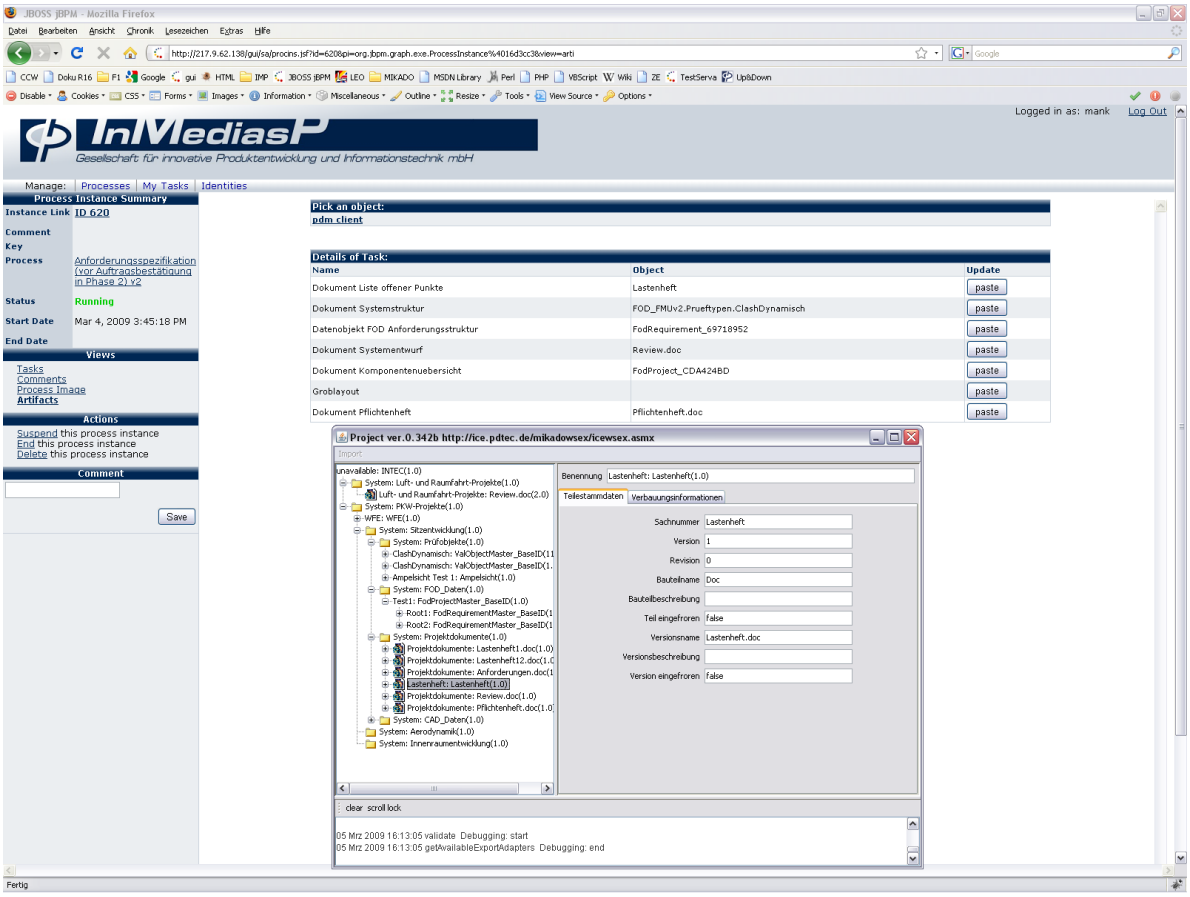


Bild 39: Workflow-Engine - Ansicht von Daten aus der Kollaborationsplattform

Die Benutzung einer Workflow-Engine durch einen Menschen erfolgt üblicherweise über eine Web-Schnittstelle. Dort kann man alle Aufgaben, die man noch durchführen soll, alle jene, die man bereits begonnen hat zu bearbeiten, und all jene, die man bereits abgeschlossen hat, überblicken. Wenn man die Rechte dafür besitzt, kann man dort auch laufende Prozesse überwachen, abgelaufene Prozesse überschauen

und neue Prozesse starten, wofür man eine Prozessdefinitionsdatei angeben muss. Beim Starten eines neuen Prozesses müssen zunächst die Rollen, die in der Prozessdefinitionsdatei angegeben sind, konkreten Personen (oder Maschinen) im Unternehmen zugeordnet werden. Eine Instanz einer Prozessdefinitionsdatei nennt man dabei einen Workflow. In Bild 40: Workflow-Engine - Ansicht eines neu gestarteten Prozesses ist ein neu gestarteter Prozess dargestellt.

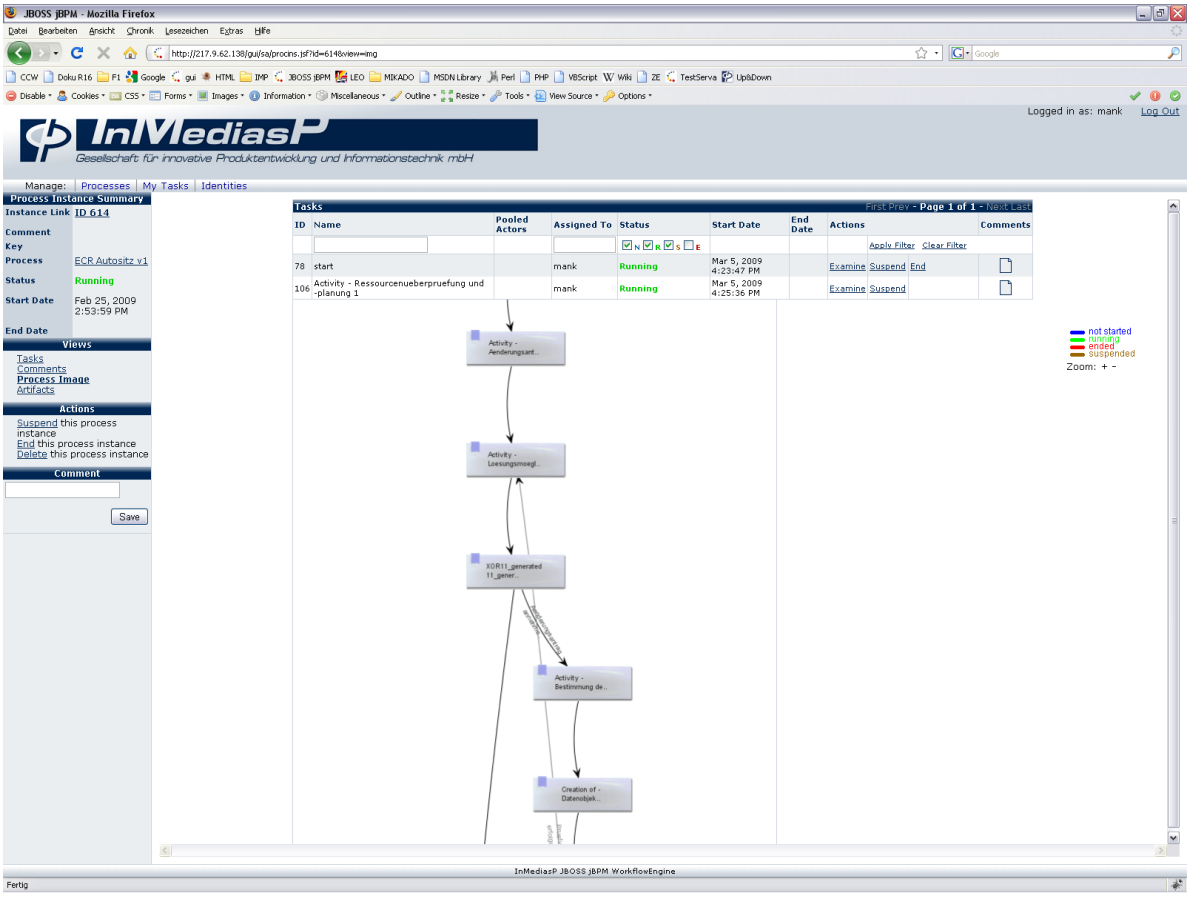


Bild 40: Workflow-Engine - Ansicht eines neu gestarteten Prozesses

Im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO wurde die freie Open-Source Workflow-Engine jBPM weiter entwickelt. Dabei wurden die folgenden Erweiterungen implementiert:

- Die Workflow-Engine kann neben Prozessdefinitionsdateien in ihrem eigenen proprietären Datenformat nun auch das Datenformat XPDL importieren, in ihr eigenes Format umsetzen und den beschriebenen Prozess starten und ausführen.
- All jene Prozesse, die bereits auf der MIKADO-Kollaborationsplattform gespeichert wurden, können in einer Liste auf der Web-Schnittstelle der Workflow-Engine angezeigt und von dort aus direkt gestartet werden.

- Beim Starten eines Prozesses sind bei der Zuordnung von Rollen zu Benutzern alle Benutzerprofile, die auf der MIKADO-Kollaborationsplattform gespeichert wurden, zur Auswahl verfügbar.
- Alle Daten und Dokumente, die im Verlaufe eines Prozesses gelesen, bearbeitet oder erstellt werden, können direkt mit Daten auf der MIKADO-Kollaborationsplattform verknüpft bzw. dort abgespeichert werden.
- Alle Fremdanwendungen, wie z.B. FOD (siehe Kapitel 3.3.4), die bestimmte ihre Funktionen als Web-Services auf der MIKADO-Kollaborationsplattform angemeldet haben, können direkt über URLs in den Aufgabenbeschreibungen einer Aktivität aufgerufen werden.
- Die Workflow-Engine ist über den von der Kooperationsplattform bereitgestellten PDM-Browser in die Plattform integriert. Dadurch ist es möglich ausgehend von Datenobjekten in der MIKADO-Kooperationsplattform für diesen Datentyp relevante Workflows zu starten und die Datenobjekte direkt in den neuen Workflow zu integrieren.

In dem folgendem Bild 41 sind ein Großteil der oben genannten Änderungen und Anpassungen dargestellt.

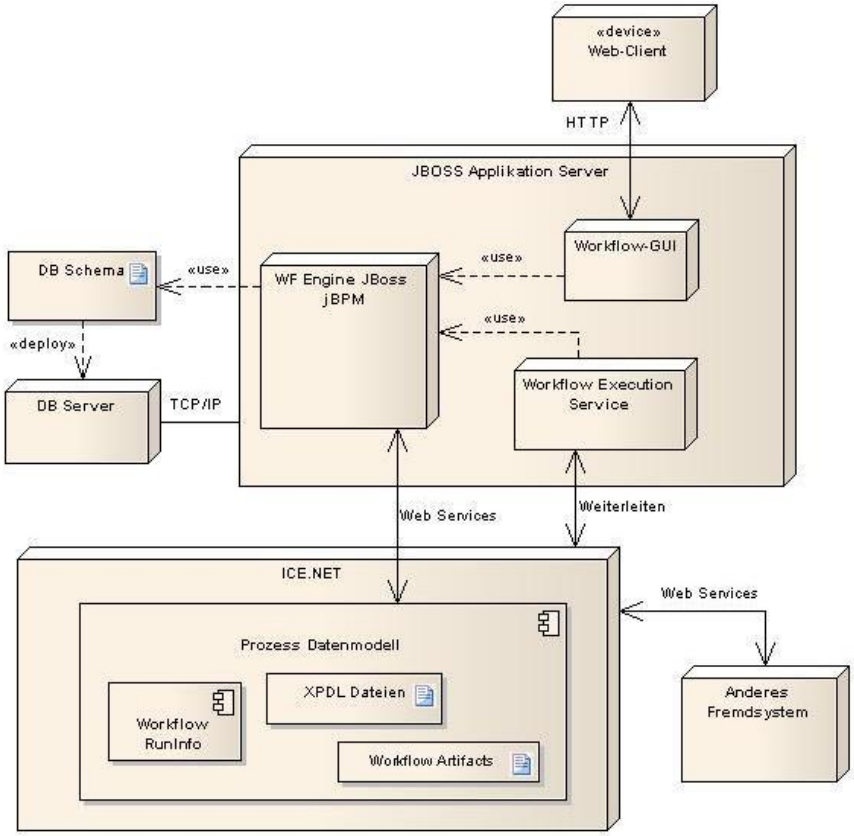


Bild 41: Workflow-Engine - Architektur

Schließlich wurde mithilfe der Workflow-Engine eine Lösung entwickelt, die sich der zentralen Problematik der Prozesssimulation annimmt: bevor eine Prozesssimulation durchgeführt werden kann, müssen in einer Prozessdefinitionsdaten Angaben über Dauer und Kosten einzelner Aktivitäten angegeben werden. Diese Angaben werden allerdings meist nur geschätzt. Eine Simulation, die auf falschen Annahmen basiert, kann aber Probleme aufdecken, die es so in der Praxis gar nicht gibt, und Probleme, die es in der Praxis tatsächlich geben könnte, übersehen. Um von anfänglichen Schätzungen zu Zahlen zu gelangen, die der Realität entsprechen, müssen die tatsächliche Dauer von Prozessen, die durch sie entstehenden Kosten und die Ressourcenbelastung in der Praxis gemessen werden. Werden die dabei gesammelten Daten wieder in das Prozessmodell übertragen, so kann die Prozesssimulation zuverlässigere Ergebnisse liefern.

Um Daten aus der Praxis zu sammeln, wurde eine Lösung erarbeitet, bei der ein in DimSiMP modellierter Prozess, der bereits einem realen Prozess nachempfunden wurde, auf der MIKADO-Kollaborationsplattform gespeichert und dann auf der Workflow-Engine gestartet wird. Jedes Mal wenn eine Aktivität abgeschlossen ist, bestätigt der Akteur dieses der Workflow-Engine, die somit Informationen über die Dauer der Aktivitäten erhält und anschließend die darauffolgenden Aufgaben an die nächsten Verantwortlichen verteilt. Nach Abschluss des Prozesses, werden die Informationen über die Dauer jeder einzelnen durchgeführten Aktivität im Prozess auf der MIKADO-Kollaborationsplattform gespeichert und können von dort aus von DimSiMP wieder eingelesen werden. Diese Daten können dann unter Einsatz von Algorithmen der Zeitreihenanalyse in die ursprüngliche Prozessdefinitionsdatei eingerechnet werden, so dass die daraus resultierende Prozessdefinitionsdatei neue Simulationsangaben für die Dauer der Aktivitäten im Prozess besitzt. So nähert sich der in der Prozessdefinitionsdatei beschriebene Prozess mit jedem Durchlauf auf der Workflow-Engine der "Realität" an. Diese realitätsnäheren Daten resultieren entsprechend in neuen Simulationsergebnissen, die dann möglicherweise Probleme aufdecken können, die zuvor noch nicht erkannt worden sind. Wenn der Prozess dann nachgebessert und dann wieder auf der Workflow-Engine ausgeführt wird, ergibt sich ein ständiger Verbesserungsprozess für den mechatronischen Produktentwicklungsprozess selbst. Dieser Ablauf ist in Bild 42: Einsatz von DimSiMP für einen ständigen Verbesserungsprozess dargestellt.

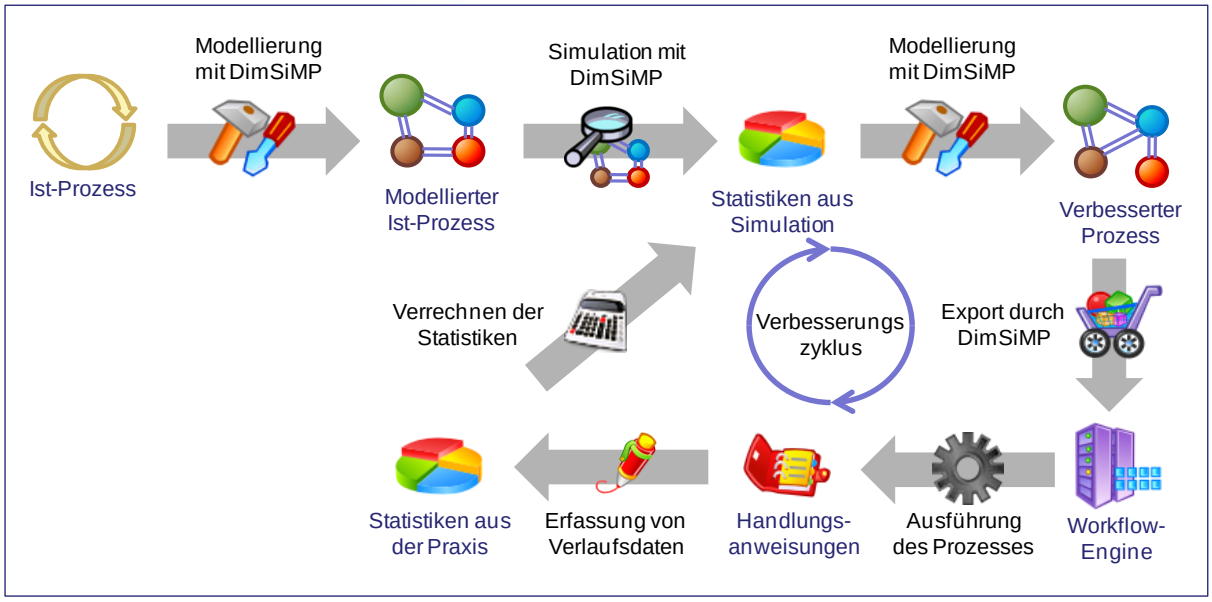


Bild 42: Einsatz von DimSiMP für einen ständigen Verbesserungsprozess

Bild 43: Prozessspezifikationsformate und Austausch verdeutlicht die eingesetzten Datenformate.

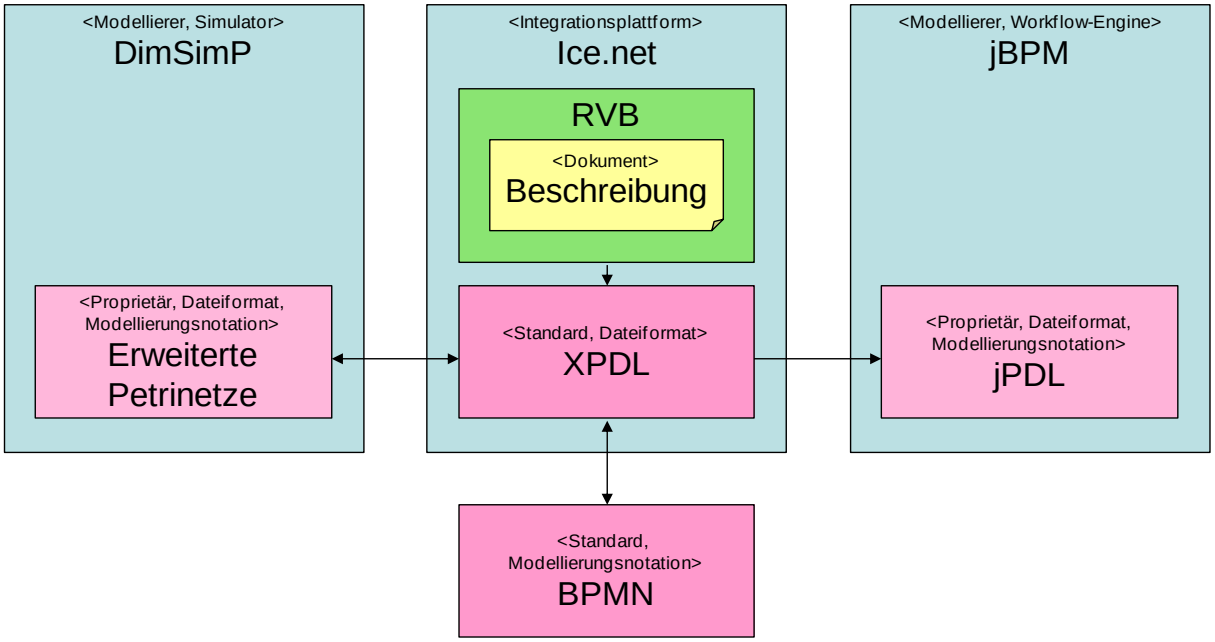


Bild 43: Prozessspezifikationsformate und Austausch

3.4.4 Einführungsstrategien und Leitfäden

Die vorgestellten Werkzeuge sind in eine umfassende mehrstufige Einführungsstrategie eingebettet, die den konkreten Gegebenheiten eines Unternehmens anpassbar und in Bild 44 dargestellt ist.

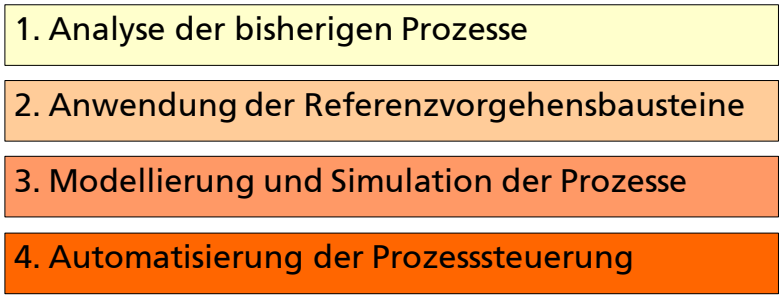


Bild 44: Einführungsstrategie der Prozesswerkzeuge

Die 4 dargestellten Arbeitsschritte bauen aufeinander auf, das bedeutet um Schritt 3 durchführen zu können, müssen zunächst der Schritt 1 und anschließend Schritt 2 ausgeführt worden sein. Jeder weitere Arbeitsschritt nach dem Ersten ist optional.

Das Vorgehen für den ersten Arbeitsschritt, die Analyse der bisherigen Prozesse, wurde im Rahmen des Forschungsprojekts BestVor (ebenfalls BMBF) entwickelt, welches parallel zu dem Verbundprojekt MIKADO durchgeführt wurde. Grundlage dieses Vorgehens bildet eine mehrstufige Vorgehensweise für die Auditierung von Akteuren in den Prozessen, die zu textuellen, aber dafür sehr realitätsnahen und praxisrelevanten Beschreibungen der tatsächlich gelebten Prozesse führt. Weitere Informationen über die Vorgehensweise sind dem Abschlussbericht des Forschungsprojekts BestVor zu entnehmen.

Während der erste Arbeitsschritt lediglich der Erfassung des Ist-Zustandes dient, wird in dem zweiten Arbeitsschritt, Anwendung der Referenzvorgehensbausteine, der ermittelte Ist-Zustand mit einem Soll-Zustand verglichen und so Verbesserungspotentiale aufgedeckt. Im Kapitel 5.4.1 über die Referenzvorgehensbausteine wird dargestellt, in welcher Form Referenzvorgehensbausteine dazu einen idealen Soll-Zustand generisch beschreiben und wie sie genau genutzt werden können.

Im dritten Arbeitsschritt, der Modellierung und Simulation der Prozesse, geht es nun darum, auf Basis der in Arbeitsschritt 3 ermittelten Verbesserungspotentiale und vom Ist-Zustand aus eine neue verbesserte Variante des alten Prozesses zu entwickeln. Dazu wird das in Kapitel 5.4.2 beschriebene Werkzeug DimSiMP eingesetzt, um zunächst den in Arbeitsschritt 1 nur textuell erfassten Prozess in ein Softwaremodell des Prozesses umzusetzen. Anschließend werden die Änderungen direkt in dem dabei entstandenen Diagramm vorgenommen. Die Simulation des so entstehenden Prozessmodells erlaubt wiederum Prognosen über die möglichen Auswirkungen, welche die vorgenommenen Modifikationen des Prozesses in Bezug auf Dauer, Kosten und Ressourcenauslastung in der Praxis nach sich ziehen könnten.

Während in Arbeitsschritt 3 Verbesserungen der Prozesse entwickelt werden, geht es im vierten und letzten Arbeitsschritt, Automatisierung der Prozesssteuerung, darum, die verbesserten Prozesse kontrolliert in die gelebte Praxis umzusetzen. Um dieses Ziel zu erreichen, wird eine Workflow-Engine eingesetzt, um die Prozesse

genau in der vorgesehenen Art und Weise zu steuern. Die Workflow-Engine ist in Kapitel 5.4.3 beschrieben.

So werden alle im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO entwickelten prozessorientierten Methoden und Werkzeuge im Rahmen einer einheitlichen, mehrstufigen Einführungsstrategie methodisch unterstützt. Die Installation der Software und weitere notwendige Maßnahmen, um die Werkzeuge in einem Unternehmen einsetzen zu können, werden in dem separat veröffentlichten MIKADO Leitfaden 'Mechatronik-Kooperationsplattform für anforderungs-gesteuerte Prüfung und Diagnose' beschrieben.

3.5 Integrationsaspekte

Ein wesentliches Ziel des MIKADO-Projektes ist, durch die enge Integration der einzelnen Softwarekomponenten ein Ergebnis zu erzielen das die disziplinübergreifende Zusammenarbeit systemtechnisch ermöglicht. Einerseits entfallen hierdurch Medienbrüche und Datenkonvertierungsschritte zwischen den einzelnen Anwendungen und der verschiedenen Disziplinen der mechatronischen Produktentwicklung durch die Verwendung einer gemeinsamen Kooperationsplattform, andererseits profitiert der Anwender durch die zwischen den einzelnen Anwendungen aufeinander abgestimmten Datenmodellen, die zu einer weiteren Vereinfachung der Handhabung führen.

Durch die Integration spezialisierter Programme zu einer gesamthaften Komplettlösung entsteht für den Anwender eine über alle Prozessschritte hinweg optimale Prozessunterstützung. Die Umsetzung von dieser Szenarien wird im folgenden ausführlich beschrieben.

3.5.1 Umsetzung der Anwendungsszenarien

Zur Evaluation der Integration und Kooperation der einzelnen Softwarekomponenten wurden Anwendungsszenarien ausgewählt, die repräsentativ zur Verifizierung der Projektergebnisse dienen. Dazu wurden aus den ursprünglich definierten Anwendungsszenarien drei Szenarien ausgewählt, die mit Anwendern aus unterschiedlichen Bereichen umgesetzt wurden und die vorhandene Softwarelandschaft aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachten.

3.5.2 Fotovoltaik-Steuereinheit

Das in Kapitel 2.7 vorgestellte Anwendungsszenario „Entwicklung einer Produktvariante der iBox“ wurde mithilfe der im Verbundprojekt MIKADO entwickelten Methoden und Werkzeuge vorbereitet und umgesetzt. Das folgende Bild (Bild 45) zeigt den Ablauf des geplanten Vorgehens in orange-gefärbten Pfeilen.

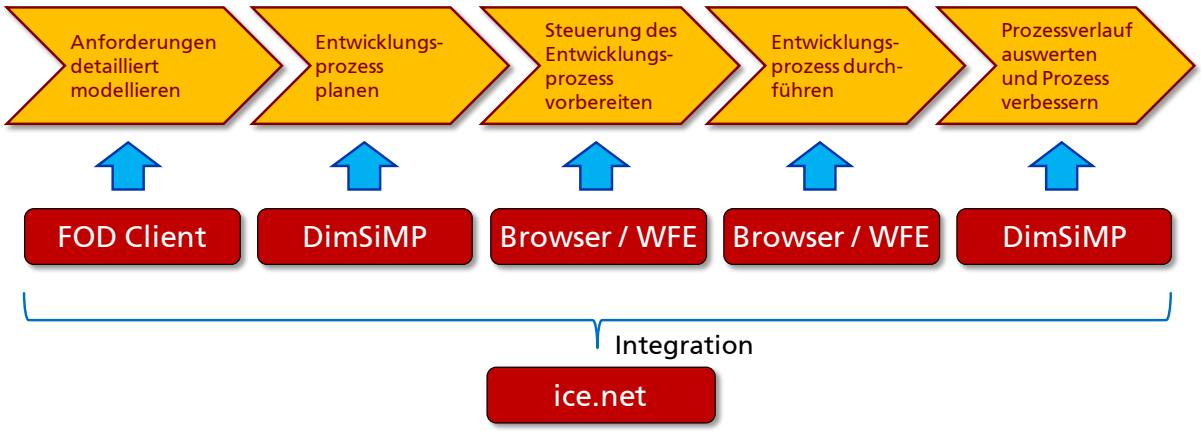


Bild 45: Ablauf des Evaluationsszenarios

Jeder Abschnitt des geplanten Ablaufs wurde durch eines der Werkzeuge aus dem Verbundprojekt MIKADO unterstützt. Die Integration der Werkzeuge erfolgte über die MIKADO Kollaborationsplattform, im Folgenden nur ice.net (Name eines Produkts der Firma PDTec, welches im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO weiterentwickelt wurde) genannt. Die Nutzung der dargestellten Werkzeuge im Verlauf der Evaluation soll die Erfüllung der in Kapitel 4.5.1 formulierten Anforderungen an die Weiterentwicklung der iBox zur iBox Premium ermöglichen:

- mithilfe des Werkzeuges FOD soll ein definiertes, werkzeugunterstütztes Vorgehen für das Anforderungsmanagement, ein Vorgehen für die Entwicklung von Produktfunktionen und Produktkomponenten und eine durchgängige Verknüpfung dieser Elemente mit Anforderungen und ein Vorgehen für das integrierte Testen und Verifizieren von Produktfunktionen ermöglicht und unterstützt werden,
- die MIKADO Kollaborationsplattform ermöglicht eine nahtlose Integration aller relevanten Entwicklungswerkzeuge und
- die Durchführung der notwendigen Prozesse wird mithilfe der Workflow-Engine (WFE) und in DimSiMP modellierter und optimierter Prozesse gesteuert.

Im Folgenden werden alle oben genannten 5 Abschnitte des geplanten Ablaufs einzeln und im Detail dargestellt.

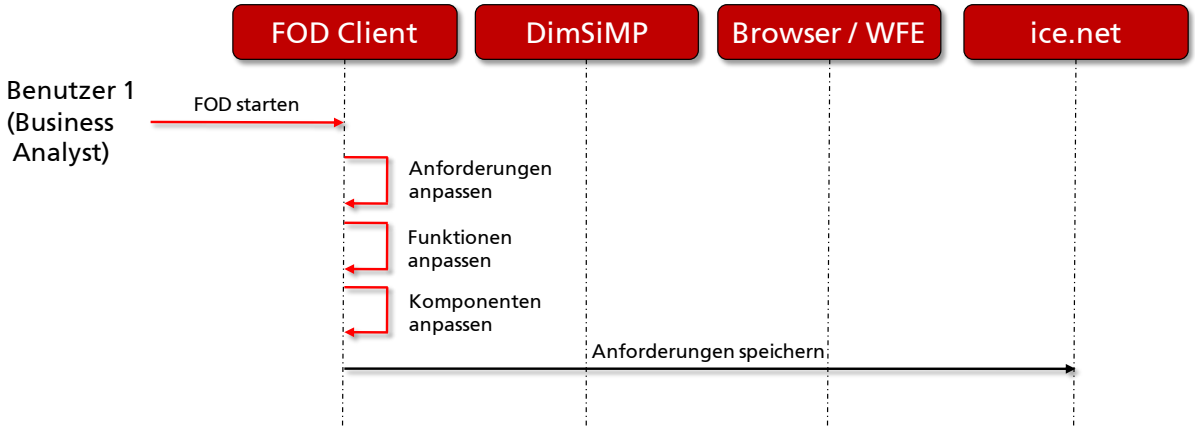


Bild 46: Evaluationsszenario Detailablauf - Teil 1

Im ersten Abschnitt des Evaluationsszenarios wurde die Software FOD eingesetzt, um die neuen Anforderungen und Funktionen der iBox Premium strukturiert zu erfassen und damit gleichzeitig die Grundlage für ein späteres Testen (Produktabsicherung) zu legen (Bild 46 / Bild 47).

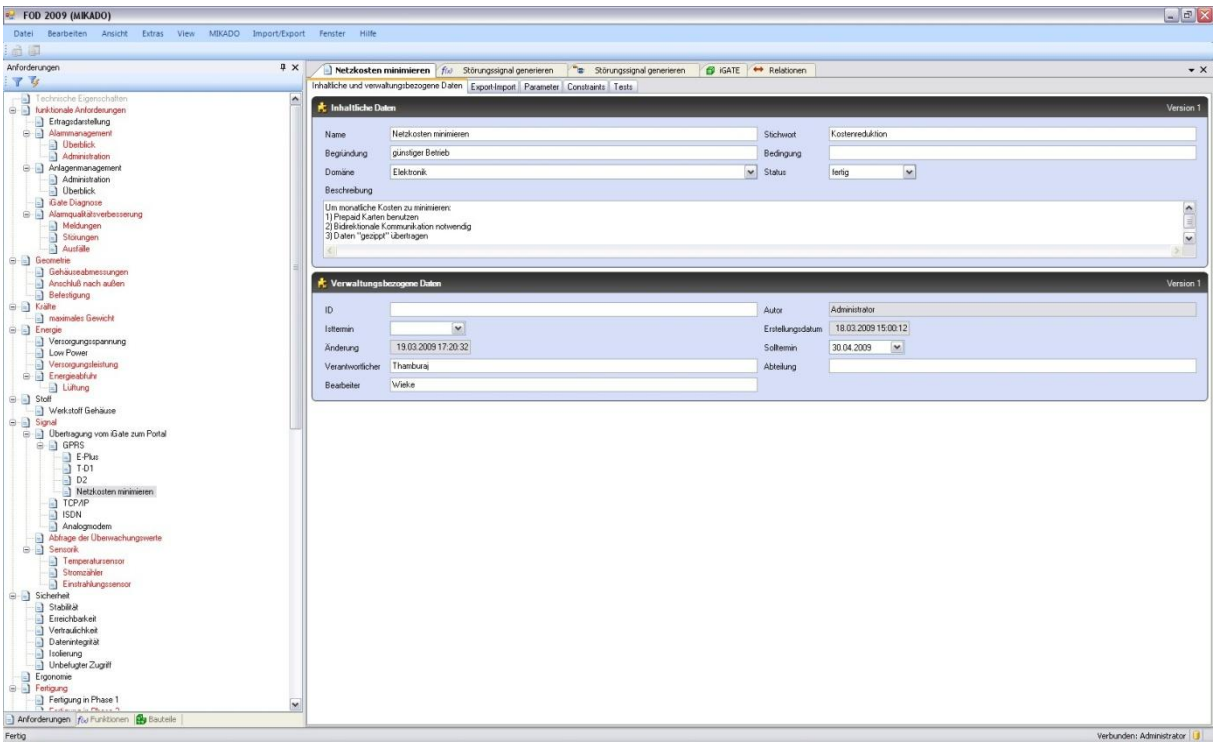


Bild 47: Anforderungsmodellierung für die iBox Premium

Dabei wurden die alten Anforderungen an die iBox angepasst und um neue Anforderungen, die für die Weiterentwicklung zur iBox Premium identifiziert wurden, ergänzt.

Die Anforderungen wurden strukturiert in einer Baumstruktur abgelegt und Domänen zugeordnet (Bild 47).

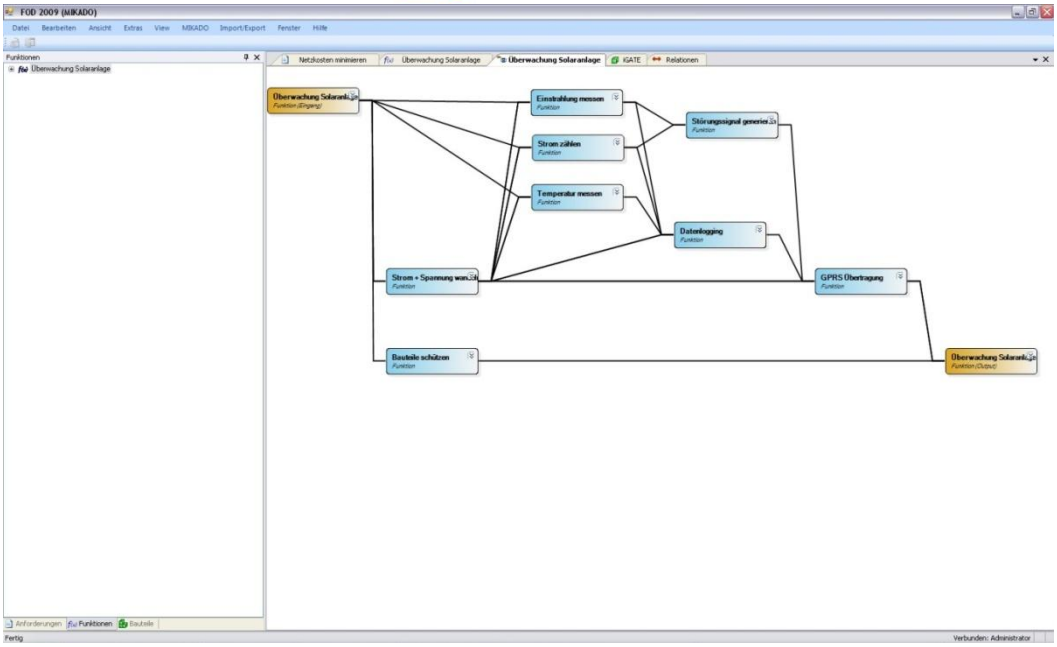
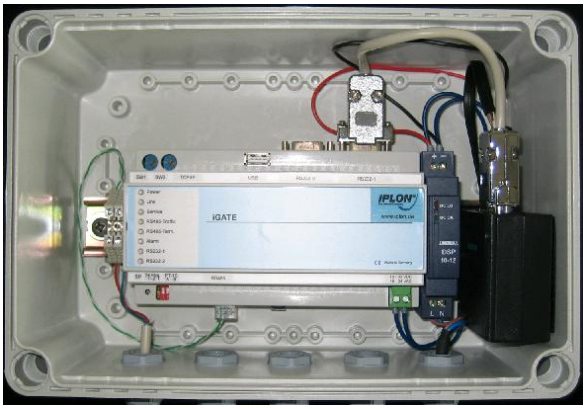


Bild 48: Funktionsmodellierung für die iBox Premium

Im zweiten Schritt wurden die alten Funktionstrukturen der iBox entsprechend den Anforderungen an die neue iBox Premium angepasst (Bild 48). Bild 49 zeigt die iBox links und einen ersten Prototypen der iBox Premium rechts, der im Rahmen einer Proof of Concept Studie entstanden ist. Dabei ist deutlich zu sehen, dass eine Reihe neuer Komponenten verbaut werden musste, um die neuen Funktionalitäten erbringen zu können.



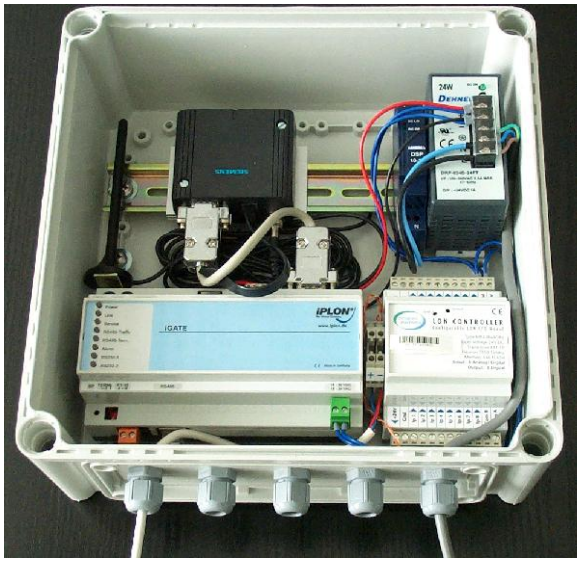


Bild 49: iBox (links) und iBox Premium Prototyp (rechts)

Schließlich wurden die in FOD modellierten Anforderungen, Funktionen und Komponentenstrukturen in der MIKADO Kollaborationsplattform abgespeichert.

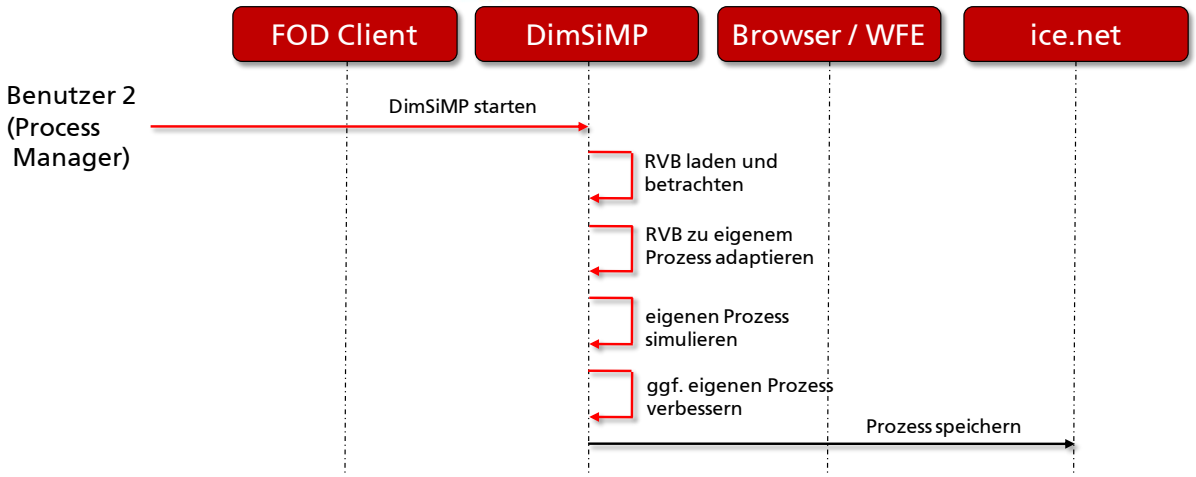


Bild 50: Evaluationsszenario Detailablauf - Teil 2

Der Ablauf des zweiten Abschnitts des Evaluationsszenarios ("Entwicklungsprozess planen") ist in Bild 50. dargestellt. Die Zielstellung war es dabei, festzulegen, welche Entwicklungsschritte im Rahmen des Entwicklungsprozesses durchgeführt werden sollten, um eine möglichst reibungslose Zusammenarbeit zwischen den Entwicklern gewährleisten zu können. Dazu wurde zunächst der im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO entwickelte Referenzvorgehensbaustein 4 "Systemspezifikation – Lösungen spezifizieren" betrachtet und an die Gegebenheiten der Firma iPLON angepasst. Der RVB ist in Bild 51 dargestellt.

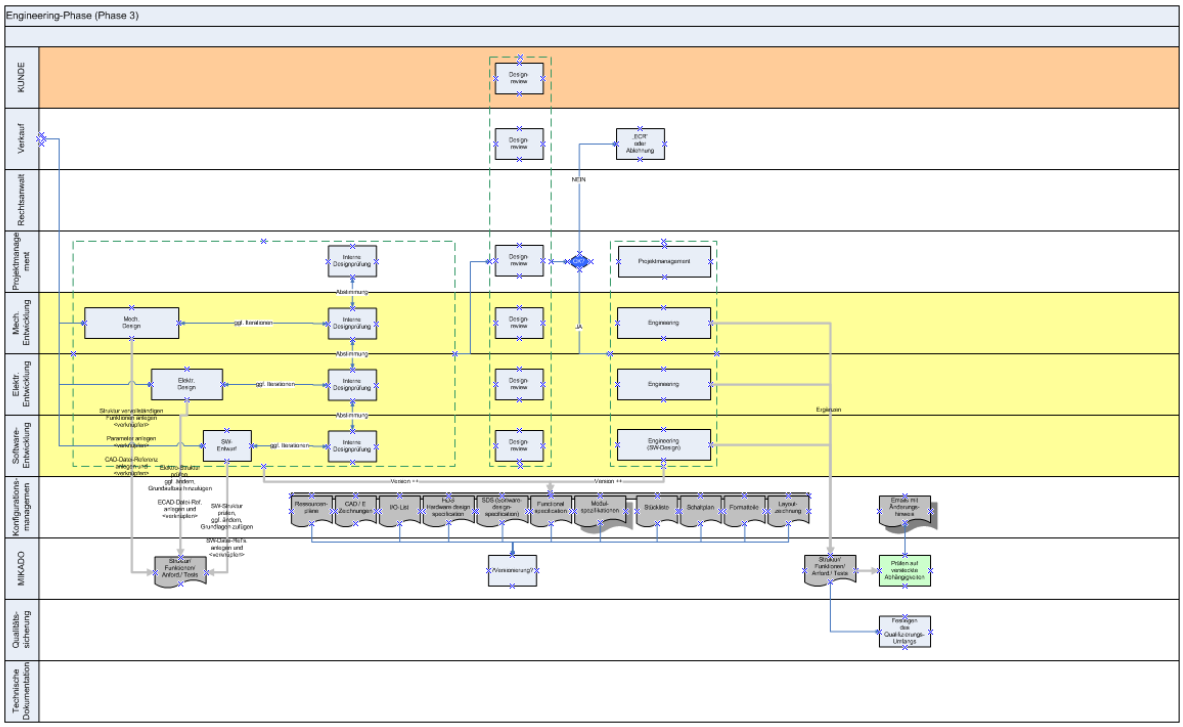


Bild 51: Referenzvorgehensbaustein "Systemspezifikation – Lösungen spezifizieren"

Das folgende Bild zeigt den Referenzvorgehensbaustein nach seiner Anpassung für iPLON in DimSiMP.

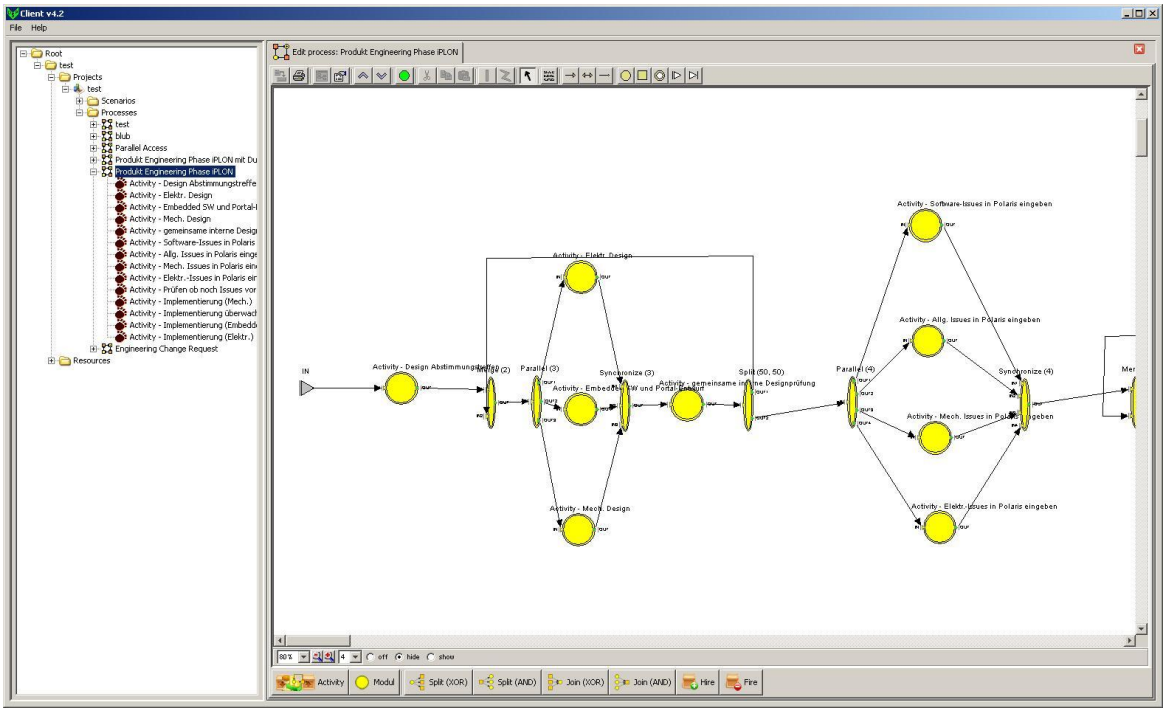


Bild 52: Vorgehensweise Systemspezifikation iBox Premium in DimSiMP

Die anschließend durchgeführte Simulation hat keine offensichtlichen Verbesserungspotentiale offenlegen können. Es wurde dabei allerdings deutlich, dass die Wahrscheinlichkeit für Iterationen, wie sie durch die iPLON-Mitarbeiter bei der Modellierung geschätzt wurde, zu deutlichen Verlängerungen der Prozessdauer führen könnte. Es wurden jedoch zunächst keine Änderungen aus dieser Vermutung abgeleitet, sondern der Prozess in der MIKADO Kollaborationsplattform abgelegt, damit er anschließend für die Workflow-Engine zur Verfügung gestellt werden konnte.

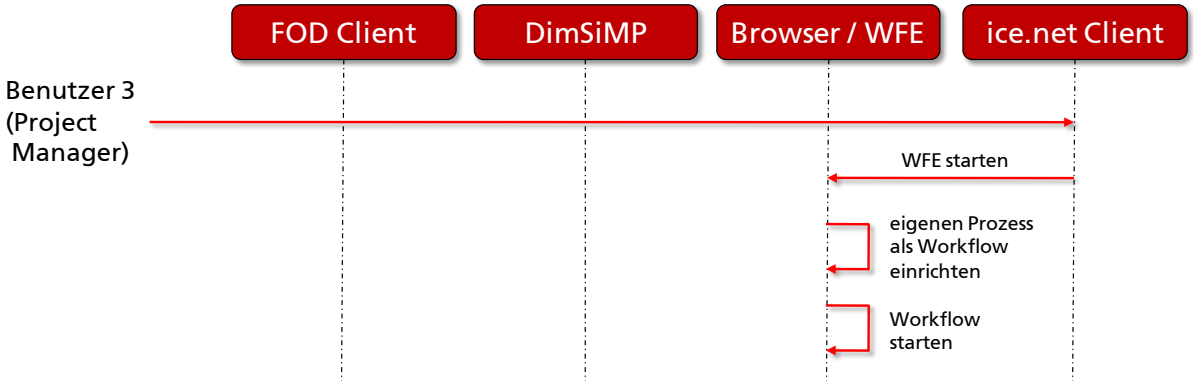


Bild 53: Evaluationsszenario Detailablauf - Teil 3

Der Ablauf des dritten Abschnitts des Evaluationsszenarios ("Steuerung des Entwicklungsprozess vorbereiten") ist in Bild 53 dargestellt. Da der zuvor in DimSiMP modellierte Entwicklungsprozess in der MIKADO-Kollaborationsplattform abgelegt wurde, konnte er über den ice.net Client, ein Browserplugin für jeden beliebigen Internetbrowser, aus einer Liste vorhandener, zuvor gespeicherter Prozesse ausgewählt und von dort aus direkt an die Workflow-Engine weitergeleitet werden. Der ice.net Client (auch PDM-Browser genannt) startet dann direkt einen Fenster in einem installierten Internetbrowser und zeigt die Maske für den Import eines Prozesses an. Bild 54 zeigt die Darstellung des importierten Prozesses.

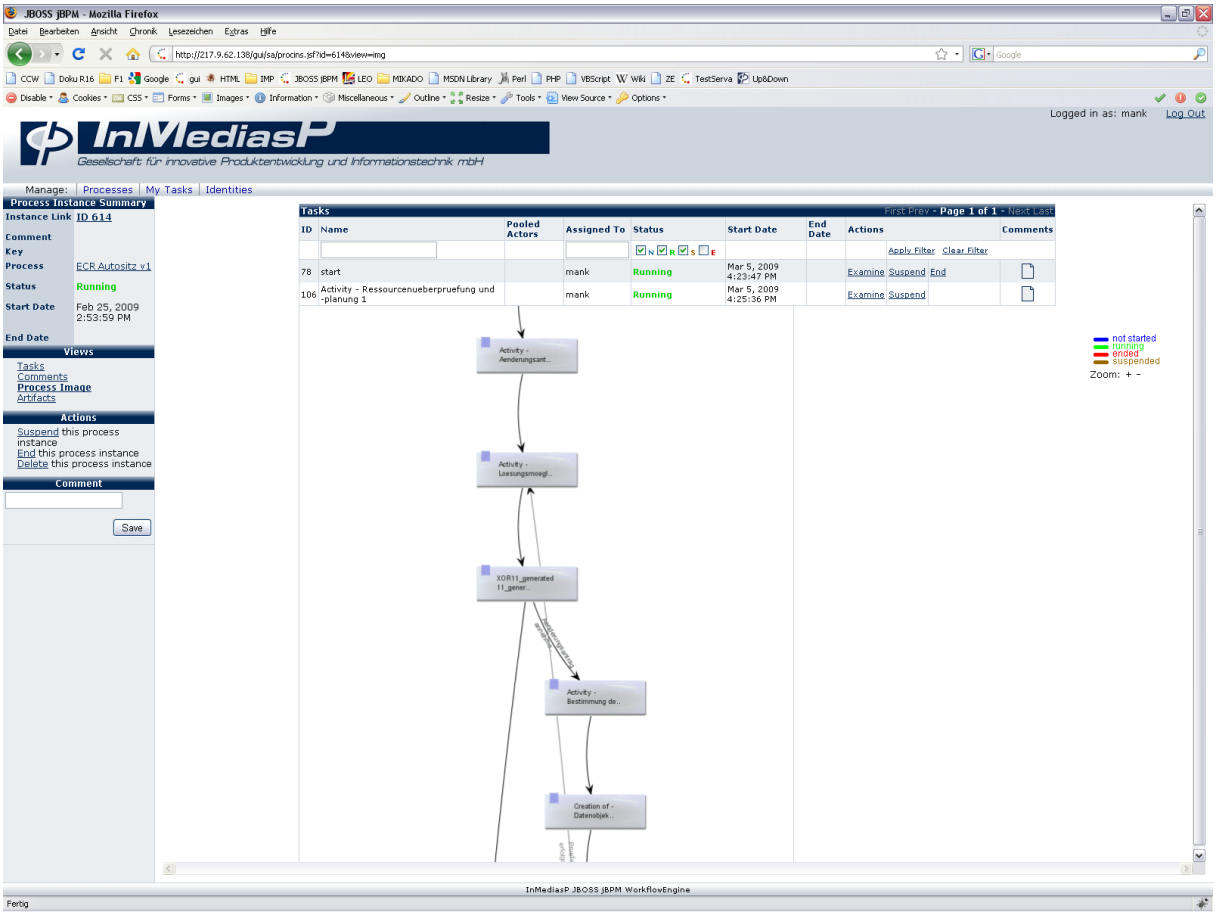


Bild 54: Importierter Prozess in Workflow-Engine

Bevor der Prozess durch die Workflow-Engine gesteuert werden konnten, mussten allen Aktivitäten im Prozess konkrete Mitarbeiter der Firma iPLON zugeordnet werden. Diese konnten in der Workflow-Engine aus einer Liste aller in der MIKADO Kollaborationsplattform angemeldeten Mitarbeiter der Firma iPLON ausgesucht werden.

Anschließend wurden alle Dokumente, die vor dem Start des Prozesses vorliegen müssen, wie z.B. die in FOD modellierten Anforderungen, Funktionen und Komponenten mit zuvor gespeicherten Dokumenten in der MIKADO Kollaborationsplattform verknüpft werden. So konnte die Workflow-Engine an alle Aufgabenbeschreibungen,

in denen diese Dokumente von den Produktentwicklern benötigt werden, direkt Links zu den Dokumenten beifügen, die es den Produktentwicklern erlaubten nach Bedarf und ortsunabhängig auf diese zuzugreifen.

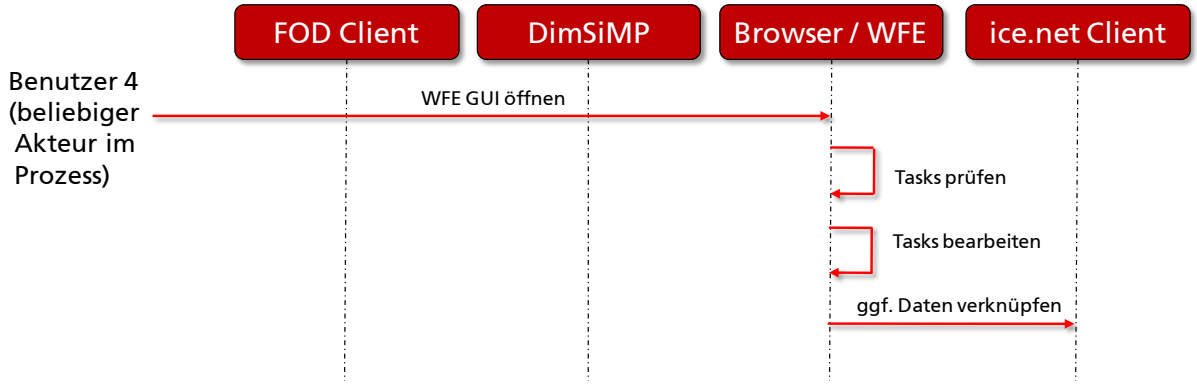


Bild 55: Evaluationsszenario Detailablauf - Teil 4

Der Ablauf des vierten Abschnitts des Evaluationsszenarios ("Entwicklungsprozess durchführen") ist in Bild 55 dargestellt. Im Rahmen der Evaluation konnte allerdings kein vollständiger Entwicklungsprozess für die iBox Premium durchgeführt werden. Vielmehr wurde der Umgang mit der Workflow-Engine, wie diese Aufgaben verteilt und so als Steuereinheit des Prozesses genutzt werden kann durch die Mitarbeiter der Firma iPLON exemplarisch erprobt und erlernt. Dabei wurden auch Aufgaben durch die Workflow-Engine erteilt, in denen der Akteur im Prozess einen Zwischenstand des Produktdesigns mit den bereits vorher abgeglichenen Anforderungen und Produktfunktionen abgleichen sollte. Dabei kann über einen Link, welcher der Aufgabe beigefügt ist, den Client der MIKADO Kollaborationsplattform und von dort aus FOD starten, um die Anforderungen und Funktionen gegenprüfen zu können. Anstatt also selbst erst nach den Daten suchen und den FOD Client manuell über das Betriebssystem starten zu müssen, sind sowohl die Daten als auch der Startbefehl für den FOD Client direkt über die Workflow-Engine und die MIKADO Kollaborationsplattform verknüpft und auf diese Art und Weise integriert.

Im Verlauf des Prozesses hält die Workflow-Engine im Hintergrund Informationen darüber fest, wie lange die Bearbeitung einzelner Aufgaben gedauert hat, und speichert diese nach Abschluss des Prozesses auf der MIKADO Kollaborationsplattform ab.

Der Ablauf des letzten Abschnitts des Evaluationsszenarios ("Prozessverlauf auswerten und Prozess verbessern") ist in Bild 56 dargestellt. Die während der Durchführung des Prozesses gespeicherten Informationen über die Dauer aller Aktivitäten können nun durch DimSiMP aus der Kollaborationsplattform abgerufen werden. Sie werden dann von der Software automatisch mit den bei der Modellierung (die in Abschnitt 1 stattgefunden hat) gemachten, geschätzten Angaben zur Dauer der Aktivitäten verrechnet, wobei Algorithmen der Zeitreihenanalyse eingesetzt werden. So ver-

ändert sich das Prozessmodell, welches anschließend mithilfe einer erneuten Simulation auf möglicherweise neu identifizierte Schwachstellen untersucht wird. Dabei ergaben sich bei der Firma iPLON allerdings keine neuen Erkenntnisse gegenüber der Simulation, die vor der Durchführung des Prozesses durchgeführt wurde. Deshalb wurde auch keine neue Version des Prozesses erstellt.

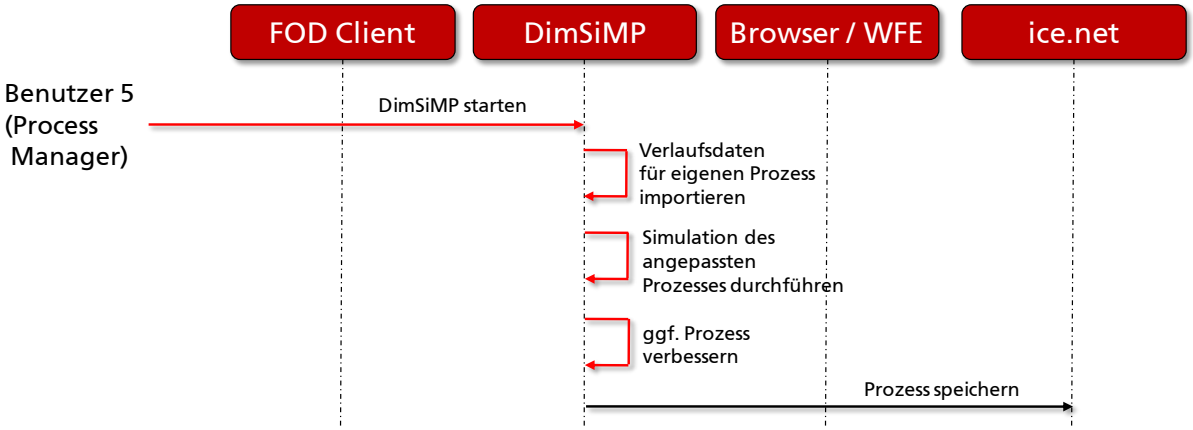


Bild 56: Evaluationsszenario Detailablauf - Teil 5

Der Ablauf des letzten Abschnitts des Evaluationsszenarios ("Prozessverlauf auswerten und Prozess verbessern") ist in Bild 56 dargestellt. Die während der Durchführung des Prozesses gespeicherten Informationen über die Dauer aller Aktivitäten können nun durch DimSiMP aus der Kollaborationsplattform abgerufen werden. Sie werden dann von der Software automatisch mit den bei der Modellierung (die in Abschnitt 1 stattgefunden hat) gemachten, geschätzten Angaben zur Dauer der Aktivitäten verrechnet, wobei Algorithmen der Zeitreihenanalyse eingesetzt werden. So verändert sich das Prozessmodell, welches anschließend mithilfe einer erneuten Simulation auf möglicherweise neu identifizierte Schwachstellen untersucht wird. Dabei ergaben sich bei der Firma iPLON allerdings keine neuen Erkenntnisse gegenüber der Simulation, die vor der Durchführung des Prozesses durchgeführt wurde. Deshalb wurde auch keine neue Version des Prozesses erstellt.

Das gesamte Szenario wurde in Zusammenarbeit von IWF und der Firma iPLON ausgearbeitet und im Rahmen einer Evaluation in vier Einzelterminen umgesetzt:

1. Im ersten Schritt wurden die notwendigen Softwareanwendungen, die eine Installation erfordern (FOD Client und DimSiMP), durch Mitarbeiter des IWF bei der Firma iPLON installiert und die Mitarbeiter im Umgang mit diesen Softwareanwendungen geschult. Vor dem zweiten Schritt der Evaluation sollten die Mitarbeiter der Firma iPLON einige Wochen Zeit haben, um den Umgang mit den Werkzeugen zu lernen.

2. Im zweiten Schritt wurden die beiden ersten Abschnitte des geplanten Ablaufs ("Anforderungen detailliert modellieren" und "Entwicklungsprozess planen") gemeinsam durchgeführt und diskutiert.
3. Im dritten Schritt wurden die Abschnitte 3 und 4 ("Steuerung des Entwicklungsprozess vorbereiten" und "Entwicklungsprozess durchführen") gemeinsam durchgespielt und die Firma iPLON wurde aufgefordert den letzten Abschnitt ("Prozessverlauf auswerten und Prozess verbessern") in Eigenregie durchzuführen.
4. Im letzten Schritt wurden die Mitarbeiter der Firma iPLON aufgefordert im Rahmen einer Befragung ihre Erfahrungen im Umgang mit den Werkzeugen in Form von Bewertungen abzugeben. Die Bewertungskriterien und die Ergebnisse werden in Kapitel 4 genauer beschrieben.

3.5.3 Sitzentwicklung

Im Szenario Sitzentwicklung, das in Zusammenarbeit mit dem Anwender INTEC konzipiert und durchgeführt wurde, liegt der Integrationsschwerpunkt in konstruktionsnahen Aufgabenbereichen (siehe auch Kapitel 2.3). In diesem Szenario steht die Integration des „Function Oriented Design“-Modellers (FOD; siehe auch Kapitel 5.3.2.) und der automatisierten Funktionsprüfung (engl. Functional Mock-Up; FMU) im Vordergrund.

Um die Integration des FOD mit dem FMU Evaluationsszenario Detailablauf - Teil 1 zu erreichen, wurde ein flexibles, generisches Datenmodell in der Kooperationsplattform entwickelt, das in der Lage ist verschiedenste Arten von Funktionsprüfungen abzubilden, so dass die im Anwendungsszenario geforderte gemeinsame Datenbasis gegeben ist. Das Datenmodell setzt sich aus drei Objekten zusammen: Prüftemplates, Prüfobjekten und Prüfvorgängen. Für die im FMU-Modul definierten automatischen Prüfungen werden in der Kooperationsplattform an fest definierter Stelle Prüftemplates bereitgestellt, die beschreiben welche Parametertypen für die jeweilige Prüfung benötigt werden. Möchte der Anwender im FOD eine Prüfung definieren, werden die Prüftemplates aus der Kooperationsplattform ausgelesen, so dass der Anwender aus dieser Liste das für seine Aufgabe passende Template auswählen kann. Dadurch ist es von Seiten des FMU möglich ohne weitere Änderungen an den beteiligten Programmen neue Prüfungen einzustellen. Im FOD wird dann dieses Prüftemplate instanziiert und mit Referenzen auf die zu verwendenden Parameter befüllt. Diese Instanz stellt dann ein Prüfobjekt dar und wird in der Kooperationsplattform abgelegt (Bild 57).

Zu einem späteren Zeitpunkt kann dieses Prüfobjekt entweder direkt aus dem FOD oder dem PDM-Browser der Kooperationsplattform über einen WebService gestartet werden. Dazu wird das Prüfobjekt dem FMU-Modul übergeben, das daraufhin die im Prüfobjekt referenzierten Parameter in ihre aktuellen Werte auflöst und diese in ei-

nem Prüfvorgangs-Objekt speichert. Durch diese Abstraktionsschicht ist es möglich ein Prüfobjekt für eine bestimmte Parameterkonfiguration zu erstellen und im Laufe der fortschreitenden Entwicklungstätigkeit immer wieder dasselbe Prüfobjekt zur Prüfungsdurchführung zu verwenden, da erst beim Start der Prüfung die Referenzen auf die Objekte aufgelöst werden und somit immer auf die zu diesem Zeitpunkt aktuelle Version der referenzeierten Parameter verwiesen wird. Dadurch wird die Durchführung von Regressionstests wesentlich vereinfacht, da nun die vordefinierten Tests von beliebigen Personen zu beliebiger Zeit in beliebiger Frequenz durchführbar sind.

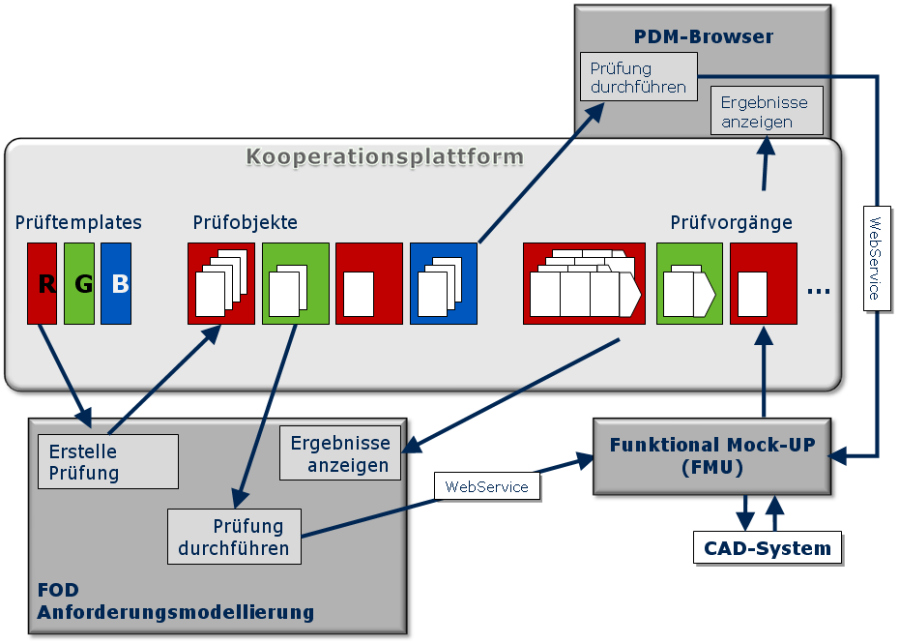


Bild 57: Datenmodell der Prüfungen

Zu einem späteren Zeitpunkt kann dieses Prüfobjekt entweder direkt aus dem FOD oder dem PDM-Browser der Kooperationsplattform über einen WebService gestartet werden. Dazu wird das Prüfobjekt dem FMU-Modul übergeben, das daraufhin die im Prüfobjekt referenzierten Parameter in ihre aktuellen Werte auflöst und diese in einem Prüfvorgangs-Objekt speichert. Durch diese Abstraktionsschicht ist es möglich ein Prüfobjekt für eine bestimmte Parameterkonfiguration zu erstellen und im Laufe der fortschreitenden Entwicklungstätigkeit immer wieder dasselbe Prüfobjekt zur Prüfungsdurchführung zu verwenden, da erst beim Start der Prüfung die Referenzen auf die Objekte aufgelöst werden und somit immer auf die zu diesem Zeitpunkt aktuelle Version der referenzeierten Parameter verwiesen wird. Dadurch wird die Durchführung von Regressionstests wesentlich vereinfacht, da nun die vordefinierten Tests von beliebigen Personen zu beliebiger Zeit in beliebiger Frequenz durchführbar sind.

Die erzeugten Prüfvorgangs-Objekte werden nach Beendigung der Prüfung ebenfalls in der Kooperationsplattform abgelegt, so dass die Ergebnisse wieder allen Anwendungen zur Verfügung stehen.

Durch die Trennung der Prüfungsdefinition von der Prüfungsausführung und die Anbindung des FMU-Dienstes über WebServices wird ermöglicht, das die Anwendungen auf verschiedenen Rechnern ausgeführt werden können.

Dieser Umstand ist unter mehreren Gesichtspunkten interessant. So ist es zum einen möglich teure Spezial-Software entweder zentral im eigenen Unternehmen zu betreiben oder von externen Dienstleistern einzukaufen und so die nötigen Lizenzkosten zu senken. Andererseits vereinfacht sich dadurch die Administration der Rechnersysteme, da Anwendungen die leistungsstarke Rechnersysteme erfordern zentral betrieben und verwaltet werden können.

Desweiteren werden auch die Daten der Anforderungsnetze, die im FOD-Modeller erstellt werden, in der Kooperationsplattform gespeichert und stehen dadurch anderen Anwendungen zur Verfügung. Dadurch wird es Anwendern ermöglicht, mit unterschiedlichen Anwendungen auf der selben Datenbasis zu operieren, ohne dass alle Beteiligten sich auf eine einheitliche Softwareinfrastruktur einigen müssen – ein Umstand der gerade bei unternehmensübergreifender Kooperation von großer Bedeutung ist. Anhand einer exemplarischen Anbindung eines kommerziellen Anforderungstools wurde weiterhin gezeigt, dass es möglich ist, Software von Dritten an die Kooperationsplattform anzubinden und so auch bereits im Unternehmen vorhandene Softwareprodukte weiter nutzen zu können.

Zusätzlich zu der Integration des FOD, des FMU und der Kooperationsplattform wurden diese Komponenten auch in die im Projekt entwickelten Workflow-Engine integriert. So ist es möglich in den Workflow-Prozessen neben den zu bearbeitenden Dokumenten auch automatisiert Referenzen auf die zu verendenden Software zu integrieren, so dass die benötigten Anwendungen direkt aus der Workflow-Engine aufgerufen werden können.

Dazu werden die Prozessbeschreibungen nach Programmnamen durchsucht und für registrierte Programme automatisch die notwendigen Verknüpfungen eingefügt.

Die Integration in die Workflow-Engine wird den Anforderungen des Anwendungsszenarios nach einem Monitoring der Prozesse und einer verbesserten interdisziplinären Kommunikation gerecht.

3.5.4 Integration der Systemlandschaft

Die Integration der Anwendungslandschaft durch die MIKADO Kollaborationsplattform wird mithilfe zweier zentraler Ansätze realisiert. Die Kollaborationsplattform übernimmt dabei die Rolle einer zentralen Anlaufstelle für alle integrierten Anwendungen:

- für den Datenaustausch und die Datenspeicherung und

- für die Bereitstellung von softwaretechnischen Funktionalitäten.

Datenaustausch und Datenspeicherung

Grundlage für den Datenaustausch und die Datenspeicherung bildet ein generisches, wiederverwendbares Datenmodell für die mechatronische Produktentwicklung, welches im Rahmen des Verbundprojektes MIKADO entwickelt wurde. Das Datenmodell beschreibt typische Datenarten, die im Rahmen der mechatronischen Produktentwicklung von Relevanz sind, und bildet somit eine Grundlage für den Austausch und die Speicherung solcher Daten durch beliebige Softwarewerkzeuge, die Daten dieser Art verarbeiten. Im Kapitel 3.2.3 wird das Datenmodell im Detail beschrieben.

Falls neue Typen von Anwendungen an die Kollaborationsplattform angebunden werden sollen, die nicht aus der spezifischen Domäne der mechatronischen Produktentwicklung stammen, wie bspw. ein Enterprise Ressource Planning (ERP) System, und diese Anwendungen Daten über die Kollaborationsplattform austauschen oder dort speichern sollen, die nicht ausreichend durch das MIKADO Datenmodell beschrieben werden können, so kann das Datenmodell auf einfachem Wege erweitert und/oder angepasst werden.

Die Kooperationsplattform beinhaltet ein generisches Datenmodellierungswerkzeug, das es ermöglicht, Datenmodelle für alle an die Kooperationsplattform angeschlossenen Applikationen zu erstellen. Unter anderem stellt es dabei auch Methoden zur Erzeugung hierarchischer Datenmodelle zur Verfügung. Die erzeugten Datenmodelle verfügen über einen Versionierungsmechanismus und es steht ein Sichtenkonzept zur Verfügung, das es unterschiedlichen Anwendungen erlaubt, eigene Benennungen in einem zentralen Datenmodell unterzubringen ohne die darunterliegenden Datenstrukturen ändern zu müssen. Jedem Objekt in der Kooperationsplattform können beliebig viele Kontext-Objekte zugeordnet werden, die eine jeweilige Sicht auf das Objekt repräsentieren. Je nach gewähltem Kontext werden dann nur die entsprechenden Objekte mit der Kontext-spezifischen Benamung angezeigt. Zusätzlich können die Anwendungen weitere Kontext-Objekte hinzufügen, die es erlauben die relevanten Informationen disziplinübergreifend zu gruppieren und zu verwalten. Auf diese Weise wird ein Höchstmaß an Flexibilität erreicht ohne dass Mitarbeiter aus den einzelnen Disziplinen der mechatronischen Produktentwicklung sich auf gemeinsame Benennungen oder Strukturen einigen müssen und auf diesem Wege wurden auch die Ausprägungen der einzelnen mechatronischen Teildisziplinen realisiert.

Der Austausch und die Speicherung von Daten über die Kollaborationsplattform können auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen:

- mithilfe einer Softwareschnittstelle der Kollaborationsplattform oder
- mithilfe eines dafür vorgesehenen Clients, dem sogenannten PDM-Browser.

Um den Zugriff auf die Softwareschnittstellen zu realisieren, müssen die zu integrierenden Anwendungen selbst angepasst werden. Während eine solche Anpassung mit hohem Aufwand verbunden sein kann, birgt sie den großen Vorteil, dass Integration für die Akteure im Produktentwicklungsprozess vollständig unsichtbar ist. Die Entwickler müssen nicht erst den Umgang mit einer neuen Benutzerschnittstelle lernen, anstatt dessen erhält das integrierte Softwarewerkzeug üblicherweise nur ein paar neue Knöpfe oder neue Optionen in einem Menü, über die dann das Aus- oder Einlesen von Daten aus der Kollaborationsplattform angestoßen werden kann. So kann der Schulungsaufwand verringert und die Akzeptanz durch die Benutzer gesteigert werden. Die Anwendung DimSiMP wurde auf diese Art und Weise an die Kollaborationsplattform angebunden.

Der PDM-Browser ist eine vereinfachte Variante des MIKADO-Clients und kann im Vergleich zu dem MIKADO-Client, der eine Installation erfordert, direkt über den sogenannten Java WebStart Mechanismus von Internetbrowsern aus gestartet werden. Dies bietet den Vorteil, dass er mit sehr geringem Aufwand an existierende, insbesondere webbasierte, Anwendungen angebunden werden kann. Die Integration von Anwendungen über eine gemeinsame Anlaufstelle zum Datenaustausch und zur Datenspeicherung hat den großen Vorteil, dass jede Anwendung nur genau eine externe Schnittstelle benötigt, um mit allen anderen Anwendungen verbunden zu werden, nämlich die Schnittstelle zu der Kollaborationsplattform. Indem eine Anwendung ihre Daten auf der Kollaborationsplattform speichert oder dort eine Kopie ihrer Daten ablegt, sind diese Daten, unter gegebenen Nutzungsrechten, durch andere Anwendungen erreich- und nutzbar.

Zentrale Bereitstellung von Softwarefunktionen

Das Problem bei der Integration durch eine zentrale Datenaustausch-/speicherstelle ist, dass die auf diesem Weg integrierten Anwendungen zwar untereinander auf ihre Arbeitsergebnisse zugreifen, jedoch nicht aktiv Funktionen der anderen Anwendungen ansteuern können. Die Integration über Daten ist ein rein passiver Ansatz und erfordert den Eingriff menschlicher Benutzer, die die Anwendungen in einer bestimmten Reihenfolge starten müssen, um sicherzustellen, dass die für bestimmte Anwendungen notwendigen Daten aus einer Fremdanwendung zuvor auch tatsächlich erstellt und zentral abgespeichert wurden. Dieses Problem löst der Ansatz für die zentrale Bereitstellung von Softwarefunktionen. Dabei werden die Funktionalitäten der Einzelkomponenten als sogenannte WebServices über der Kooperationsplattform verwaltet und können so über klar definierte Schnittstellen von anderen Anwendungen aktiv angesteuert werden.

Ein WebService ist eine Programmierschnittstelle einer Softwareanwendung in einem standardisierten Format, welches eine systemunabhängige (also programmiersprachen- und betriebssystemunabhängige) Beschreibung der bereitgestellten Funktiona-

lität und ihren Aufruf durch andere Anwendungen ermöglicht. Das Vorgehen bei der Verwendung von WebServices gestaltet sich wie folgt:

Ein WebService Anbieter registriert seine Anwendung, indem er eine Beschreibung des Dienstes bei einem Servicebroker hinterlegt. Die Beschreibung des WebServices erfolgt unter Verwendung der WSDL (WebService Description Language).

Die Client-Software stellt eine Suchanfrage an den Servicebroker, bekommt die Adresse des entsprechenden Dienstes geliefert und kann darüber in direkte Kommunikation mit dem Dienst treten. In Bild 58 ist dieses Vorgehen grafisch dargestellt.

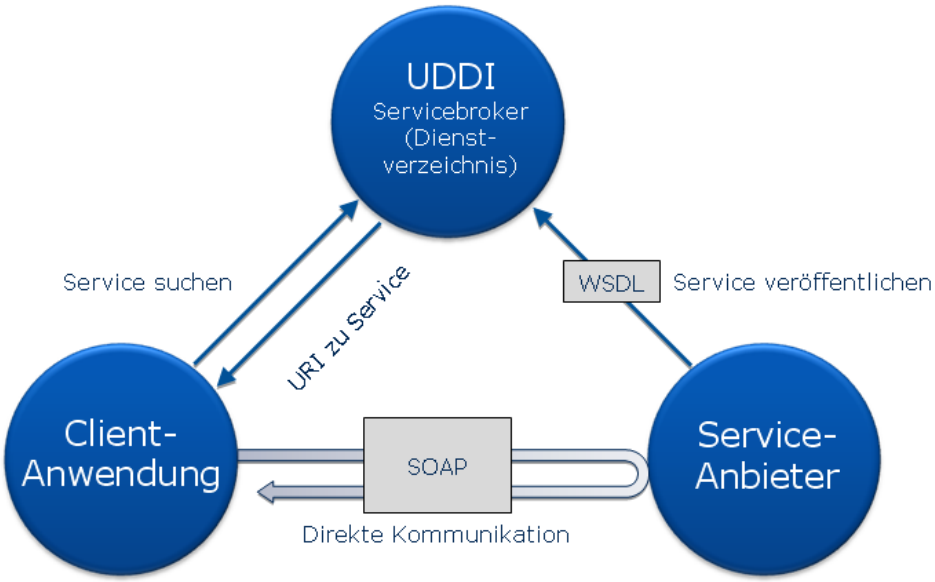


Bild 58: Service-Broker Architektur

Die MIKADO-Kooperationsplattform übernimmt in MIKADO die Aufgabe des zentralen Servicebrokers. Dort können neue Services registriert werden, die dann allen anderen angeschlossenen Anwendungen zur Verfügung stehen. Weiterhin sind auch alle Dienste der Kooperationsplattform selbst über WebServices erreichbar. Für die Anwendungen FOD, FMU und die Workflow-Engine wurden WebService-Schnittstellen entwickelt und bei der MIKADO Kollaborationsplattform registriert.

Der Vorteil dieser Integration durch eine WebServices-Architektur liegt darin, dass die Client-Software nicht von vornherein wissen muss, wo ein entsprechender Dienst verfügbar ist, wie er heißt und wie er anzusprechen ist, sondern dass jede Anwendung nur noch den zentralen Registrierungs-Dienst kennen muss, der dann alle weiteren Informationen liefert. Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, dass die einzelnen Dienste austauschbar werden und sich beliebig im Netz verteilen können.

Vorteile des Integrationsansatzes

Durch die Verbindung der zwei Integrationsansätze 'zentrale Datenspeicherung und Datenaustausch' und 'WebServices-Architektur' entsteht ein hoch adaptives System, welches die einfache Anbindung weiterer Softwarewerkzeuge ermöglicht. Die einmalige Implementierung von WebServices-Schnittstellen für diese Werkzeuge reicht aus. Im Falle der Einbindung weiterer Anwendungen, die mit für die mechatronische Produktentwicklung untypischen Daten arbeiten, muss zusätzlich noch das Datenmodell mithilfe der mitgelieferten Werkzeuge angepasst werden.

Durch die Erweiterbarkeit des vorgestellten Ansatzes, lassen sich langfristig die Aufwände für die Integrationen neuer Softwareanwendungen stark reduzieren. Über die Kollaborationsplattform werden freigegebene Daten und Funktionalitäten einer Software sofort allen anderen auf diesem Wege integrierten Anwendungen bereitgestellt. Die Entwicklung direkter Schnittstellen zwischen einzelnen Anwendungen entfällt, wodurch auch das Austauschen einzelner Anwendungen innerhalb der Architektur leichter wird.

Besonders hervorzuheben ist außerdem die Tatsache, dass die Integration der Anwendungen eine Konsolidierung der Softwarefunktionalitäten bedeuten kann. So müssen bspw. Nutzerzugangsdaten nicht mehr in jeder einzelnen Softwareanwendung einzeln, sondern können nun einheitlich und zentral an einer Stelle verwaltet werden. So wird eine redundante Datenhaltung und damit gleichzeitig auch das Risiko inkonsistenter Daten vermieden, die Komplexität der Softwarelandschaft verringert und die Übersichtlichkeit verbessert.

Durch die flexible serviceorientierte Architektur ist es schließlich möglich, die Software sowohl vor Ort beim Anwender zu installieren als auch extern durch Application Service Provider betreiben zu lassen. Dies hat den Vorteil, dass die verwendete Software nicht beim Anwender vor Ort installiert sein muss, sondern er den Dienst nach Bedarf anfordern kann und auf diese Weise Kosten sparen kann – vor allem wenn die Software nur sporadisch eingesetzt wird oder sehr teuer ist. Davon können gerade kleine und mittlere Unternehmen profitieren. Bei der für den Funktional Mock-Up benötigten CAD-Software ist dies bspw. von Interesse. Einerseits sind die Kosten für die CAD-Software insgesamt sehr hoch und andererseits werden gerade für die Funktionsprüfung in der Regel Zusatzmodule benötigt, durch die weitere Kosten entstehen.

Zusätzlich zu den beiden Betriebsvarianten besteht die Möglichkeit nur Teilaufgaben an externe Application Service Provider auszulagern. Dies ist besonders dann von Interesse, wenn unternehmenskritische Daten wie Beispielsweise CAD-Daten nicht außer Haus transportiert werden dürfen.

Durch die unterschiedlichen Integrationsarten kann auf die vielfältigen Anforderungen der Anwender optimal reagiert werden und eine maßgeschneiderte Lösung realisiert werden.

4 Evaluation

Die Evaluation der entwickelten Softwareprototypen wurde im MIKADO-Verbundprojekt basierend auf der internationalen Norm DIN EN ISO 9241-110 durchgeführt [19]. In diesem Teil der DIN EN ISO 9241 werden Grundsätze der Dialoggestaltung dargestellt, die bei der Analyse, Gestaltung und Bewertung von Software angewendet werden sollten. Sie basieren auf Erfahrungen mit Nutzungsproblemen, wie beispielsweise der Ausgabe von irreführenden Informationen oder von unerwarteten Antworten des interaktiven Systems.

Ein Dialog wird dabei in der DIN EN ISO 9241-110 als die „Interaktion zwischen einem Benutzer und einem interaktiven System als Folge von Handlungen des Benutzers (Eingaben) und Antworten des interaktiven Systems (Ausgaben), um ein Ziel zu erreichen“ definiert.

Die Norm ist an den Belangen des Benutzers der Software ausgerichtet und unterscheidet 7 sogenannte Gestaltungsgrundsätze einer Software, die dafür relevant sind:

- Aufgabenangemessenheit
- Selbstbeschreibungsfähigkeit
- Erwartungskonformität
- Lernförderlichkeit
- Steuerbarkeit
- Fehlertoleranz
- Individualisierbarkeit

Dabei sind die Ausführungen der DIN EN ISO 9241-110 als Empfehlungen und nicht als Leitlinie zu sehen, die mit Blick auf ihre Anwendbarkeit im jeweiligen Nutzungskontext zu bewerten sind. Im Folgenden werden die einzelnen Grundsätze näher beschrieben:

Aufgabenangemessenheit:

Ein interaktives System ist aufgabenangemessen, wenn es den Benutzer unterstützt, seine Arbeitsaufgabe zu erledigen, d.h., wenn Funktionalität und Dialog auf den charakteristischen Eigenschaften der Arbeitsaufgabe basieren, anstatt auf der zur Aufgabenerledigung eingesetzten Technologie.

Selbstbeschreibungsfähigkeit:

Ein Dialog ist in dem Maße selbstbeschreibungsfähig, in dem für den Benutzer zu jeder Zeit offensichtlich ist, in welchem Dialog, an welcher Stelle im Dialog er sich befindet, welche Handlungen unternommen werden können und wie diese ausgeführt werden können.

Erwartungskonformität:

Ein Dialog ist erwartungskonform, wenn er den aus dem Nutzungskontext heraus vorhersehbaren Benutzerbelangen sowie allgemein anerkannten Konventionen entspricht.

Lernförderlichkeit:

Ein Dialog ist lernförderlich, wenn er den Benutzer beim Erlernen der Nutzung des interaktiven Systems unterstützt und anleitet.

Steuerbarkeit:

Ein Dialog ist steuerbar, wenn der Benutzer in der Lage ist, den Dialogablauf zu starten sowie seine Richtung und Geschwindigkeit zu beeinflussen, bis das Ziel erreicht ist.

Fehlertoleranz:

Ein Dialog ist fehlertolerant, wenn das beabsichtigte Arbeitsergebnis trotz erkennbar fehlerhafter Eingaben entweder mit keinem oder mit minimalem Korrekturaufwand seitens des Benutzers erreicht werden kann. Fehlertoleranz wird mit den Mitteln Fehlererkennung und -vermeidung (Schadensbegrenzung), Fehlerkorrektur oder Fehlermanagement erreicht.

Individualisierbarkeit:

Ein Dialog ist individualisierbar, wenn Benutzer die Mensch-System-Interaktion und die Darstellung von Informationen ändern können, um diese an ihre individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse anzupassen.

4.1 Fragebogen

In Anlehnung an die in Kapitel 4 vorgestellte Norm DIN EN ISO 9241-110 und basierend auf den genannten Gestaltungsgrundsätzen wurde von Prümper und Anft [20] der Fragebogen ISONORM 9241/10 ausgearbeitet. Dabei wird die Ausprägung jedes Grundsatzes mit fünf Einzelfragen hinterfragt und für die Bewertung ein siebenstufiges Bewertungsschema verwendet. Da die Fragen leicht verständlich sind, kann der Fragebogen ohne vorbereitende Schulung direkt vom Anwender der Software eingesetzt werden.

Die ausgewerteten Ergebnisse werden mit dem ebenfalls vom Anwender beurteilten Soll-Zustand verglichen und somit erste Hinweise auf ergonomische Schwachstellen abgeleitet werden.

Zur Evaluation der Software im MIKADO-Projekt wurde der ISONORM-Fragebogen in einer leicht gekürzten Version angewendet (Bild 59). Die Anzahl der Einzelfragen wurde, mit Rücksicht auf die Gesamtzahl der Fragen, von fünf auf drei reduziert, da der Fragebogen für jedes entwickelte Tool einzeln beantwortet werden muss. Darüber hinaus erfolgte die Streichung der Fragen zum Grundsatz „Individualisierbarkeit“, da es sich bei den zu bewertenden Tools um Prototypen handelte, die zum Zeitpunkt der Evaluation nur in sehr beschränken Maße vom Anwender anpassbar gewesen sind.

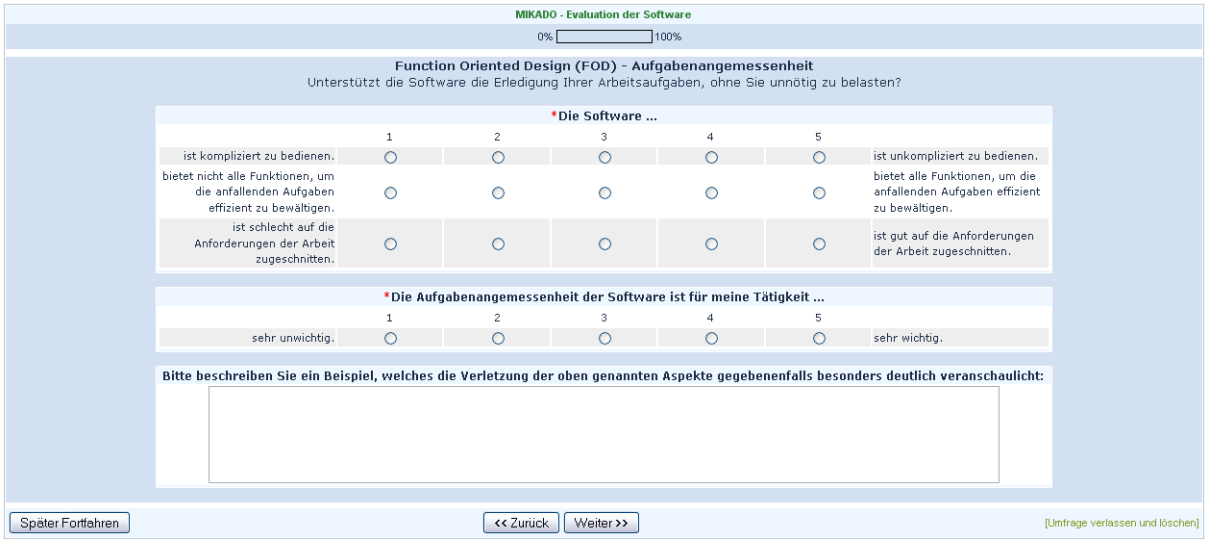


Bild 59: Fragen des ISONORM-Fragebogens zum Grundsatz "Aufgabenangemessenheit"

Neben der Beurteilung der Usability wurde mit spezifischen Fragen auf spezielle, zu Beginn des MIKADO-Verbundprojektes festgelegte bzw. gewünschte, Funktionalitäten der entwickelten Werkzeuge eingegangen. Zu diesem Zweck wurden die in AP100 erfassten Anforderungen analysiert und in einer Matrix den zuvor spezifizierten Evaluationsszenarien gegenüber gestellt (Bild 60).

Nummer		Beschreibung	Begründung	1 Neue Anforderungen aufnehmen	2 Bereits vorhandene Anforderungen	3 Funktionen anpassen und neue modellieren	4 Prüfung: Sind noch Anforderungen nötig?	5 Komponenten modellieren	6 Erweiterung von Elementen	7 BPMN Elemente	8 Prozess anpassen und verbessern	9 Erfüllen Prozess alle Anforderungen?	10 Prozess simulieren und Schwächen aufdecken	11 Prozess starten	12 Prozess starten	13 Task starten	14 Task durchführen	15 Ist noch eine Prüfung erforderlich?	16 Prüfung starten	17 Prüfung durchführen	18 Ergebnisse weitergeben	19 Task beenden	20 Prüfung Prozess zu ende?	21 Verlaufsdaten weitergeben	22 Verlaufsdaten importieren	23 Prozess anpassen und verbessern	24 Prozess simulieren und Schwächen aufdecken	25 Prozess speichern	Nicht testba	Noch nicht t
Allgemeine Leistungsanforderungen (ALG)																														
Leistungsanforderungen an die Kooperationsplattform (KPL)																														
Leistungsanforderungen an spezifische Dienste (SDI)																														
Leistungsanforderungen an Anforderungsmanagement (AFM)																														
04_01		Anforderungen_erfassen	Anforderunge	Das Werkz	X																									
04_02	?	Anforderungsdefinitionen_formalisieren	Anforderungs	Weil eine	X																									
04_03		separater Verwaltungsbereich	Verwaltungsi	Wegen de	X																									
04_04		Anforderungen kategorisieren	Anforderunge	Wegen de	X																									
04_05		Anforderungen strukturieren	Anforderunge	Wegen de																										
04_06		Anforderungen formulieren	Anforderunge	Wegen de																										
04_07		Anforderungen ausprägen	Anforderunge	Um eine A	X		X																							
04_08		disziplinzuordnung Anforderungen	Anforderunge	Um mecha	X																									
04_09		Anforderungen versionieren	Anforderunge	Wegen de																										
04_10		Anforderungen gewichten	Anforderunge	Wegen de	X																									
04_11		Anforderungen priorisieren	Anforderunge	Wegen de	X																									
04_12		Anforderungen disziplinübergreifend definieren	Anforderunge	Um die me																										
04_13		Anforderungen automatisch sortieren	Anforderunge	Um die Ha		X																								
04_14		Anforderungen manuell sortieren	Anforderunge	Um die Ha		X																								
04_15		Anforderungen suchen	Nach Anforde	Falls es se		X																								
04_16		Anforderungszuständigen definieren	Anforderungs	Bei der An	X																									
04_17		funktionale/ nicht-funktionale Anforderungen	Anforderunge	Um das Do	X																									
04_18			Anforderunge	Um die Ve																										
04_19		auswertbare Beziehungen zw. Anforderungen	Auswertbare	Um die Ve	X		X																							
04_20		Verknüpfung Anforderungsnetz / mechatr. Fkt.	Anforderungs	Um die Ve			X																							
04_21		qualifizierte Beziehungen zw. Anforderungen	Qualifizierte	Um das An	X																									
04_22		funktionale Verknüpfung Anforderung / Produkteigenschaft	Anforderunge	Um die Erf	X		X		X																					
04_23	?	Anforderungsbeziehungen auswerten	Anforderungs	Um die We		X																								
04_24		Methoden und Prozessleitfäden erstellen	Methoden un	Um die Üb													X													
04_25		Beschreibungskonzept erstellen	Beschreibung	Wegen de																									X	
04_26		Zuordnung Anforderungen / Teilfunktionen	Anforderunge	Um besse			X																							
04_27		Steuerung des MockUps durch Anforderungen	Anforderunge	Wegen de																									X	

Bild 60: Gegenüberstellung des Anwendungsszenarios mit den Anforderungen an MIKADO

Anschließend wurden alle Anforderungen auf deren Überprüfbarkeit durch die Benutzer innerhalb des jeweiligen Szenarios untersucht und Fragen abgeleitet (siehe folgende Tabellen). Dabei wurde bei der Formulierung der Fragen darauf geachtet, dass nicht nach dem Vorhandensein einer Funktion, sondern nach deren Anwendbarkeit oder Nutzen gefragt wurde, so dass die Antwort nicht „ja“ oder „nein“ lautet, sondern auf der selben Skala abgebildet werden kann, wie die Fragen der ISO Norm. Im Folgenden sind diese Fragen und die Anforderungen aus AP 100, auf die sie zurückzuführen sind, angeführt.

Workflowmanagement (Evaluationsszenario iPLON)

Anforderung
Funktionalitäten für das Prozessmonitoring: Funktionalitäten für die Anzeige des Bearbeitungsstatus des laufenden Prozesses, der Visualisierung der aktuell bearbeiteten Aktivitäten in einem Prozessdiagramm, die Sammlung von Informationen über die Dauer bereit abgeschlossener Aktivitäten und Prozesse und die Berichterstellung.
abgeleitete Frage(n)
Die Software hilft *gar nicht / sehr* dabei, einen Überblick über alle abgeschlossenen und noch laufenden Prozesse zu erhalten.
Die Software hilft *gar nicht / sehr* dabei, einen Überblick über den Arbeitsstand und den bisherigen Verlauf eines Prozesses zu erhalten.

Anforderung
Kennzeichnung betroffener Instanzen: Informations- und Datenflussabbildung im Modell mit Kennzeichnung der durch einzelne Informationen und Daten betroffenen Instanzen (Personen, Teams) sowie Zuordnung von Instanzen, Informationen und Daten zu Aufgaben, automatische Initiierung von Folgeschritten/-prozessen
abgeleitete Frage(n)
Die Software hilft *gar nicht / sehr* dabei, einen Überblick über die Daten und Informationen, die mit einzelnen Aktivitäten in einem Prozess assoziiert sind, zu erhalten.

Anforderung
Workflowzugriff: Die Workflow-Engine muss Zugriff auf alle Datenmodelle haben
abgeleitete Frage(n)
Die Software erlaubt *gar nicht / uneingeschränkt* die Auswahl von Daten aus der Kollaborationsplattform, wenn einer Aktivität im Prozess Daten angehängt werden sollen.

Function Oriented Design (Evaluationsszenario iPLON)

Anforderung
Anforderungen kategorisieren: Um die Übersicht und die Qualität des Anforderungsdokumentes zu steigern, ist es notwendig Anforderungen kategorisieren zu können.
abgeleitete Frage(n)
Die Software ermöglicht keine / eine übersichtliche und strukturierte Verwaltung der Anforderungen.

Anforderung
Anforderungen Disziplinen zuordnen: Um die mechatronische Produktentwicklung zu vereinfachen, müssen Anforderungen Disziplinen zugeordnet werden können.
abgeleitete Frage(n)
Die Software-Funktionalität, Anforderungen einer oder mehreren Disziplinen zuzuordnen

steigert die Übersichtlichkeit nicht und ist kein notwendiges Feature. / steigert die Übersichtlichkeit und ist ein notwendiges Feature.

Anforderung
Beziehungen zwischen Anforderungen: Um die Auswertbarkeit des Anforderungsnetzes zu erleichtern muss es möglich sein, auswertbare Beziehungen zwischen den Anforderungen zu definieren.
abgeleitete Frage(n)
Die Software-Funktionalität, Constraints auf Parameterebene zwischen Anforderungen, Funktionen und Bauteilen zu modellieren stellt *keinen / einen* großen Mehrwert für mich dar.

Anforderung
Beziehungen zwischen Anforderungen: Um das Anforderungsnetz informationstechnisch besser verarbeiten zu können, muss es möglich sein qualifizierte Beziehungen zwischen Anforderungen zu definieren.
abgeleitete Frage(n)
Die Software-Funktionalität, Relationen zwischen Anforderungen, Funktionen und Bauteilen zu modellieren und auszuwerten stellt *keinen / einen* großen Mehrwert für mich dar.

Anforderung
Change Management für Anforderungen: Anforderungen müssen versionierbar sein.
abgeleitete Frage(n)
Die Software-Funktionalität, alle Objekte versionieren zu können ist ein in meinem Unternehmen *niemals / häufig* genutztes Feature.

Anforderung
Sichten: Der Editor soll über eine Möglichkeit der Darstellung der Views verfügen. Bsp. Zuordnung zu Disziplinen zeigen, Zuordnung zu Abteilungen zeigen, Vernetzung zeigen
abgeleitete Frage(n)

Die Software-Funktionalität, unterschiedliche Sichten auf Anforderungen, Funktionen und Bauteile mit Hilfe von Filtern zu generieren wird in meinem Unternehmen *niemals / häufig* genutzt.

Anforderung
Relationsrichtung: Zwischen Anforderungen müssen Relationen definierbar sein: <ist abgeleitet von>, <ist Teilanforderung von>, … Die Relationen brauchen Bearbeiter, Datum.
abgeleitete Frage(n)
Die Richtung der Relationen zwischen Anforderungen, Funktionen und Bauteilen ist für mich eine *zu vernachlässigende / sehr wichtige* Information.

zusätzliche Frage(n)
Die Einsatzmöglichkeiten von FOD in meinem Unternehmen sind *sehr schlecht. / sehr gut.*

DimSiMP (Evaluationsszenario iPLON)

Anforderung
Prozessspezifische Zugriffsrechte: Bei einer unternehmensübergreifenden Planung werden die Prozesse des Zulieferers zu Subprozessen des OEM. Da für viele Unternehmen die Geheimhaltung ihrer internen Prozesse von hoher Bedeutung ist, ist die Möglichkeit der Steuerung des Zugriffs von anderen Unternehmen auf diese unerlässlich. Auf der höchsten Abstraktionsstufe stellt dieser Subprozess lediglich eine Black-Box dar.
abgeleitete Frage(n)
Die Software hilft *gar nicht / sehr dabei*, einen Überblick über freigegebene Prozesse fremder Unternehmen zu erhalten, ohne gleichzeitig deren Inhalt zu offenbaren.
Die Software ermöglicht es *gar nicht / ganz einfach*, freigegebene Prozesse fremder Unternehmen in eigene Prozesse einzubinden.

Anforderung
Simulationsbewertung: Es soll möglich sein, die Ergebnisse einer Simulation mithilfe von Kennzahlen zu bewerten. Es soll möglich sein für einen Prozess Zielgrößen für Kosten und Dauer anzugeben. Diese Kennzahlen können dann mit den Daten aus den Simulati-

onsläufen abgeglichen werden und ihre Übereinstimmung kann berechnet werden. Die Ergebnisse eines solchen Vergleichs sollen geeignet dargestellt werden. Formulierung: Es soll möglich sein, die Ergebnisse einer Simulation mithilfe von Kennzahlen zu bewerten.
abgeleitete Frage(n)
Die Software liefert Simulationsergebnisse, die *gar nicht / sehr* dabei helfen, Verbesserungspotenziale in Prozessen aufdecken.
Die Software *erlaubt es gar nicht / erlaubt es*, Dauer und Kosten von Aktivitäten in Prozessen realitätsnah zu modellieren.

Anforderung
Grafische Aufbereitung der Simulationsergebnisse: Die Ergebnisse von Simulationsergebnissen sollen grafisch geeignet dargestellt werden. Dabei sollen Verteilungskurven für Dauer, Kosten und Ressourceneinsatz eingesetzt werden. Formulierung: Die Ergebnisse von Simulationsergebnissen sollen grafisch dargestellt werden. Parameter: Simulationsdaten
abgeleitete Frage(n)
Die Software stellt die Simulationsergebnisse Kosten und Dauer in einer *nutzlosen / sehr nützlichen* Form dar.
Die Software stellt das Simulationsergebnis Ressourcenauslastung in einer *nutzlosen / sehr nützlichen* Form dar.

Anforderung
Beschreibung von Iterationsschleifen und Rücksprüngen: Iterationsschleifen und Rücksprünge sollen beim Modellierungs- und Simulationssystem vorgesehen werden. Die Modellierung von Iterationsschleifen ist daher mit einer geeigneten Unschärfe durchzuführen, wofür sich bei der Simulation die Verwendung statistischer Konzepte wie entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilungen, wie beispielsweise Wahrscheinlichkeiten für Iterationsschleifen, anbietet.
abgeleitete Frage(n)
Die Software *erlaubt es gar nicht oder auf eine sehr umständliche Art und Weise / erlaubt es*, Prozesse so zu modellieren, wie sie in der Realität ablaufen.

Anforderung
Verteilte Modellierung: eine verteilte Modellierung der Entwicklungsprozesse soll auf unterschiedliche Partner und Disziplinen durchgeführt werden.
abgeleitete Frage(n)
Die Software *erlaubt es nicht / erlaubt es*, Prozesse im Team zu bearbeiten, so dass mehrere Mitarbeiter unter-schiedliche Prozesspassagen in separaten Clients bearbeiten können.

Anforderung
hierarchische Abbildung von Prozessen: Es muss möglich sein, Prozesse hierarchisch zu modularisieren bzw. Prozesse hierarchisch abzubilden.
abgeleitete Frage(n)
Die Software *erlaubt es gar nicht oder auf eine sehr umständliche Art und Weise / erlaubt es*, Prozesse hierarchisch zu gliedern, so dass bestimmte Abläufe als Subprozesse in übergeordnete Prozesse eingeordnet sind.
Die Software-Funktion zur Verschachtelung von Prozessen (Gliederung in übergeordnete und Subprozesse) erleichtert die Orientierung beim Lesen von Prozessmodellen *gar nicht. / sehr.*

zusätzliche Frage(n)
Der eingesetzte Referenzvorgehensbaustein für die Produktentwicklungsphase musste für den Einsatz *sehr stark / gar nicht* angepasst werden.

Functional Mock-Up (Evaluationsszenario INTEC)

Anforderung
Für die Sicherheit muss eine entsprechende Rollenverteilung für die Nutzer vorhanden sein.
abgeleitete Frage(n)
Die Software bietet *umfangreiche / keine Möglichkeit* der Rechte- und Rollenverteilung

Anforderung
Aufgaben sollen verteilt und angestoßen werden können.
abgeleitete Frage(n)
Die Software verwaltet *automatisiert / nur mit hohem manuellen Aufwand* Aufgaben und deren Zugehörigkeit für alle Nutzer.

Anforderung
Externe Dienstleister sollten per Internet Zugang zu den für ihnen wichtigen Daten bekommen.
abgeleitete Frage(n)
Die Software bietet einen *einfachen / in Teilbereichen* Zugriff für mehrere, nicht an einem Ort arbeitende Beteiligte.

Anforderung
Jede Fachabteilung muss bei einer Einpflegung eines geänderten Teils bzw. einer geänderten Anforderung umgehend informiert werden. Hinterlegte Randbedingungen müssen nach Möglichkeit bei entsprechenden Bauteilen automatisch überwacht werden. Für sich ändernde Anforderungen müssen Funktionen für ein entsprechendes Änderungsmanagement bereitgestellt werden (Änderungsworkflow, etc.).
abgeleitete Frage(n)
Die Software initiiert automatisch / bei Aufforderung Informationsaustausch bei Änderungen.

Anforderung
Funktionalitäten für Meilensteine und Zeitpläne im Projekt, sowie die Ermittlung des derzeitigen Reifegrades müssen im System enthalten sein.
abgeleitete Frage(n)
Die Software dokumentiert in *vollem Maße / Teilbereichen* den Ablauf und erzielt Nachvollziehbarkeit der Prozesse.

Anforderung
Der FMU muss CATIA V5-fähig sein. Hinterlegte Randbedingungen müssen nach Möglichkeit bei entsprechenden Bauteilen automatisch überwacht werden.
abgeleitete Frage(n)
Die Software kann *automatisch / unter manuellem Aufwand* CATIA-V5-gebundene, definierte Prüfszenarien ausführen.

Anforderung
In einer Art Functional Mock-Up müssen Kollisionen mit Hilfe von vereinfachten Modellen, Kinematiken und deren umhüllenden Flächen schnell detektiert werden können. Die kritischen Modelle könnten mit einem „Flag“ versehen werden und bei Änderungen automatisch überprüft werden.
abgeleitete Frage(n)
Die Software kann die im Verbundprojekt definierten Prüfszenarien (inkl. Kinematik) *vollständig / nicht vollständig* behandeln.

Anforderung
Neben einer baugruppenorientierten Sicht muss es auch noch eine funktionsorientierte geben.

abgeleitete Frage(n)
Die Software erlaubt *verschiedene Sichten / eine festgesetzte Sicht* auf eine Produktstruktur.

Anforderung
Sowohl die Varianten als auch die Versionen eines Sitzes müssen verwaltet werden können.
abgeleitete Frage(n)
Die Software bietet *umfassende / keine Funktionen* zum Varianten- und Versionsmanagement.

Anforderung
Funktionalitäten für Meilensteine und Zeitpläne im Projekt, sowie die Ermittlung des derzeitigen Reifegrades müssen im System enthalten sein. Anforderungen sollen eine Gültigkeit bzw. Reifegrade besitzen.
abgeleitete Frage(n)
Die Software bietet *umfassende / keine Funktionen* zur Zuordnung von Reifegraden.

Anforderung
Die Benutzungsfreundlichkeit sollte mit einer intuitiven und übersichtlichen GUI gewährleistet sein. Die Benutzeroberfläche sollte in allen Anwendungen ein einheitliches Bild abgeben und konfigurierbar sein. Benutzeroberfläche im Windows-Standard.
abgeleitete Frage(n)
Die Software besitzt eine einheitliche und *ansprechende / zu viele GUI(s) mit / ohne* Windows-Standard-Funktionalitäten.

Anforderung
Die Plattform sollte auf Windows-Rechnern lauffähig sein.

abgeleitete Frage(n)
Die Software *ist voll in WINDOWS lauffähig / erfordert Kenntnis mehrerer Betriebssysteme*.

Anforderung
Möglichkeiten zur Anbindungen an bestehende Geometriedaten- bzw. Produktdatenmanagementsysteme sollten gegeben sein.
abgeleitete Frage(n)
Die Software ist in *vollem / keinem Maße* an andere bestehende Datenmanagementsysteme anpassbar.

Anforderung
Sämtliche entstehenden Dokumente wie .doc, .ppt, etc muss das System verwalten und ablegen können. CAD-Daten der verschiedenen Fachabteilungen im V5-, ProE-, IGS-, oder STEP-Datenformat müssen eingelesen und dargestellt werden können.
abgeleitete Frage(n)
Die Software kann die *gängigsten / wenige* Datenformate lesen und verwalten.

4.2 Gewichtung und Zielbereich

Um beurteilen zu können, wie gut die gesetzten Anforderungen im Rahmen des Verbundprojekts MIKADO erfüllt wurden, wurde in einem Qualitätsmodell ein global für alle Fragen geltender Zielbereich definiert.

Alle Fragen bzgl. der Gestaltungsgrundsätze sowie der Anforderungen wurden einheitlich mit Werten von 1 bis 5 durch die Benutzer bewertet und in vier zuvor identifizierte Wertebereiche eingeordnet. Dieses Bemaßungssytem nach denen die Fragen bewertet wurden sowie die Bewertungsskala sind aus Bild 61 zu entnehmen. Bei der Erstellung sind insbesondere Erfahrungen aus dem iViP-Projekt eingeflossen und an die gegebenen Umstände angepasst worden.

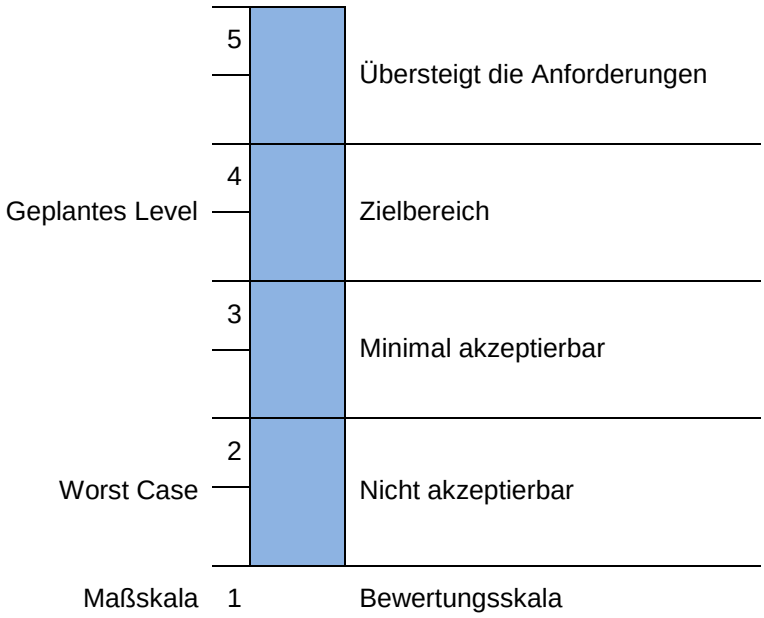


Bild 61: Wertebereiche und Skala für Qualitätskriterien

4.3 Ausführung und Auswertung

Für die Organisation der Evaluierung wurden zwei Evaluierungsszenarien entwickelt, welche in Bild 62 dargestellt sind. Dabei wurden die Softwareanwendungen so verteilt, dass jeweils die Server-Anwendungen lokal bei den Toolanwendern liefen, während die Nutzer mit Client-Anwendungen über das Internet auf diese zugegriffen haben. Durch die Auswahl dieser Architektur wurde die Verteilung der unterschiedlichen Anwendungen auf verschiedene Standorte eines Unternehmens simuliert.

Die detaillierte Beschreibung der Szenarien und deren Durchführung bei den Industriepartnern ist dem Kapitel 3.5.2 und 3.5.3 zu entnehmen.

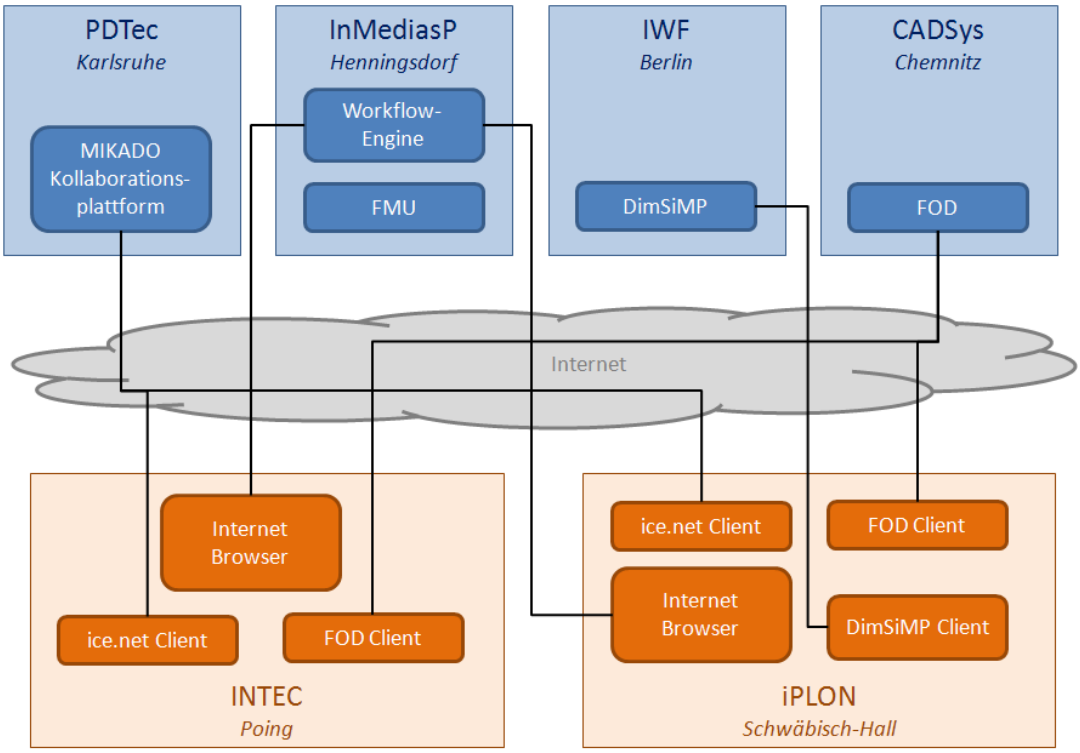


Bild 62: Verteilung der Softwareanwendungen für die Evaluation

Ergebnis der Evaluationsszenarios bei INTEC

Die Durchführung des Evaluationsszenarios bei INTEC und die Bewertung der genutzten Softwareapplikationen wurden von einer Person durchgeführt. Im Anschluss wurden die Mittelwerte der abgegebenen Bewertungen der einzelnen Fragen zu den Gestaltungsgrundlagen bzw. Anforderungen berechnet und in den Folgenden Tabellen dargestellt. Die Gesamtbewertung wird nach der folgend angegebenen Formel errechnet:

$$Gesamtbewertung = \frac{\sum(Bedeutung\ f\ddot{u}r\ Nutzer_i \cdot Bewertung\ durch\ Nutzer_i)}{\sum Bedeutung\ f\ddot{u}r\ Nutzer_j}$$

PDM-Browser	Bedeutung für Nutzer	Bewertung durch Nutzer
Aufgabenangemessenheit	3,0	3,0
Selbstbeschreibungsfähigkeit	4,0	2,0
Steuerbarkeit	4,0	3,3
Erwartungskonformität	4,0	2,3
Fehlertoleranz	5,0	3,3
Lernförderlichkeit	4,0	3,0
Gesamtbewertung PDM-Browser		**2,8**

Workflow-Engine	Bedeutung für Nutzer	Bewertung durch Nutzer
Aufgabenangemessenheit	4,0	4,0
Selbstbeschreibungsfähigkeit	5,0	3,3
Steuerbarkeit	4,0	4,3
Erwartungskonformität	4,0	4,3
Fehlertoleranz	5,0	4,0
Lernförderlichkeit	4,0	4,0
Gesamtbewertung Workflow-Engine		**4,0**

FOD	Bedeutung für Nutzer	Bewertung durch Nutzer
Aufgabenangemessenheit	5,0	4,3
Selbstbeschreibungsfähigkeit	5,0	3,7
Steuerbarkeit	4,0	4,3
Erwartungskonformität	4,0	4,0
Fehlertoleranz	5,0	4,0
Lernförderlichkeit	4,0	3,0
Gesamtbewertung FOD		**3,9**

spezifische Fragen	Bedeutung für Nutzer	Bewertung durch Nutzer
User-Verwaltung	5,0	4,3
Prozess-Unterstützung	4,0	4,0
Schnittstellenverträglichkeit	5,0	3,8
Gesamtbewertung spezifische Fragen		**4,0**

Auswertung Evaluationsszenario iPLON

Die Evaluation der Software anhand des Evaluationsszenarios von iPLON wurde mit insgesamt drei Teilnehmern durchgeführt und die gestellten Fragen zumeist von allen Teilnehmern beantwortet. Im Gegensatz zu der vorangegangenen Evaluation war es daher notwendig vor der Berechnung der Gesamtbewertung den Mittelwert der einzelnen Bewertungen durch die Nutzer sowie der Bedeutungen für die Nutzer zu ermitteln:

$$Bedeutung\ f\ddot{u}r\ Nutzer = \frac{\sum_{i=1}^{3}(einzelne\ Bedeutung\ f\ddot{u}r\ Nutzer)_i}{3}$$

$$Bewertung\ f\ddot{u}r\ Nutzer = \frac{\sum_{i=1}^{3}(einzelne\ Bewertung\ durch\ Nutzer)_i}{3}$$

FOD	Bedeutung für Nutzer	Bewertung durch Nutzer
Aufgabenangemessenheit	4,7	4,3
Selbstbeschreibungsfähigkeit	3,7	3,5
Steuerbarkeit	4,3	4,5
Erwartungskonformität	4,7	4,0
Fehlertoleranz	4,3	3,9
Lernförderlichkeit	3,0	2,5
Gesamtbewertung FOD		**3,9**

DimSiMP	Bedeutung für Nutzer	Bewertung durch Nutzer
Aufgabenangemessenheit	4,0	3,2
Selbstbeschreibungsfähigkeit	4,3	3,0
Steuerbarkeit	4,0	3,0
Erwartungskonformität	4,3	3,2
Fehlertoleranz	4,0	2,8
Lernförderlichkeit	4,3	3,8
Gesamtbewertung DimSiMP		**3,2**

Workflow-Engine	Bedeutung für Nutzer	Bewertung durch Nutzer
Aufgabenangemessenheit	3,7	3,3
Selbstbeschreibungsfähigkeit	4,0	3,5
Steuerbarkeit	4,0	4,0
Erwartungskonformität	4,5	4,4
Fehlertoleranz	4,0	4,0
Lernförderlichkeit	4,5	3,5
Gesamtbewertung FOD		**3,8**

PDM-Browser	Bedeutung für Nutzer	Bewertung durch Nutzer
Aufgabenangemessenheit	5,0	4,0
Selbstbeschreibungsfähigkeit	4,0	3,7
Steuerbarkeit	5,0	4,3
Erwartungskonformität	4,0	4,3
Fehlertoleranz	5,0	4,0
Lernförderlichkeit	4,0	3,7
Gesamtbewertung PDM-Browser		**4,0**

spezifische Fragen	Bedeutung für Nutzer	Bewertung durch Nutzer
FOD	5,0	4,4
DimSiMP	3,7	3,4
Workflow-Engine	4,5	4,5
PDM-Browser	4,0	4,0
Gesamtbewertung spezifische Fragen		**4,1**

Die Auswertung der Fragebögen der beiden Evaluationsszenarien ergibt einen überwiegend positiven und ausgewogenen Eindruck. Mit einem über alle Softwareanwendungen gemittelten Wert von 3,7 liegt das Gesamtergebnis im oberen Zielbereich des Qualitätsmodells. Bei der detaillierteren Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass die spezifischen Fragen, also die Repräsentation der Anforderungen an das Verbundprojekt MIKADO, mit 4,0 und 4,1 überdurchschnittlich gut bewertet und die Erwartungen übertroffen wurden. Dies ist von großer Bedeutung, da bei den entwickelten Softwareanwendungen vorrangig Wert auf die Funktionalität gelegt wurde und diese somit von den Anwendern als sehr zufriedenstellend bewertet wurde. Vor dem Hintergrund, dass es sich bei den vorliegenden Werkzeugen um Funktionsprototypen handelt, ist diese Fragenkategorie als die Wichtigste herauszustellen.

Im Bezug auf die Usability erhielten FOD und die Workflow-Engine ebenfalls in beiden Szenarien überdurchschnittliche Bewertungen. Das Werkzeug DimSiMP wurde nur in dem iPLON-Szenario angewendet und dessen Usability mit 3,2 bewertet. Diese Bewertung befindet sich im geplanten Zielbereich, birgt jedoch speziell im Bereich der Fehlertoleranz noch Verbesserungspotenzial. Basierend auf dieser Evaluation ist eine weitere Verbesserung für die Zukunft geplant.

Die Auswertung der Fragen zur Bewertung Usability des PDM-Browsers ergibt für die beiden Szenarien stark unterschiedliche Ergebnisse (2,8 und 4,0). Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die besagte Software im INTEC-Szenario intensiver genutzt wurde und somit Probleme bei der Nutzung besser identifiziert werden konnten. Die Einordnung des Ergebnisses an der unteren Grenze des Zielbereichs ist somit realistisch. Wie bei DimSiMP soll die Usability der PDM-Browsers mit Hilfe der Ergebnisse dieser Evaluation weiter verbessert werden.

5 Verwertung der Ergebnisse

5.1 Anwendernutzen

Zielgruppe zur Anwendung der MIKADO-Kooperationsplattform

Anwenderunternehmen aus den für MIKADO relevanten Branchen Automobilindustrie, Luftfahrtindustrie, Maschinen- und Anlagenbau, Hausgeräte und Schiffbau lassen sich auf über 1.000 Endhersteller und mittelständische Komponentenzulieferer beziffern.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts MIKADO unterstützen den Anwender wesentlich bei der praktischen Umsetzung ausgereifter mechatronischer Entwicklungsprozesse. Im Einzelnen deckt MIKADO den Handlungsbedarf ab, der sich aus folgenden Anforderungen ergibt:

- **Disziplinübergreifende Information, Koordination und Abstimmung**

  Bei komplexen Entwicklungsprozessen mit einer Vielzahl an Mitarbeitern unterschiedlicher Disziplinen ist eine effiziente Kommunikation unerlässlich. Die Kooperationsplattform MIKADO bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten der Integration unterschiedlicher Kommunikationswerkzeuge und stellt entsprechende offene Schnittstellen zur Verfügung.

- **Integrative Systementwicklung**

  Zur Bereitstellung der komplexen Funktionalität anspruchsvoller mechatronischer Systeme ist sowohl zur Projektführung als auch für alle Beteiligten zu jedem Zeitpunkt der Systemüberblick transparent darzustellen. Dies ist für eine integrative Systementwicklung unerlässlich.

- **Funktionsorientierte Nachbildung des Systemverhaltens**

  Der wesentliche Ansatz moderner Produkte ist die Fokussierung auf die Funktion und damit den unmittelbaren Kundennutzen anstatt physischer Systemkomponenten. Daher bieten die Ergebnisse des Forschungsprojekts MIKADO eine integrierte funktionsorientierte Nachbildung und Darstellung des Systemverhaltens. Die in dem Projekt verwirklichten Prüfszenarien unter Verwendung von CATIA V5, FMU und FOD stellen eine nützliche und sinnvolle Methode zur Unterstützung der heutigen virtuellen Entwicklungsprozesse dar. Das Verständnis im Umgang mit den Schnittstellen der einzelnen Systeme ist dabei stark erweitert worden. Verschiedene Hersteller, z. B. aus der Automobil-Branche, können aus diesem Teilbereich MIKADOs einen Nutzen ziehen: Softwarelösungen wie FMU und FOD können beim Anwender eine hohe Akzeptanz finden. Der steigende gesetzliche Druck im Bereich

Sicherheit (Crash-Verhalten, etc.) lässt der automatischen Prüfung im virtuellen Umfeld weitere Wichtigkeit erlangen.

- **Tools zur Testbarkeit sich dynamisch ändernder Anforderungen**

  Besonders in der Anforderungs- und Lösungsspezifikationsphase werden Anforderungen unterschiedlicher Detaillierungsstufen generiert. Die Entscheidung für eine Lösungsvariante zieht wieder neue Anforderungen nach sich, die mit den bereits bestehenden Anforderungen abzugleichen sind. Die MIKADO-Kooperationsplattform bietet hierzu umfangreiche Möglichkeiten, diesen Prozess strukturiert zu gestalten und den Überblick zu bewahren.

- **Unterstützung eines verteilten Entwicklungsprozesses**

  Vielen Unternehmen ist es nicht möglich, alle an einem Entwicklungsprozess beteiligten Personen an einem Standort zu haben. Die MIKADO-Plattform bietet durch ihre offene Architektur sowie der umfangreichen Nutzung von Web-Technologien die effiziente Unterstützung eines verteilten Entwicklungsprozesses.

Folgender Nutzen wird dabei durch die Plattform dem Anwender zur Verfügung gestellt:

Domänenübergreifende Kommunikation

- Kooperativer Zugriff auf alle Entwurfsdaten
- Modulare Basis für verteiltes Datenmanagement

Optimiertes mechatronisches Produkt

- Disziplinübergreifende Beschreibung der zu realisierenden Gesamtfunktion
- Nachvollziehbare Aufteilung der Funktion in einzelne Teildisziplinen

Prozessoptimierung

- Durchgängige Beschreibung von Anforderungen, Lösungen und Tests
- Transparenter und gut strukturierter Entwicklungsprozess

Prozessabsicherung

- Toolgestützte Prozessplanung und Verfolgung
- Verifizierbare mechatronische Produktentwicklung

5.2 Einführungsstrategien

Da bei größeren Herstellern die übergeordneten Systeme (für Workflows, Prozesse, Anforderungsmanagement, usw.) bereits vorhanden und über mehrere Jahre opti-

miert worden sind, ist es sehr wahrscheinlich, dass nur ein relativ geringes Interesse an einer voll konfigurierten MIKADO-Kooperationsplattform besteht.

Diese Ausbaustufe macht wiederum für mittelständische Unternehmen Sinn, die auf der Suche nach einer Komplettlösung für ihre Mechatronik-Entwicklung sind. Folglich kann je nach Kunde eine für ihn am besten geeignete Konfiguration der Plattform vorgestellt werden.

Im Verlauf des Projekts hat sich herausgestellt, dass eine komplette Konfiguration der Plattform auf Seiten der kleinen, mittelständischen Unternehmen am besten zur Anwendung geeignet ist. Vor allem, wenn die Toollandschaft dort noch nicht richtig ausgereift ist, und der Mechatronik-Entwicklungsprozess in vollem Umfang unterstützt werden soll. MIKADO kann in diesem Fall eine umfassende Problemlösung in den zahlreichen Teilbereichen liefern. Dazu ist ein gewisser Grad an Anpassungen (Customizing und Tayloring) notwendig.

Der größte Kundennutzen in dem uns bekannten Umfeld besteht eindeutig in der Steuerung/Verwaltung von interdisziplinären, CAD-unterstützen Prozessen und der frei konfigurierbaren Testumgebung.

Durch die gezielte Generierung von guten Beispielen in Leitunternehmen der jeweiligen Branchen gekoppelt mit einer offensiv gestalteten Kommunikationspolitik in den verschiedenen Foren und Arbeitskreisen wird eine große Breitenwirkung erreicht.

Insgesamt werden die erzielten Ergebnisse zusammen mit dem im Projekt BestVor erarbeiteten Reifegradmodell und den Fragebögen im Rahmen von Wokshops und Kundengesprächen präsentiert um weitere Anwender für die Komplexität mechatronischer Prozesse zu sensibilisieren. Durch die Verwendung der exemplarischen Lösungsansätze, die in MIKADO entwickelt wurden, ist es möglich neue Projekte beratend zu unterstützen und die Entwicklung firmenspezifischer Erweiterungen zu initiieren.

5.3 Verwertung der entwickelten Systeme

5.3.1 Mechatronik PDM

Seitens PDTec ist geplant, die MIKADO Kooperationsplattform zu einem Mechatronik PDM auszubauen. Dieses Mechatronik PDM wird, anders als heute verfügbare PDM-Systeme, welche vor allem aus der mechanischen Konstruktion kommen, von vornherein für die domänenübergreifende Entwicklung von Produkten/Systemen ausgelegt. Zusätzlich zu dieser, auf modernen Internettechnologien wie WebServices, SOAP, XML und UML basierenden Lösung sind flankierende Dienstleistungen vorgesehen. Diese dienen sowohl den unternehmensspezifischen Anpassungen im Vorfeld der Einführung des neuen Systems als auch der Weiterentwicklung im laufenden Betrieb.

Das angestrebte Marksegment umfasst alle Unternehmen mit einer großen Entwicklungstiefe, wobei in einem ersten Schritt Hersteller und größere Zulieferer aus der Automobilbrache für PDTec im Fokus stehen. PDTec, seit Jahren als Systemintegrator und Anbieter von auf spezielle Anwendungsgebiete zugeschnittene Informationssysteme in der Produktentstehung, kennt aus vielen Integrationsprojekten, sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch über Unternehmensgrenzen hinweg, die Probleme der Entwickler mechatronischer Systeme und die Limitationen bestehender Lösungsansätze zu Verwaltung der Simulationsdaten. PDTec verspricht sich durch die Entwicklung des Mechatronik PDM eine sichtbare Marktposition. Wettbewerber sind im wesentlichen die klassischen Anbieter von PDM Systemen. Das geschätzte Marktpotential für PDTec liegt nach ersten Schätzungen zwischen ca. 10 und 20 Mio. EUR (europaweit, basierend auf Zahlenmaterial aus einer EU Untersuchung), in Anbetracht des aktuellen jährlichen Umsatzes bei PDTec von ca. 2 Mio. EUR.

Die geplanten Maßnahmen für die Umsetzung beinhalten neben der kontinuierlichen Weiterentwicklung des in MIKADO entwickelten Prototypen zur Marktreife und damit die Sicherung der Entwicklerstellen auch die Schaffung einer Stelle als Produktmanager „Mechatronik PDM“, welcher noch in diesem Jahr intensiv mit der Vermarktung der PDTec Lösung beginnen soll. Die geplanten Maßnahmen werden, bereits während der Laufzeit von MIKADO, vor allem durch eine zunehmende Akquisitionstätigkeit angegangen. Die daraus resultierenden Pilotprojekte sollen die Finanzierung der weiteren Entwicklung hin zur Marktreife ermöglichen.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten für das „Mechatronik PDM“ sind derzeit als gut zu beurteilen, insbesondere da mit einem Verbundpartner bereits erste Aktivitäten in Richtung Pilotprojekt vereinbart werden konnten. Weitere Gespräche mit anderen potentiell interessierten Endanwendern sind bereits geplant oder terminiert. Man kann derzeit davon ausgehen, dass im Laufe des Kalenderjahres 2009 zwei bis drei weitere Pilotkunden aus dem Umfeld „Automotive“ mit jeweils einer Lizenzanzahl im ein- bis zweistelligen Bereich, akquirieren werden können, was in Anbetracht der augenblicklichen wirtschaftlichen Lage als positiv zu beurteilen ist. Ausschlaggebend ist hierfür zum einen unsere Flexibilität als KMU und unser Verständnis für den gesamtheitlichen Systems-Engineering-Prozess, zum anderen die in unserem Prototyp als Alleinstellungsmerkmal vorhandene Funktionalität und einfache Erweiterbarkeit. Die transparente Anbindung von externen Partnern auf der einen Seite, sowie die relativ einfache Anbindung an In-House-Systeme andererseits ist ein weiteres Alleinstellungsmerkmal. Eine Ausweitung auf andere Branchen ist für das nächste Jahr eingeplant.

Wie man aus den obigen Ausführungen ersehen kann, ist keine schlagartige Markteinführung geplant, sondern eher ein graduell ansteigendes durchdringen des Marktes. Ausgangspunkt der Aktivitäten und damit auch die initial vorgesehene Region beschränkt sich zu erst auf Deutschland, auch wenn bereits auf relevanten Ausstel-

lungen, wie z.B. der ProductLive Life 2009 und dem ProSTEP iViP Symposium 2009 der innerhalb von MIKADO entstandene Prototyp des „Mechatronik PDM“ einem breiten Publikum vorgestellt wird.

5.3.2 FOD

Im Bereich des Function Oriented Design (FOD) wird die Firma CADsys das im Projekt entwickelte Werkzeug in bestehende Produkte einbinden. Damit wird es möglich den Kunden den gesamten Funktionsumfang zur Unterstützung der entwickelten Methodik zur integrierten mechatronischen Produktentwicklung zur Verfügung zu stellen.

Dies beinhaltet die Modellierung von Produktanforderungen (Anforderungsnetze), von Funktionszusammenhängen (FMU) und von Baustrukturen. Zudem wird eine Schnittstelle zu marktgängigen Anforderungsmanagementsystemen bereitgestellt.

Durch flankierende Beratungsdienstleistungen bei der Einführung sowie bei der Validierung mechatronischer Entwicklungsprozesse wird sowohl die Methodik erläutert als auch anhand der im Projekt erarbeiteten Beispiele dem Nutzer praxisnah präsentiert.

Zur Verwertung werden bestehende Vertriebskanäle und die im Projekt entstandenen Partnerschaften genutzt. Es soll eine kostengünstige und effizient einzuführende Lösung zur mechatronischen Produktentwicklung für KMU entstehen und am Markt angeboten werden.

5.3.3 FMU

Die entwickelten Daten- und Prozessmodelle und das daraus entstandene Wissen bilden die Grundlage für Beratungsangebote im Umfeld der integrierten mechatronischen Produktentwicklung. Durch die verteilte Infrastruktur und den Einsatz von WebServices ist es KMUs ohne große Hardware-Investitionen möglich die Softwaredienste einzusetzen. Dadurch wird die Einstiegshürde Methoden der virtuellen Absicherung anzuwenden für KMUs gesenkt. Hiermit bieten sich Chancen neue Kunden für flankierende Beratungsdienstleistungen in den Bereichen der Einführung sowie der Validierung mechatronischer Entwicklungsprozesse zu gewinnen.

Die während des Projektes gewonnenen Erkenntnisse zur programmgesteuerten Automatisierbarkeit von DMU-Prüfungen für marktübliche CAD-Systeme finden Eingang in die Softwareentwicklung und dienen als Basis für weitere Projekte im Kundenkreis. Gerade im Bereich DMU ist großes Interesse an funktionalen Überprüfungen (FMU) vorhanden, da so das Portfolio der möglichen Virtualisierung von Prüfungsszenarien erweitert werden kann. Die während des Projektes entwickelten Softwarekomponenten dienen dabei als Demonstratoren um die Kompetenz der Firma in diesem Bereich zu belegen.

Durch die praktische Anwendung des Prototypen zur Prüfung elektromechanischer Funktionen am Beispiel des Schiebe-Hebedachs bei BMW wurden die Projektinhalte nach außen transferiert und bei dem Industriepartner Interesse für die Thematik geweckt. Die so entstandenen Kontakte zu BMW werden weiter gepflegt.

5.4 Entwicklung von Dienstleistungen

5.4.1 Dienstleistung im Umfeld der entstandenen Werkzeuge

Die im Projekt beteiligten Werkzeughersteller werden im Rahmen der Software-Einführung die zugrundeliegende Methodik ihren Kunden als eigenständige Dienstleistung anbieten und so eine wesentliche zusätzliche Einnahmequelle generieren. Für den richtigen und effizienten Einsatz der in MIKADO erstellten Plattform ist eine hohe Qualifizierung der Anwender von entscheidender Bedeutung und bietet diesem eine Prozessoptimierung auf Basis der Kooperationsplattform. Dies ermöglicht den Werkzeuganbietern eine weitere Verstärkung des Dienstleistungsumsatzes gegenüber dem Softwareverkauf. Dieser Wandel wird besonders von CADsys seit einigen Jahren vorangetrieben, da die Anwendungs- und Prozess-Kompetenz heute den Marktvorsprung vor Mitbewerbern begründet. Die Pilotanwendungen im Projekt spielen als Referenz und Demonstrator für die künftige Verwertung eine zentrale Rolle. Für mechatronische Anforderungsnetze kann sich CADsys beispielsweise auf die Anwendung von imk automotive stützen.

5.4.2 Mechatronik-Beratung

Die ITQ GmbH als Dienstleistungsunternehmen wird die im Rahmen des Projekts definierten Vorgehens- und Prozessmodelle unmittelbar in ihr Produktportfolio aufnehmen bzw. dieses durch die Ergebnisse und die Möglichkeiten der entstandenen Werkzeuge erweitern. Zusammen mit den Projektergebnissen aus dem Forschungsprojekt BestVor sind umfangreiche Einführungsstrategien und Bewertungsmechanismen entstanden. Zudem wird die erarbeitete Kooperationsplattform als prototypische Basis für die praktische Werkzeugunterstützung bei Entwicklungsprozessen dienen. In Abhängigkeit der Kundenanforderungen können Konzepte der erstellten Plattform verwendet und Teile der Plattform bei Bedarf in Absprache mit den Toolherstellern unmittelbar an Kundenbedürfnisse angepasst werden. Über eine Vielzahl von Kommunikationsmaßnahmen (Workshops, Messen, Veröffentlichungen) werden die Ergebnisse potentiellen Kunden und allen Interessenten des Maschinen- und Anlagenbaus vermittelt. So wurde durch die beiden Projekte BestVor und MIKADO die Grundlage für eine praxistaugliche und effiziente mechatronische Entwicklung in den eingangs definierten Branchen und Anwendergruppen geschaffen.

5.5 Wissenschaftliche Verwertung

Das Geschäftsfeld Virtuelle Produktentstehung des Fraunhofer Instituts für Industrielle Produktion und Konstruktion (IPK) in Berlin entwickelt zukunftsorientierte Technologien, Methoden und Organisationsansätze zur ganzheitlichen Unterstützung der Produktentstehung in Unternehmen.

Die Ergebnisse des Verbundprojekts, insbesondere die Kooperations- und Informationsmodelle, die Kooperationsplattform sowie das Werkzeug zum multidisziplinären Produktdatenmanagement, bilden für IPK eine wichtige Ausgangsbasis für weitere F&E-Projekte und für die Akquisition und Durchführung von KMU-Aufträgen auf dem Gebiet der Mechatronik und dem Collaborative Engineering.

So wird beispielsweise im Verbundprojekt ISyProM unter anderem der Systems Engineering Ansatz vom MIKADO in Richtung PLM-Integration ausgeweitet. Weiterhin wurden der Lösungsansatz und die ersten Ergebnisse von MIKADO den diversen Industrieunternehmen präsentiert. Der Erfahrungsaustausch mit u.a. Parametric Technologies, T-Systems, Audi und Airbus sowie mit diversen KMUs zeigte auch, dass die in MIKADO behandelten Themen einen sehr großen Bedarf bei den Anwendern ansprechen. Es wurden wertvolle Anregungen für die Projektarbeit gesammelt.

In verschiedenen Veröffentlichungen und auf Konferenzen, unter anderem im Rahmen des CIRP Design Seminars, der VIDA Konferenz und im Rahmen des Produktionstechnischen Kolloquiums wurde MIKADO dem nationalen und internationalen Fachpublikum vorgestellt. Zusätzliche Posterpräsentationen wurden in Zusammenarbeit mit der Transmechatronik-Initiative auf Veranstaltungen und Messen durchgeführt. Es wurden auch diverse Beiträge für das Transmechatronik Portal gestellt.

Mit den anderen Verbundprojekten des Themenfeldes "Zuverlässigere mechatronische Systeme" wurden bei den Informationsveranstaltungen beim VDMA Erfahrungen ausgetauscht.

Die sich in Entwicklung befindenden Prototypen für das multidisziplinäre Produktdatenmanagement und Anforderungsmanagement sowie für Prozessmodellierung werden in die Strukturen des Demonstrationszentrums ViPro integriert und die Vorteile den KMU vorgeführt.

In Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet der Industriellen Informationstechnik an der TU Berlin wurden die Ergebnisse auf wissenschaftlichen Konferenzen vorgestellt und veröffentlicht.

Das Fachgebiet der Industriellen Informationstechnik an der TU Berlin ist in die Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme sowie in das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb eingebettet und beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung von digitalen Lösungen zur Verbesserung und Erweiterung der Ingenieurtätigkeiten

im gesamten Ablauf der virtuellen Produktentstehung von der Produktidee und -planung, der Produktentwicklung bis hin zur Planung und Anlaufabsicherung der Produktion.

Im Rahmen des Verbundprojektes MIKADO ist das Fachgebiet maßgeblich an der Entwicklung von Produkt- und Prozessorientierten Prüf- und Diagnosewerkzeugen beteiligt gewesen. Die in diesem Zusammenhang gewonnen Erkenntnisse wurden bereits der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt und sollen auch zukünftig weiter verbreitet werden. Das Fachgebiet der Industriellen Informationstechnik verfolgt zu diesem Zweck unterschiedliche Strategien, die im Folgenden näher erläutert werden sollen:

Um die Ergebnisse der Forschungsarbeiten sowohl der wissenschaftlichen Gemeinschaft als auch Unternehmen zugänglich zu machen, wurden sie während der Projektlaufzeit auf zahlreichen nationalen und internationalen Konferenzen, Seminaren und Industriebesuchen vorgestellt und diskutiert. Exemplarisch sind Präsentationen und Demonstrationen auf der General Assembly der Forscherinitiative Virtual Research Lab for a Knowledge Community in Production (VRL KCiP), bei Besuchen der Firmen Siemens, Ford sowie Audi zu nennen. Desweiteren wurden die Forschungsergebnisse beispielsweise im Rahmen eines zweitägigen Forscherworkshops in Zusammenarbeit mit dem Cambridge Engineering Design Centre diskutiert.

Um die Erfahrungen und Methoden darüber hinaus einer möglichst breiten Studentenschaft zu vermitteln, wurden sie in Form der entwickelten Tools bereits in verschiedenen Vorlesungen in die Lehre an der TU Berlin übertragen und deren Nutzen im Zusammenhang mit der mechatronischen Produktentwicklung erläutert. So wurde beispielsweise das mechatronische Anforderungsmanagement und die Validierung von Anforderungen am Beispiel des produktorientierten Prüf- und Diagnosewerkzeugs „Function Oriented Desgin“ im Rahmen der Lehrveranstaltung „Anwendungen der Industriellen Informationstechnik“ in die universitäre Ausbildung übertragen. Ebenfalls im Rahmen der Lehrveranstaltung „Anwendungen der Industriellen Informationstechnik“ sowie der Lehrveranstaltung „Entwicklung und Management digitaler Produktentstehungsprozesse“ wurde die Software DimSiMP zur prozessorientierten Prüfung und Diagnose in den Vorlesungen „Prozessmanagement“ und „Entwicklungsprozesse Einführung“ demonstriert.

Weiterhin wurden Konzepte erarbeitet, um die Ergebnisse des MIKADO-Verbundprojektes im Rahmen von Übungen an die Studenten des Fachgebiets Industrielle Informationstechnik zu vermitteln. In diesem Zusammenhang soll im Verlauf eines Semesters ein Produkt durch Studenten von der Idee bis zum virtuellen Prototyp mit Unterstützung von MIKADO-Tools entwickelt werden. Neben der Weitergabe der Ergebnisse an die Studenten sollen detailliertere Betrachtungen zum Nutzungsverhalten angestrengt werden, um auch nach Ende der Projektlaufzeit wei-

tere Verbesserungspotenziale aufzudecken und die im Rahmen der Anwendungsszenarien durchgeführten Evaluationen zu ergänzen.

Studien- und Diplomarbeiten, die sich mit der Weiterentwicklung der Konzepte und Methoden bzw. der Umsetzung von Anwendungsbeispielen zu Demonstrations- und Forschungszwecken befassen sind in Planung und teilweise bereits in der Umsetzung.

Darüber hinaus entstanden im Fachgebiet „Industrielle Informationstechnik“ der TU Berlin in beiden maßgeblich bearbeiteten Arbeitspaketen Dissertationen, die sich im Fall von Z. Ragans „Eine rechnerintegrierte Methode zur Produktkonzeption“ [9] mit der Entwicklung der notwendigen Methoden, Konzepte und des Tools für die produktorientierte Prüfung und Diagnose befasst. Inhaltlich behandelt die durch C. Biantoro verfasste Dissertation „Modellierung und Analyse verteilter Entwicklungsprozesse für mechatronische Systeme“ [18] die im Rahmen des AP 300 angestrengten Forschungen bezüglich prozessorientierter Prüf- und Diagnosewerkzeuge.

Basierend auf den Erkenntnissen aus dem MIKADO-Verbundprojekt wurde im November 2008 das BMBF-geförderte Projekt ISyProM zur Entwicklung von Methoden, Modellen und Werkzeugen für die „Modellbasierte Prozess- und Systemgestaltung für die Innovationsbeschleunigung“ gestartet. Dieses Forschungsvorhaben zielt auf die Umsetzung eines integrierten, modellbasierten Systems Engineering, die Realisierung einer durchgängigen Prozessintegration durch sichtenorientierten Austausch von Systemmodellen, die PLM-Integration der Systems Engineering Prozesse, die Entwicklung von Methoden zur modellbasierten Ableitung von SW-Architekturen für die Produktentwicklung auf der Basis von Unternehmensmodellen sowie Geschäfts- und Produktentwicklungsprozessmodellen und die Entwicklung von Metriken und Reifegradmodellen zur Bewertung und Beschleunigung von Innovationsprozessen.

Dabei ist die Beschreibung und Modellierung von Functional Mock-Ups ein zentrales Thema, welchem sich über die Erkenntnisse der produktorientierten Prüf- und Diagnosewerkzeuge aus dem Projekt MIKADO genähert wird. Speziell die Bildung von domainübergreifenden Anforderungsnetzen und deren Verknüpfung mit Funktionsstrukturen sowie die Methoden zur Prüfung und Diagnose von Funktionsstrukturen (FMU) stellen wichtige Grundlagen für die weiterführende Forschung des Fachgebietes „Industrielle Informationstechnik“ innerhalb des ISyProM-Projektes dar.

In vier Beiträgen der Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb wurden die Ergebnisse umfangreich beschrieben.

6 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

Mechatronische Systeme bieten ein großes Potenzial für Innovationen. Sie unterscheiden sich von klassischen Systemen durch eine große Zahl von miteinander verkoppelten Elementen, die in verschiedenen Fachdisziplinen realisiert werden. Dies bedeutet jedoch eine erhebliche Zunahme der Komplexität und Interdisziplinarität bei der Entwicklung von Produkten. Die Beherrschung dieser Komplexität und Interdisziplinarität erfordert neuartige Methoden und Werkzeuge.

Eine parallele Bearbeitung der Domänen ist aufgrund der unterschiedlichen Entwicklungsmethoden, Beschreibungsmittel und dem geringen Informationsaustausch nur schwer realisierbar.

An diesen Aspekten setzen die Ergebnisse des Verbundprojekts MIKADO an. Sie bestehen jedoch nicht nur aus Methoden und Werkzeugen, sondern auch aus Anwendungsbeispielen, Prozesslösungen sowie Dienstleistungen zur Beratung und zur Systemeinführung (Bild 63).

Bei den Dienstleistungen handelt es sich um Konzepte zur Einführung und Optimierung mechatronischer Entwicklungswerkzeuge, zur Validierung der mechatronischen Produktentwicklung und für den Aufbau und den Betrieb zukünftiger Kooperationsplattformen sowie Schulungskonzepten.

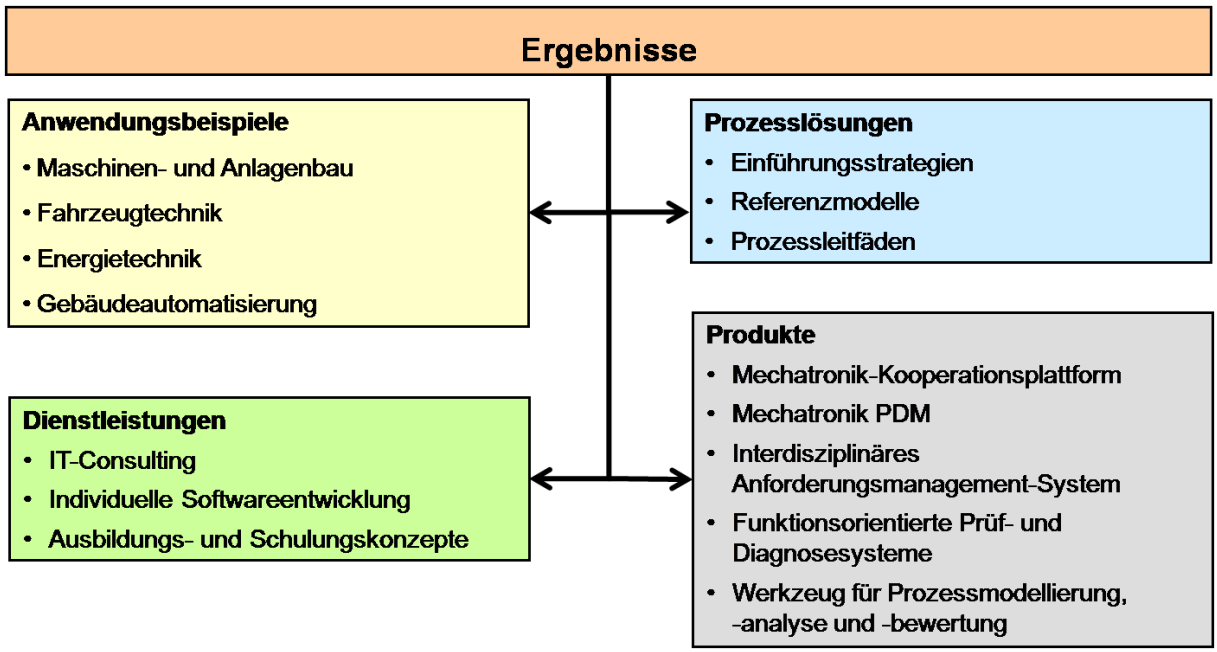


Bild 63: Ergebnisse des Verbundprojekts MIKADO

Die in MIKADO entwickelte Mechatronik-Kooperationsplattform trägt dazu bei, die Planung und Durchführung von mechatronischen Produktentwicklungen im Sinne des Systems Engineering zu verbessern und zu beschleunigen. Schnittstellen zur Anbindung kommerzieller Systeme der mechatronischen Produktentwicklung an die

Kooperationsplattform und Integrationslösungen garantieren die Anwendbarkeit der Gesamtlösung in bestehenden Systemwelten.

Die neu entstandenen Prüf- und Diagnosewerkzeuge sind so ausgerichtet, dass sie alle Aspekte mechatronischer Systeme anforderungsseitig und funktional abdecken und deren Validierung auf Gesamtsystemebene ermöglichen.

So gelingt es beispielsweise durch die Erweiterung des FOD-Modellers, die Anforderungen an das Produkt domänenübergreifend zu erfassen, zu verwalten und die Beziehungen untereinander übersichtlich darzustellen. Die fortlaufende Verknüpfung mit der Funktions- und Bauteilstruktur sowie mit CAD-Modellen ermöglicht die garantierte Erfüllung von parametrisch formulierten Anforderungen an einzelne Bauteile. Spezifische Tests für die funktionale und geometrische Prüfung, welche aus dem FOD gestartet und deren Ergebnisse in FOD und der Kooperationsplattform verwaltet werden, vervollständigen den Functional Mock-Up und ermöglichen so die kontinuierliche Überprüfung des Produktreifegrades. Alle für die Entwicklung relevanten Informationen werden somit in einer Applikation zusammengeführt und übersichtlich dargestellt.

Die hierdurch vereinfachte Definition von Teststrategien für abgeleitete funktionale Systemmodelle erlaubt die gezielte Prüfung des Erfüllungsgrades funktionaler Eigenschaften bezüglich der mechatronischen Anforderungen.

Diese Prozesslösungen, beschrieben durch Referenzmodelle und Prozessleitfäden mit zu erstellenden Prüflisten und Handlungsanweisungen, sind wichtige Ergebnisse, die die Einführung der Werkzeuge und Methoden zur anforderungsgesteuerten Mechatronikentwicklung wesentlich erleichtern.

Referenzvorgehensbausteine helfen bei der Bewertung und Gestaltung von mechatronischen Produktentwicklungsprozessen. Basierend auf dem Prozessmodellierungs- und -simulationswerkzeug DimSiMP wurde ein durchgängiger Ansatz für einen ständigen Verbesserungsprozess für die Prozesse der mechatronischen Produktentwicklung entwickelt, bei welchem Prozesse formal dokumentiert, automatisiert durchgeführt und simulationsgetrieben optimiert werden. Beide Ansätze wurden zudem in der Praxis im Rahmen unterschiedlicher Szenarien auf Ihre Praxistauglichkeit hin untersucht und evaluiert.

Die Umsetzung der vielfältigen Anwendungsbeispiele aus unterschiedlichen Branchen wie Fahrzeugtechnik, Gebäudeautomatisierung, Werkzeugmaschinenbau und Energietechnik dient zur Veranschaulichung der Einsatzpotenziale der entwickelten Methoden und Werkzeuge auch für unterschiedliche Branchen und Unternehmen.

Die erzielten Ergebnisse bilden auch eine solide Basis für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsprojekte beispielsweise zur informationstechnischen Unterstützung des Systementwurfs mit der Beteiligung von PLM-Anbietern und Anwendern.

Damit vor allem auch kleine und mittelständische Unternehmen von den entwickelten Lösungen profitieren können, wurde in dem Verbundvorhaben ein besonderer Schwerpunkt auf die unkomplizierte Anwendbarkeit der bereitgestellten Methoden und Werkzeuge in der mechatronischen Produktentwicklung gelegt.

Literaturverzeichnis

[1] H. Hayka, J. Lüddemann, and R. Stark, "Zuverlässigere Gestaltung der machatronischen Produktentstehung," *ZWF* vol. 103 pp. 714-719, 2008.

[2] Autorenkollektiv, "Forschungs- Handlungsbedarf für zuverlässigere mechatronische Systeme. Positionspapier, Projektträger des BMBF Produktions und Fertigungstechnologien (PFT)," Januar 2005.

[3] Autorenkollektiv, "Verbundprojekt MIKADO - Leitfaden und Einführung " 2009.

[4] Autorenkollektiv, "Beschreibung der Anwendungsszenarien in MIKADO, projektinternes Dokument," Berlin2007.

[5] H. Hayka, G. Staub, V. Thamburaj, and Q. Zhang, "Kooperationsplattform für mechatronische Produktentstehung," *ZWF,* vol. 103, pp. 721-725, 2008.

[6] F.-L. Krause, H.-J. Franke, and J. Gausemeier, *Innovationspotenziale in der Produktentwicklung*. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2007.

[7] Verein Deutscher Ingenieure e.V. , *VDI Richtlinie 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Düsseldorf: VDI Verlag, 2004.

[8] J. Gausemeier and et al., *Vernetzte Produktentwicklung*. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2006.

[9] Z. Ragan, "Eine rechnerintegrierte Methode zur Produktkonzeption." vol. Dissertation: TU Berlin, 2007.

[10] M. Zäh and S. Thieke, "Collaborative Requirements Management for Production Systems," in *Study "Engineering 2010: Setting the Course for Innovative Engineering"*, ProStep-iViP-Verein, Ed. Augsburg: vmm wirtschaftsverlag, 2005, pp. 23-34.

[11] C. Hood and R. Wiebel, *Optimieren von Requirements Management & Engineering*. Berlin, Heidelberg, New York Springer Verlag, 2005.

[12] F.-L. Krause, U. Rothenburg, T. Wöhler, and A. Romahn, "A.: Functional Mock-Up," in *Study "Engineering 2010: Setting the Course for Innovative Engineering"*, ProStep-iViP-Verein, Ed. Augsburg: vmm wirtschaftsverlag, 2005, pp. 3-22.

[13] CADsys GmbH, "FOD Modeller," CADsys GmbH, 2008.

[14] Verein Deutscher Ingenieure e.V., *VDI Richtlinie 2222: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997.

[15] H. C. Raupach, *Simulation von Produktentwicklungsprozessen. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin*. Berlin, 2000.

[16] D. C. Wynn, C. M. Eckert, and P. J. Clarckson, "Modelling iteration in engineering design," in *Proceedings of the ICED*, Paris, 2007.

[17] J. Voigtsberger, *Adaptive Modellierung und Simulation von Produktentwicklungsprozessen. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin*. Berlin, 2005.

[18] C. Biantoro, "Modellierung und Analyse verteilter Entwicklungsprozesse für mechatronische Systeme." vol. Disertation Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2007, p. 174.

[19] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN EN ISO 9241 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-110:2006); Deutsche Fassung EN ISO 9241-110:2006*. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2008.

[20] J. Prümper and M. Anft, "Beurteilung von Software auf Grundlage der Internationalen Ergonomie-Norm ISO 9241/10," in *Fachgebiet Wirtschaftspsychologie*: FHTW-Berlin, 1993.